

Acuicultura en el departamento de Arauca: experiencias de apropiación social del conocimiento

Adriana Patricia Muñoz-Ramírez,
editora académica



Financia



Corporación de
Arauca



SGR
SISTEMA GENERAL DE REGADÍOS

Alianza



FEDEACUA
FEDERACIÓN COLOMBIANA DE ACUICULTORES

Ejecuta



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA



Acuicultura en el departamento de Arauca: experiencias de apropiación social del conocimiento

Adriana Patricia Muñoz-Ramírez,
editora académica





Acuicultura en el departamento de Arauca: experiencias de apropiación social del conocimiento

La elaboración de este documento fue posible gracias a los recursos del Fondo de Ciencia y Tecnología e Innovación del Sistema General de Regalías del Departamento de Arauca, Convocatoria N.º 6 del Plan Bienal de Convocatorias 2019-2020, Mecanismo de participación 1: Propuestas de Proyectos de I+D para consolidar las capacidades de CTel del territorio, a través del Proyecto de Inversión BPIN 2020000100465: “Fortalecimiento de las capacidades en I+D que contribuyan a la solución de problemáticas priorizadas en la cadena acuícola del departamento de Arauca”, ejecutado por la Universidad Nacional de Colombia en alianza con la Federación Colombiana de Acuicultores Fedeacua. El proyecto contó con aportes de contrapartida de la Sede Orinoquía, Sede Medellín, Sede Palmira y Sede Bogotá de la Universidad Nacional de Colombia, así como de Fedeacua.

Financia



Alianza



Ejecuta



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

Directora Proyecto

Adriana Patricia Muñoz-Ramírez
Profesora Asociada
Universidad Nacional de Colombia – sede
Bogotá

Comité Técnico Científico

Mary Cecilia Montaña Castañeda
Profesora Asociada
Universidad Nacional de Colombia – sede
Orinoquía

Sandra Clemencia Pardo Carrasco
Profesora Asociada
Universidad Nacional de Colombia – sede
Medellín

Adriana Patricia Muñoz-Ramírez
Profesora Asociada
Universidad Nacional de Colombia – sede
Bogotá

Luz Stella Cadavid Rodríguez
Profesora Titular
Universidad Nacional de Colombia – sede
Palmira

Andrea Carolina Piza Jerez
Coordinadora Técnica Nacional Federación
Colombiana de Acuicultores - Fedeacua

Supervisión del Proyecto

Andrés Cabrera Orozco
Profesor Asociado

Imagen del Proyecto

Lisa María Vargas Chacón

Fotografía: Proyecto “Fortalecimiento de las capacidades en I+D que contribuyan a la solución de problemáticas priorizadas en la cadena acuícola del departamento de Arauca”.

© Universidad Nacional de Colombia - sede Bogotá - Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia - Departamento de Producción Animal - Grupo de Investigación: UN-ACUICTIO COL0023205 - Cra. 30 N.º 45-03, Bogotá, Código Postal 111321

© Federación Colombiana de Acuicultores
- Fedeacua Calle 99 N.º 10-57, Bogotá, Colombia

Edición:

Tejido editorial
www.tejidoeditorial.com
Coordinación editorial
Angélica M. Olaya M.
Corrección de estilo
Hernán Rojas
Diseño y diagramación
Ana M. Gutiérrez Z.

Palabras clave: alimento/nutrición, bienestar animal, biogas/biometano, ordenamiento, piscicultura, productividad, sostenibilidad y tecnología.

Primera edición: 2025

ISBN digital: 978-958-5521-13-1

© Todos los derechos reservados. Esta publicación no puede ser reproducida total o parcialmente, registrada, o transmitida por un sistema de recuperación de información, en ninguna forma ni por ningún medio, sea mecánico, fotoquímico, electrónico, magnético, electro-óptico, por fotocopia, o cualquier otro, sin el permiso previo por escrito del Comité Coordinador del Convenio Especial de Cooperación N.º 01 de 2022 suscrito entre Fedeacua y la Universidad Nacional de Colombia durante la ejecución del Proyecto hasta su liquidación, lo anterior teniendo en cuenta lo dispuesto en las Cláusulas Décima y Décima Segunda del Convenio suscrito entre Fedeacua y la Universidad.

Citación sugerida:

Muñoz-Ramírez, AP. 2025. *Acuicultura en el departamento de Arauca: experiencias de apropiación social del conocimiento*. Federación Colombiana de Acuicultores Fedeacua. Bogotá, Colombia. 180 p.

CONTENIDO

Agradecimientos /13

Presentación /16

Introducción /19

Referencias /26

**Los residuos agroacuícolas como
fuente de energía renovable: una
apuesta ambiental sostenible para
el departamento de Arauca /28**

Contexto ambiental y
socioeconómico de Arauca /29

Manejo y disposición de los residuos
acuícolas en Arauca /37

Adecuado manejo y aprovechamiento de
residuos orgánicos, clave para alcanzar
metas climáticas y ambientales /41

La alternativa: producir biogás
a partir de biomasa residual /44

Investigación en producción
de biogás desde la Unal,
sede Palmira /46

Residuos de pesca
como fuente de biogás /50

Planta piloto de biogás/biometano con
residuos agroacuícolas en Arauca /53

Resultados e impactos de la
implementación de la planta
piloto de biogás/biometano /68

Conclusiones /72

Referencias /73

Experiencias en el establecimiento y apropiación de sistemas agroacuícolas integrado (SAAI) /77

Establecimiento de sistemas agroacuícolas
integrados en el departamento de
Arauca /82

Seguimiento y apropiación de
sistemas agroacuícolas integrados
en el departamento de Arauca /84

La experiencia de logros, dificultades y
oportunidades en el establecimiento y
seguimiento a los sistemas de agroacuicul-
tura integrada /98

Conclusiones /116

Referencias /117

Apropiación de saberes en buenas prácticas de producción acuícola: jornadas de apropiación del conocimiento para acuicultores pequeños y de subsistencia /122

La acuicultura a pequeña escala: una oportunidad para la seguridad alimentaria y el desarrollo de la comunidad del departamento de Arauca /123

Apropiación social del conocimiento y su enfoque para la transformación social /124

Estrategia de apropiación social del conocimiento acuícola en Arauca /126

Desarrollo de las jornadas /132

Impacto de las jornadas de apropiación del conocimiento /140

Conclusiones /143

Referencias /145

Aspectos sociales de la capacitación en bienestar animal para peces de cultivo /147

El bienestar animal en peces de cultivo para consumo /148

Taller 1. Sacrificio humanitario en la piscicultura /150

Taller 2. Metodología para medir el bienestar de los peces de producción /155

¿Qué se obtuvo al realizar los talleres y cuáles fueron los problemas y las dificultades encontradas? /156

Propuesta de juegos para facilitar la comprensión y la aprehensión del bienestar animal en peces /159

Conclusiones /167

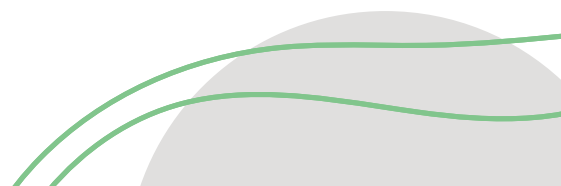
Referencias /167

Anexo 1. Baraja para aprender bienestar animal en peces de cultivo /168

Autores /174



*A aquellos piscicultores del departamento de
Arauca, de quienes tanto aprendimos y que, con
amor y resiliencia, cultivan el agua.*





Arauca, Río y Pueblo

Arauca, tierra soñada por el Sol
Arauca, mil gracias por la canción
A rienda suelta cabalgan mis emociones
Buscando en ti la más bonita inspiración
Arauca, tierra soñada por el Sol
Arauca, mil gracias por la canción
A rienda suelta cabalgan mis emociones
Buscando en ti la más bonita inspiración
Mi canto, como rocío mañanero
Cual oración de bonguero quisiera dejar aquí
En tu remanso, donde anidan mil luceros
Río Arauca, compañero, orgulloso estoy de ti
Mi canto, como rocío mañanero
Cual oración de bonguero quisiera dejar aquí
En tu remanso, donde anidan mil luceros
Río Arauca, compañero, orgulloso estoy de ti
Arauca, bendiga Dios tu población
Mi verso, marinero sin timón
Duerme tranquilo en el ocaso del tiempo
Tu cargamento es de agua y es de amor
Arauca, bendiga Dios, tu población
Mi verso, marinero sin timón
Duerme tranquilo en el ocaso del tiempo
Tu cargamento es de agua y es de amor
Tu cauce vive albergando recuerdos
En verano y en invierno, noche y día, resulta igual
Un canto libre de Colombia y Venezuela
Río Arauca es lo que lleva tu gran serpiente fluvial
Tu cauce vive albergando recuerdos
En verano y en invierno, noche y día, resulta igual
Un canto libre de Colombia y Venezuela
Río Arauca es lo que lleva tu gran serpiente fluvial

Reynaldo Armas, 1986.

Agradecimientos

Como editora académica del libro *Acuicultura en el departamento de Arauca: experiencias de apropiación social del conocimiento*, expreso mi profundo agradecimiento a todas las personas e instituciones que hicieron posible la concepción y materialización de esta obra.

En primer lugar, extendo mi reconocimiento a las productoras y productores acuícolas del departamento de Arauca, quienes, con su invaluable experiencia, dedicación y apertura, participaron activamente en los talleres y actividades de apropiación social del conocimiento a los que fueron invitados. Su compromiso, junto con sus saberes tradicionales y prácticos, fueron la base fundamental para la construcción de este libro.

A los directores de la sede Orinoquía, Óscar Eduardo Suárez Moreno (2018-2024), Adriana Isabel Orjuela Martínez (2024) y Mary Cecilia Montaña Castañeda (2025), así como a la profesora Lucía Botero Espinosa, decana de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia (2020-2026), por su apoyo institucional y por fomentar la investigación y el desarrollo del sector acuícola, comprometidos siempre con el proyecto “Fortalecimiento de las capacidades en I+D que contribuyan a la solución de problemáticas priorizadas en la cadena acuícola del departamento de Arauca” - Arauca Acuícola I+D.

Un agradecimiento especial a los directores ejecutivos de la Federación Colombiana de Acuicultores (Fedeacua), Cesar Augusto Pinzón Vargas y Carlos Alberto Robles Cocuyame, así como a la coordinadora técnica nacional, Andrea Carolina Piza Jerez, por su constante labor en la promoción y fortalecimiento de la acuicultura rural de recursos limitados.

Reconozco la labor de los autores de cada capítulo:

- A la profesora Luz Stella Cadavid-Rodríguez, por su exhaustivo análisis del contexto ambiental y socioeconómico de Arauca, que sienta las bases para comprender la relevancia de los residuos agroacuícolas como fuente de energía renovable.
- A los zootecnistas Edgar Leonardo Espinosa Restrepo “Leo” y Pedro Esteban Moncada Casallas “Pedrito”, por tantos kilómetros recorridos y por su apoyo en la documentación de valiosas experiencias en el establecimiento y apropiación de Sistemas Agroacuícolas Integrados (SAAI), que demuestran el potencial de la integración para una producción sostenible.
- A los zootecnistas Andrea Carolina Piza Jerez y Andrés Camilo Correa Núñez, así como a la médica veterinaria zootecnista Daniela Castillo González, por su dedicación en la apropiación de saberes sobre Buenas Prácticas de Producción Acuícola (BPPA) y por destacar la acuicultura a pequeña escala como una oportunidad para la seguridad alimentaria y el desarrollo comunitario.
- A la profesora Sandra Clemencia Pardo Carrasco “Shany” y al zootecnista Hernán Antonio Alzate Díaz, por su liderazgo en los talleres participativos sobre bienestar animal en peces de cultivo y por promover estrategias innovadoras para la comprensión de este aspecto crucial en la sostenibilidad piscícola.

También agradezco al equipo administrativo, en particular a la contadora Paula Andrea Agudelo Serna y al abogado Carlos Elías Narváez Portilla, por sus respectivas e impecables labores como coordinadora financiera y asesor jurídico. De igual manera, expreso mi gratitud al zootecnista Andrés Camilo Correa Núñez por

su esencial labor como coordinador técnico y administrativo del proyecto.

En este mismo sentido, reconozco la dedicada y objetiva labor del equipo de supervisión, conformado por el profesor Andrés Cabrera Orozco y la zootecnista Bibiana Yamile Coy; su acompañamiento fue fundamental para el buen desarrollo del proyecto, la toma de decisiones en momentos clave de ejecución y la materialización de este libro.

Igualmente, agradezco al personal directivo y administrativo de la sede Orinoquía de la Universidad Nacional de Colombia, en especial a la Granja Experimental y Biosegura El Cairo, por acogernos y apoyarnos durante estos años de labores, así como al Laboratorio de Investigaciones Ambientales de la Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira, y a los laboratorios de apoyo de la sede Orinoquía, por su soporte técnico. Asimismo, a los estudiantes, técnicos y profesionales vinculados a cada una de las actividades de investigación y de apropiación del conocimiento.

Finalmente, agradezco a mi familia; a los integrantes del grupo de investigación UN-ACUICULTO; a Lisa María Vargas Chacón, por su creatividad y propuesta de imagen del proyecto; a Angélica María Olaya Murillo y a su equipo, Tejido editorial; y a todas las demás personas que, de una u otra forma, contribuyeron con sus conocimientos, sugerencias, revisión y tiempo para que este libro se convirtiera en una realidad.

*Adriana Patricia Muñoz-Ramírez,
directora del Proyecto Arauca Acuicola I+D*

Presentación

Este libro compila y da cuenta del esfuerzo de cuatro investigadoras que, en compañía de un equipo de trabajo de las más altas calidades humanas y profesionales, lideraron —a través de un proyecto financiado por el Fondo de Ciencia y Tecnología e Innovación (CTEI) del Sistema General de Regalías (SGR)— la búsqueda de soluciones, desde la academia y los gremios, a diversos desafíos que enfrentan los pequeños piscicultores de Arauca.

Como supervisor del proyecto, tuve la oportunidad de descubrir este territorio. Arauca, sorprendente por su inmensa riqueza histórica, cultural y natural, alberga también un enorme potencial agrícola y ganadero, gracias a sus vastas extensiones, su riqueza hídrica y la diversidad de pisos térmicos, sobre todo en el piedemonte. Aunque no es reconocido por tener una vocación acuícola, este departamento acoge a cientos de pequeños piscicultores: personas humildes, resilientes y emprendedoras que, pese al abandono sistemático por parte del Estado y las instituciones, nos recibieron con entusiasmo y mucho optimismo.

En el Capítulo 1, la profesora Luz Stella Cadavid explora cómo la transformación de residuos agroacuícolas en una fuente de energía renovable —como es el biogás— no solo constituye una estrategia clave para mitigar el impacto ambiental de esta actividad, sino que también promueve la circularidad en los sistemas productivos típicos de la región. La valorización de estos subproductos además de ofrecer una solución innovadora a un problema ambiental, también promueve la autosuficiencia energética de las pequeñas unidades productivas en un departamento que, paradójicamente, ha sido uno de los principales proveedores de combustibles fósiles del país.

En el Capítulo 2, la profesora Adriana Patricia Muñoz y coautores profundizan en la implementación y los beneficios inherentes de los Sistemas Agroacuícolas Integrados (SAAI). Este enfoque holístico, que articula la acuicultura con la agricultura y la producción de animales de granja a pequeña escala, representa una alternativa prometedora para aumentar la eficiencia en el uso de los recursos, reducir los costos de producción y minimizar el impacto ambiental de las diferentes actividades. El capítulo detalla las experiencias prácticas y los aprendizajes obtenidos en Arauca a partir de la instalación de un número significativo de estos sistemas. La integración de los SAAI es fundamental para una producción más resiliente y sostenible en la región, en consonancia con los objetivos globales de la FAO de incrementar la oferta de productos acuícolas sin comprometer la capacidad futura de los ecosistemas.

En el Capítulo 3, Andrea Carolina Piza, coordinadora técnica nacional de la Federación Colombiana de Acuicultores (Fedeacua), y coautores presentan la caracterización más detallada que se haya realizado hasta el momento sobre los piscicultores araucanos y aborda la necesidad crítica de fortalecer las capacidades técnicas de los pequeños productores para mejorar su productividad y, por ende, su calidad de vida. Este capítulo describe las metodologías aplicadas y los resultados obtenidos en las jornadas de apropiación del conocimiento, enfocadas específicamente en la difusión y adopción de Buenas Prácticas de Producción Acuícola (BPPA). La capacitación en aspectos esenciales como la alimentación de los peces, el manejo de la calidad del agua y la optimización de la eficiencia productiva son fundamentales para superar las barreras que enfrentan los acuicultores de subsistencia y pequeña escala, permitiéndoles mejorar su productividad y competitividad en el mercado.

Finalmente, en el Capítulo 4, la profesora Sandra Clemencia Pardo y el zootecnista Hernán Alzate se centran en la importancia del bienestar animal como un pilar ineludible de la sostenibilidad acuícola. Este capítulo presenta los resultados de talleres participativos realizados en varios municipios de Arauca, cuyo objetivo principal fue fomentar la apropiación social del conocimiento sobre el bienestar animal en peces de cultivo. El bienestar animal, comprendido bajo el enfoque integrador de “Una Salud”, es crucial no solo por consideraciones éticas, sino también para garantizar la salud de los peces, la calidad del producto final y, en última instancia, la viabilidad a largo plazo de la actividad piscícola.

En conjunto, este libro ofrece por primera vez una visión integral del nivel de desarrollo y los desafíos que caracteriza la acuicultura en el departamento de Arauca, la cual, sin duda, puede convertirse en un eje de desarrollo para sus habitantes. Esta obra servirá como una herramienta valiosa para futuros investigadores, extensionistas, productores y formuladores de políticas públicas, contribuyendo de manera significativa al desarrollo sostenible de la acuicultura en Arauca y sentando un precedente replicable para otras regiones con características geográficas y socioeconómicas similares.

Andrés Cabrera Orozco
Profesor Asociado y supervisor del proyecto
Facultad de Ciencias
Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá

Introducción

En Colombia, la apropiación social del conocimiento ha sido reconocida como un pilar fundamental en las políticas de ciencia, tecnología e innovación (CTEI). Por ejemplo, la Ley 1286 de 2009¹ estableció la necesidad de fomentar la interacción entre los diferentes actores del Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (SNCTI) para facilitar la transferencia y el uso del conocimiento. Mas recientemente, documentos de política pública como el CONPES 3971 de 2019, Política Nacional de Apropiación Social del Conocimiento (Departamento Nacional de Planeación, 2019), y el CONPES 4069 de 2021, Política Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación, profundizaron en la importancia de la apropiación social del conocimiento como un eje transversal para el desarrollo del país, reconociendo que el conocimiento debe ser un bien público, accesible y útil para todos los ciudadanos (Departamento Nacional de Planeación, 2021).

En ese sentido, y según lo planteado en el Documento de Política Pública de Ciencia, Tecnología e Innovación N.º 2101, la apropiación social del conocimiento “se sitúa en el conjunto de procesos que contribuyen a la democratización –en este caso– del conocimiento científico y tecnológico, y al intercambio de saberes tradicionales, culturales y ancestrales, entre otros” (Ministerio de Ciencia Tecnología e Innovación, 2021).

1. Ley 1286 de 2009. Por la cual se modifica la Ley 29 de 1990, en la que se transforma Colciencias en Departamento Administrativo, se fortalece el Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación en Colombia y se dictan otras disposiciones. Diario Oficial N.º 47.234. Bogotá D.C., Colombia.

Específicamente, el Documento Conceptual del Modelo de Reconocimiento y Medición de Grupos de Investigación e Investigadores 2021 de Colombia define los procesos de apropiación social del conocimiento para el fortalecimiento de cadenas productivas como:

El cambio y la transformación de eslabones o fases de la cadena productiva, a partir del encuentro entre un grupo de investigación y actores de los sectores productivos, mediado por el diálogo de saberes y conocimientos, y la identificación colectiva de problemáticas y soluciones, dirigidas a la transformación de prácticas en una o varias de las distintas fases de la cadena productiva (insumos, producción, cosecha/recolección, almacenamiento, transporte, transformación, comercialización), enfocadas a su fortalecimiento técnico y al mejoramiento en términos de rendimiento, calidad, esfuerzo, uso de energías e insumos limpios, niveles de dependencia, entre otros factores (Ministerio de Ciencia Tecnología e Innovación, 2024).

Teniendo en cuenta lo anterior, la apropiación social del conocimiento orientada al fortalecimiento de cadenas productivas como la de la acuicultura y la pesca en Colombia se vuelve fundamental, en tanto busca que sus eslabones —productores, comercializadores, industrias de procesamiento, productores de semilla, proveedores de insumos, centros de investigación y sector académico— dialoguen cada vez más entre sí, con el objetivo de definir sus principales necesidades y retos. Resolver estos desafíos contribuye al avance de este sector tan importante para la seguridad y la soberanía alimentaria del país.

En Colombia, la producción de especies acuícolas para consumo humano representa un sector con gran potencial para el desarrollo económico y regional del país, gracias a la diversidad natural y riqueza hídrica que ofrecen las distintas regiones biogeográficas, propicias para la producción industrial de especies como tilapia, trucha, cachama y camarón de cultivo, así como para la generación de oportunidades laborales y comerciales que mejoran la calidad de vida de los acuicultores y en general de la población rural (UPRA, 2025).

El eslabón de productores de la cadena de acuicultura y pesca del país se caracteriza por ser conformado, en su mayoría, por piscicultores pequeños y de subsistencia. Un ejemplo de ello es la región de la Orinoquía —integrada por los departamentos del Meta, Vichada, Casanare y Arauca— que comprende el 30,4 % del total del territorio nacional y se caracteriza por sus recursos hídricos, suelos productivos, áreas protegidas y biodiversas (SIAC, 2025).

En el 2024, la región aportó 33 407 t de las 207 421 t producidas por la piscicultura en el país; sin embargo, de ese total, el departamento de Arauca contribuyó con apenas 2153 t (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2024). Lo anterior puede ser visto como una oportunidad para su futuro crecimiento; no obstante, el éxito y la sostenibilidad de la piscicultura no dependen únicamente de su expansión cuantitativa, sino de una adecuada y amplia apropiación del conocimiento técnico, que permita a los productores de pequeña escala enfrentar los desafíos inherentes a la actividad y maximizar sus beneficios en el tiempo.

Otro aspecto fundamental para el desarrollo técnico-científico de la acuicultura en el departamento de Arauca es ser incluido dentro de los 13 sistemas productivos seleccionados como preferentes por la Mesa de Ciencia Tecnología e Innovación

Agropecuaria departamental. Se ha encontrado que para cada uno de ellos existen demandas de investigación priorizadas en Ciencia Tecnología e Innovación, que son definidas como las “solicitudes realizadas por los actores del territorio para resolver las necesidades de las cadenas o sistemas productivos a través de la investigación, el desarrollo tecnológico o la innovación” (Ministerio, 2022).

En el proceso de actualización de la agenda de Investigación, Desarrollo e Innovación (IDeI) de Arauca se identificaron 232 demandas por abordar, con una concentración de necesidades de IDI en los sistemas productivos de cacao (11 %), acuicultura y piscicultura (10 %), cárnica bovina (9 %), maracuyá (9 %), maíz (8 %), apícola (8 %), sacha inchi (7 %), forestal (7 %), yuca (7 %), avícola (6 %), láctea (6 %), arroz (6 %) y plátano (6 %). Específicamente, para la cadena de la acuicultura y la pesca del departamento se identificaron 11 áreas con 23 demandas, cuya calificación de priorización fue: 2 muy alta, 11 alta, 3 media, 4 baja y 3 muy baja (ver tabla 1).

Tabla 1. Demandas y priorización de áreas en Ciencia Tecnología e Innovación para la Cadena de la Acuicultura y Pesca del Departamento de Arauca – Actualización de la agenda 2021-2024

Área principal	Nombre	Prioridad
Calidad e inocuidad de insumos y productos	Calidad y eficiencia del alimento para los diferentes sistemas y etapas productivas de la tilapia, cachama y otras especies.	Alta
	Trazabilidad e inocuidad para el ciclo de producción de tilapia, cachama y otras especies.	Alta

Fortalecimiento de capacidades técnicas y funcionales	Diseño, construcción y adecuación de infraestructura y equipos aplicados a los sistemas de producción, cosecha y postcosecha de tilapia, cachama y otras especies.	Alta
	Fortalecimiento de la infraestructura presente en el dpto. de Arauca para la producción de concentrados.	Alta
	Fortalecimiento de laboratorios de diagnóstico en el dpto. de Arauca.	Alta
	Fortalecimiento del capital humano del sistema productivo acuícola.	Alta
	Fortalecimiento gremial, empresarial y asociativo.	Muy alta
Manejo ambiental y sostenibilidad	Caracterización y manejo de ecosistemas para el desarrollo del cultivo de cachama y otras especies nativas.	Baja
	Evaluación, desarrollo e implementación de estrategias para mitigar el impacto ambiental de la acuicultura continental de aguas cálidas sobre el ecosistema.	Media
	Evaluación del impacto climático sobre la acuicultura continental de aguas cálidas para desarrollar estrategias de mitigación en el dpto. de Arauca.	Muy baja
Manejo cosecha, poscosecha y transformación	Agroindustria de productos y subproductos de tilapia, cachama y otras especies.	Alta
	Optimización del manejo de cosecha, post-cosecha, transformación y comercialización de tilapia, cachama y otras especies.	Muy alta

Manejo de suelos y aguas	Caracterización del espejo de agua del dpto. de Arauca.	Baja
	Manejo del recurso hídrico en el cultivo de la tilapia, cachama y otras especies.	Baja
Manejo del sistema productivo	Incorporar especies nativas en la acuicultura continental comercial del dpto. de Arauca.	Muy baja
Manejo sanitario y fitosanitario	Transferencia de conocimiento y tecnología en sistemas de bioseguridad en los cultivos de tilapia, cachama y otras especies.	Alta
	Diagnóstico, prevención y control sanitario en el cultivo de tilapia, cachama y otras especies.	Media
Material de siembra y mejoramiento genético	Fortalecer los procesos tecnológicos para la producción de semilla de tilapia, cachama y otras especies con estándares de calidad.	Alta
Sistemas de información, zonificación y georeferenciación	Desarrollar e implementar herramientas tecnológicas (TIC) en toda la cadena de valor.	Alta
	Zonificación territorial a una escala adecuada para el desarrollo de la acuicultura y sistemas de producción.	Media
Socioeconomía, mercadeo y desarrollo empresarial	Fortalecimiento de los procesos de comercialización y empresarización efectiva para la cadena acuícola del dpto. de Arauca.	Alta
	Estudios integrales de caracterización socioeconómica, pesquera y ambiental con fines de repoblamiento ictico de especies nativas.	Baja
Transferencia de tecnología, asistencia técnica e innovación	Transferencia de tecnología y de conocimiento para el control de depredadores.	Muy baja

Fuente: elaboración propia, Minagricultura (2022).

Es recomendado que la atención a estas demandas sea realizada de forma concertada por los actores del Sistema Nacional de (CTEI) de forma horizontal y dialogada con los productores piscícolas del departamento, entendiendo que la mayoría de ellos enfrentan desafíos considerables y que tienen carencias de conocimiento técnico en áreas fundamentales como la alimentación de los peces, la gestión óptima del agua y de residuos y eficiencia de sus sistemas productivos, pero también en aspectos como ordenamiento y formalización. Lo anterior limita su capacidad para alcanzar su máximo potencial en términos de productividad y rentabilidad.

Es aquí donde la apropiación social del conocimiento técnico y científico en acuicultura adquiere una relevancia crucial. No se trata simplemente de transferir información, sino de un proceso dinámico y participativo en el que los productores, a través de la interacción, la experimentación y el diálogo de saberes, internalicen y adapten el conocimiento a sus contextos específicos, logrando así soluciones innovadoras y sostenibles. Se trata de un camino bidireccional, en el que el conocimiento científico se enriquece con el saber ancestral y la experiencia local, lo que genera soluciones pertinentes y arraigadas en la realidad de cada territorio.

Basados en los puntos planteados previamente y atendiendo las demandas que para el 2019 el departamento de Arauca tenía con priorización N.º 1 en el Plan Estratégico de Ciencia Tecnología e Innovación del Sector Agropecuario para la Cadena Acuícola PECTIA (Yepes y García, 2017), se estableció la alianza Arauca Acuícola I+D entre la Universidad Nacional de Colombia y la Federación Colombiana de Acuicultores (Fedeacua) para desarrollar el proyecto “Fortalecimiento de las capacidades en I+D que contribuyan a la solución de problemáticas priorizadas en la cadena acuícola del

departamento de Arauca - Arauca Acuícola I+D². En este sentido, los integrantes de la alianza, cada uno desde su ámbito de trabajo, aportó a la ejecución de los cuatro objetivos que conformaron la propuesta, alcanzando no solamente la apropiación del conocimiento técnico de los piscicultores del departamento, sino también robustecer las capacidades de los grupos de investigación vinculados a la propuesta de la sede Orinoquía de la Universidad Nacional de Colombia y de la Federación Colombiana de Acuicultores.

Referencias

Departamento Nacional de Planeación. (2019). *Documento CONPES 3971: Política Nacional de Apropiación Social del Conocimiento*. Bogotá D.C., Colombia.

Departamento Nacional de Planeación. (2021). *Documento CONPES 4069: Política Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación*. Bogotá D.C., Colombia.

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Gobernación de Arauca (Colombia) y Corporación, M. (2022). *Actualización del Plan Estratégico de Ciencia, Tecnología, e Innovación del sector Agropecuario PECTIA 2017 - 2027: Departamento de Arauca 2022*. En: <http://hdl.handle.net/20.500.12324/38045>.

2. BPIN 2020000100465. Financiado con recursos del Sistema General de Regalías del Fondo de crei para la conformación de un listado de propuestas de proyectos elegibles de investigación y desarrollo para el avance del conocimiento y la creación.

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2024, 31 de diciembre). Bullets acuicultura IV trimestre 2024 [Presentación de PowerPoint]. En: <https://www.minagricultura.gov.co>

Ministerio de Ciencia Tecnología e Innovación (2021). Documento de Política Pública de Ciencia, Tecnología e Innovación N.º 2101. En: <https://repositorio.minciencias.gov.co/server/api/core/bitstreams/d908e672-aaaa-4a6b-adcd-416f8294b7c7/content>

Ministerio de Ciencia Tecnología e Innovación (2024). Documento Conceptual del Modelo de Reconocimiento y Medición de Grupos de Investigación e Investigadores 2021. En: https://minciencias.gov.co/sites/default/files/upload/convocatoria/m601pr04g01_modelo_medicion_grupos_investigacion_tecnologica_o_innovacion_y_reconocimiento_investigadores_-_2024_1.pdf

SIAC (2025). Sistema de Información Ambiental de Colombia. En: <http://www.siac.gov.co/orinoquia>

UPRA (2025). *Plan de Ordenamiento Productivo, POP, de la cadena de la acuicultura, para consumo humano en Colombia: Tilapia (Roja y Nilótica), Cachama (Blanca), Trucha y Camarón de cultivo. Lineamientos de política*. Unidad de Planificación Rural Agropecuaria. En: <https://upra.gov.co/es-co/Paginas/pop-acuicultura.aspx> Consultado el 7 de junio 2025



1

Los residuos agroacuícolas como fuente de energía renovable: una apuesta ambiental sostenible para el departamento de Arauca

Luz Stella Cadavid-Rodríguez¹



Contexto ambiental y socioeconómico de Arauca

El departamento de Arauca se localiza en la región Orinoquía de Colombia. El territorio se divide en 3 regiones geográficas principales: la zona montañosa al este de la cordillera Oriental, el piedemonte llanero y la extensa llanura aluvial del Orinoco (ver figura 1).

La Cordillera Oriental se encuentra al oeste del departamento de Arauca, cubriendo aproximadamente una quinta parte de su superficie. Esta región comprende alturas que van desde los 500 m en el piedemonte hasta los 5380 m en la Sierra Nevada del Cocuy. Se caracteriza por altas montañas y páramos con pajonales y frailejones, así como pendientes escarpadas y vertientes bajas con bosque subandino. El piedemonte, por su parte, está formado por abanicos aluviales y terrazas de relieve que varía de plano a inclinado, con vegetación de sabana y bosque tropical. Finalmente, la llanura aluvial se extiende desde el piedemonte hasta la frontera con Venezuela. Esta zona presenta terrazas y llanuras aluviales de desbordamiento, cubiertas por sabanas inundables y bosques de galería.

De acuerdo con Gutiérrez-Lemus (2010), las actividades económicas locales parecen estar influenciadas tanto por la geografía como por el patrón de asentamientos. En la zona de piedemonte (Tame, Fortul y Saravena) se encuentran unidades productivas de mediana extensión dedicadas a la agricultura y ganadería. A lo largo de las riberas del río Arauca, predomina la explotación petrolera

1. Profesora Titular. Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira, Departamento de Ingeniería, Facultad de Ingeniería y Administración. Grupo de Investigación Prospectiva Ambiental. Carrera 32 N.º 12-00, Chapinero, Vía Candelaria, Palmira, código postal 763533, Valle del Cauca, Colombia. lscadavidr@unal.edu.co <https://orcid.org/0000-0002-5791-8846>

(Caño Limón), junto con la agroindustria y el comercio, los cuales superan la pequeña producción agropecuaria. En los llanos bajos (Puerto Rondón y Cravo Norte) destacan las grandes haciendas y las fincas ganaderas.

En específico, la economía de Arauca se basa principalmente en la explotación petrolera, la ganadería, la agricultura, los servicios y el comercio. La importancia del petróleo se refleja en su aporte al PIB departamental, el cual depende en gran medida de dicha actividad. La actividad ganadera se centra en la cría, levante y engorde de vacunos; su comercialización se dirige hacia Puerto López, Bucaramanga y Cúcuta. La producción agrícola se destina principalmente a satisfacer la demanda local. Entre los cultivos se destacan los de plátano, cacao, maíz tradicional, yuca, arroz seco mecanizado, café, arroz, caña panelera y frijol. La pesca de bagre, bocachico y cachama constituye un renglón de cierta importancia; su producción se distribuye hacia Cúcuta, Bucaramanga, Ibagué, Cali y Bogotá D.C. (Gobernación de Arauca, 2016).

Pese a la gran riqueza natural que posee y al talante de su gente, el departamento de Arauca enfrenta grandes retos para aprovechar todo su potencial y convertirse en un territorio de oportunidades, donde sus pobladores puedan progresar y vivir en paz. Desde 1997 se han intensificado la violencia y el conflicto armado, que han fomentado actividades como la producción de coca y el contrabando. Por eso hoy, más que nunca, es relevante que la ciencia y la tecnología desarrolladas en la Academia, transferidas y construidas en conjunto con las comunidades, puedan ofrecer un camino para tan anhelado cambio.



Figura 1. Geografía del departamento de Arauca

Fuente : elaboración propia.

El sector agropecuario en el departamento de Arauca

En términos históricos, el sector agropecuario en el departamento de Arauca ha presentado una tendencia positiva, que se constata con un crecimiento de 1.1 % durante el período 2001 a 2016, finalizando con una participación del 2.2 % (Universidad de los Llanos; Gobernación de Arauca, 2019).

La producción de petróleo ha sido una actividad importante para el departamento, pero con grandes fluctuaciones. La participación de la actividad petrolera de Arauca en el PIB nacional de minas y canteras fue del 6 % para el 2001 y alcanzó el 11.93 % en el 2002. Posterior al 2008, la tasa fue de 10.02 %, decreciendo en 6.45 % para el 2016. La industria petrolera no alcanzó a generar los encadenamientos suficientes hacia atrás (demanda de insumos o servicios) para aumentar el volumen de transacciones y, de esta

manera, irrigar de forma más estable al sistema económico territorial (Martínez y Delgado, 2018). No existe una articulación del sector petrolero con el tejido productivo local (Universidad de los Llanos; Gobernación de Arauca, 2019).

De acuerdo con Zapata y Rueda (2015), el principal potencial del departamento radica en el desarrollo de la agroindustria, con actividades agrícolas y forestales, en la zona del piedemonte, y la ganadería en la sabana. No obstante, para satisfacer las demandas del mercado interno en Colombia, será necesario un significativo esfuerzo en el fortalecimiento de la infraestructura. Entre las propuestas de infraestructura que se identifican están la adecuación de carreteras, vías terciarias y caminos veredales, la instalación de paneles solares y la distribución de gas para llevar energía a los lugares no interconectados (Universidad de los Llanos; Gobernación de Arauca, 2019).

Un aspecto relevante para el sector agropecuario es el uso del suelo, ya que el área potencial estimada para la agricultura en Colombia es de 25 000 000 ha de tierra, y para la ganadería se registran 16 000 000 ha, mientras que el uso real en la agricultura para el país es de 6 400 000 ha y un total de 24 800 000 ha de tierra están destinadas a la ganadería. Lo anterior sugiere que la ganadería utiliza una gran cantidad de hectáreas que son de uso para la agricultura en Colombia, es decir, para realizar las actividades ganaderas, se utilizan casi 2 veces más la cantidad de hectáreas con vocación potencial en el sector ganadero. En contraste, la agricultura con una cantidad mayor de hectáreas con uso potencial, registra una cuarta parte de su verdadera vocación (Fedesarrollo, 2019).

A pesar de esto, durante los últimos años, la agricultura en Arauca ha tenido un dinamismo importante, ya que algunos cultivos han incrementado el área cosechada y sembrada, como por ejemplo en plátano y cacao (incentivado por los clústeres desarrollados para ambos bienes agrícolas), lo cual constituye una fuente de ingresos y disminuye la dependencia del petróleo en el departamento.

Resulta relevante considerar que los municipios que se encuentran más cercanos al piedemonte cuentan con una mayor vocación agrícola y, por consiguiente, un mayor potencial para la explotación productiva. Esto, principalmente en cultivos como cacao y plátano, que requieren de más bienes públicos e infraestructura productiva, para incentivar y generar encadenamientos que permitan desarrollar circuitos agroindustriales.

Otro factor importante para tener en cuenta es el exceso de oferta laboral en el departamento de Arauca debido al proceso migratorio y a la situación económica actual de Venezuela. Ante esta realidad, es fundamental que Arauca fomente la creación de un tejido empresarial capaz de agregar valor a sus productos y convertirse en una fuente de empleo formal para atender esta demanda laboral.

Actividad acuícola en Arauca

La acuicultura puede garantizar la producción de alimentos de origen animal de buena calidad y con esto asegurar el sustento de la población de una manera ambientalmente sostenible, remplazando la captura y aportando a la protección de los recursos naturales. Estas ventajas han generado un aumento en la producción de animales acuáticos en el mundo del 3.2 % anual desde 1950 hasta 2022. A nivel de región, América Latina y el Caribe también presentaron

un crecimiento en esta producción del 12.8 % en el período 2020-2022, donde Colombia fue uno de los países que aportó de manera importante al crecimiento del sector (FAO, 2024).

En esta línea, un sector promisorio en el departamento de Arauca es la actividad acuícola, pues en los últimos 10 años ha mostrado un crecimiento sostenido. De acuerdo a datos oficiales, en el año 2014 se reportaron 281 unidades de producción agropecuarias (UPA) con actividad acuícola (MADR, 2020), las cuales aumentaron a 874 en 2019 (MADR, 2024). En este sector, además de los peces ornamentales, las principales especies de consumo son bagre, coporo, palometa, barbiancho, doncella, payara, cachama, dorado, apuy, amarillo, curito y chorrosco (Muñoz-Ramírez *et al.*, 2024).

En particular, la producción acuícola en Arauca es una actividad familiar-comercial (ver figura 2) que, generalmente, las familias combinan con actividades agrícolas, cultivando plátano, cacao y frutales, entre otros.



Figura 2. Acuicultor de Arauca

Fuente: elaboración propia.

Una característica importante por resaltar en el sector acuícola a nivel departamental es la significativa participación de la mujer como actor principal en la producción de peces (ver figura 3). En el departamento de Arauca, esta presencia es relativamente alta. Al comparar los porcentajes en la incidencia de la mujer en la piscicultura, se observa una participación femenina del 42.3 % de un total de 111 encuestas realizadas, frente a una participación masculina del 57.7 % (Conversación con la Coordinadora técnica nacional de Fedecua, Andrea Carolina Piza Jerez, 2024). Además, cerca del 22.5 % de las encuestadas manifiestan ser madres cabeza de familia, lo que indica que la piscicultura les permite suplir parte de las necesidades de su hogar y en este sentido, se convierte en una actividad con un importante impacto social para el departamento.



Figura 3. Acuicultores araucanos preparando el producto para comercializar
Fuente: elaboración propia.

En cuanto al nivel de educación, la mayoría de productores cuenta con estudios básicos de primaria completa y bachillerato. Sin embargo, entre las personas más jóvenes (21 a 30 años) y mayores (61 años o más) se presentan niveles de educación más bajos, lo que refleja mayores dificultades para el acceso a la educación en esta población. Asimismo, se observa una baja proporción de productores que han alcanzado educación superior, como estudios técnicos o universitarios, en todos los rangos de edad. Esto sugiere una clara brecha en el acceso a la educación avanzada, lo que indica una oportunidad para implementar políticas que promuevan el desarrollo educativo dentro del sector piscícola, mejorando así la capacitación y competitividad en la región (Conversación con la Coordinadora técnica nacional de Fedeacua, Andrea Carolina Piza Jerez, 2024).

La pesca artesanal en los biodiversos e imponentes ríos de la Orinoquía colombiana, también se constituye en una tradición arraigada a las comunidades y que hace parte de la cultura regional.

Es claro, entonces, que la actividad acuícola en Arauca es de gran importancia para sus comunidades. No solamente provee alimento, asegurando la seguridad y soberanía alimentaria, sino que es fuente de ingresos, de progreso social y de creación cultural. El departamento de Arauca necesita fortalecer su desarrollo agroindustrial; en particular, la acuicultura, en conjunto con el cultivo de plátano y cacao, que se destacan como sectores promisorios. En esta dirección, el gobierno departamental y local, la empresa privada, las instituciones y las comunidades deben trabajar articuladamente, con el fin de implementar estrategias para un crecimiento agroindustrial, respetuoso con el ambiente y en armonía con las riquezas naturales que posee el territorio. Lograr este propósito sentará las bases para una sociedad en paz, que brinde oportunidades productivas y de emprendimiento para los jóvenes de la región.

Manejo y disposición de los residuos acuícolas en Arauca

De acuerdo con el *Informe Anual sobre el Estado de los Recursos Naturales y del Ambiente del Departamento de Arauca* (Contraloría Departamental de Arauca, 2019), más del 50 % de los residuos sólidos en los municipios de Arauca son orgánicos. Dicha fracción no ha sido objeto de aprovechamiento alguno; si lo fuera, se podría reducir alrededor del 40 % de los residuos que van a relleno sanitario. Principalmente, se podría alargar la vida útil del relleno regional del piedemonte, donde se disponen los residuos sólidos de los municipios de Arauquita, Fortul, Saravena y Cubará (este último de Boyacá).

La cobertura de la prestación del servicio público domiciliario de aseo en todos los municipios se limita únicamente al casco urbano, lo que deja por fuera grandes centros poblados como Caracol, Panamá de Arauca, Puerto Jordán, entre otros, y toda el área rural que, en municipios como Arauquita y Fortul, agrupa la mayoría de la población asentada en dicha área. Tal estado requiere de una alternativa individual o colectiva para el manejo de los residuos sólidos que cumpla con la normatividad ambiental vigente (Contraloría Departamental de Arauca, 2019). La perspectiva en dicho sector, lamentablemente, obedece más a la disposición final de los residuos sólidos en rellenos sanitarios que al aprovechamiento y tratamiento de los residuos orgánicos e inorgánicos.

Por otra parte, la disposición final de los residuos de la construcción y demolición (RCD) se considera muy incipiente en el departamento de Arauca, pues tan solo 3 de los 7 municipios cuentan con su respectivo acuerdo municipal de creación y reglamentación de las escombreras, y tan solo el municipio de Saravena cuenta con

la respectiva autorización y permisos ambientales emitidos por parte de Corporinoquia para su operación (Contraloría Departamental de Arauca, 2019).

Particularmente, la industria pesquera genera una gran cantidad de residuos de pesca (ver figura 4a) que se estima podría llegar a ser aproximadamente el 45 % del peso vivo (Rai *et al.*, 2010). En cuanto al manejo de estos residuos en el departamento de Arauca, a través de visitas a los productores se identificó un manejo inadecuado de los residuos sólidos generados en la actividad acuícola (ver figura 4b), pues en muchos casos se encontraron elementos como restos de alimentos, envases de productos químicos, plásticos y otros, dispersos por el área de producción o cerca de los cuerpos de agua.



Figura 4. Manejo y disposición residuos piscícolas orgánicos en Arauca
Fuente: a) elaboración propia. b) Piza-Jerez *et al.* (2024).

Una de las tareas más relevantes que se realizó en el marco del proyecto fueron los talleres con productores en los municipios de Arauca, Tame, Arauquita, Fortul y Saravena, logrando recoger información valiosa de la actividad productiva, sus necesidades, problemáticas e impactos, así como realizar capacitaciones en

diversos temas de interés. Uno de los temas trabajados en los talleres fue el manejo y disposición de residuos sólidos de la actividad productiva; en particular, se indagó por los residuos orgánicos generados, como vísceras, branquias y escamas. En total se recogieron 118 respuestas (ver figura 5), las cuales se dividieron en los siguientes grupos: el 60.2 % de los productores los usan para alimentar otras especies (por ejemplo, gallinas o cerdos), el 17.8 % los desechan (disposición en cuerpos de agua o quema), el 14.4 % los entierran, el 1.7 % los aprovechan para producir abono orgánico y el 5.9 % expresó que no le aplica (N/A).

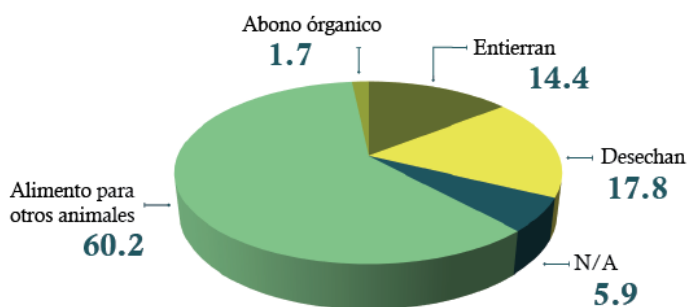


Figura 5. Manejo y disposición residuos piscícolas orgánicos en Arauca

Fuente: elaboración propia.

El mayor porcentaje de productores usan las vísceras de pescado para alimentar otras especies animales, pero en muchos casos no se cocinan o manipulan higiénicamente; por el contrario, se manejan crudas, lo que genera riesgos de contaminación cruzada y de enfermedades a las diferentes especies animales. Por su parte, prácticas como la quema generan malos olores, gases tóxicos y emisión de gases de efecto invernadero (GEI), y la disposición en cuerpos de agua o el enterramiento causan contaminación y afectación a los ecosistemas acuáticos y terrestres.

Muchos de los productores que usan los residuos orgánicos (específicamente las vísceras) para alimentar a otros animales no son conscientes de los riesgos asociados. En cuanto a la percepción frente a las prácticas de enterramiento, quema o disposición en cuerpos de agua, algunos productores expresan que, aunque conocen el daño que se causa, no tienen otra opción, ya que, en sus lugares de vivienda o producción, no cuentan con un operador que realice la recolección de residuos sólidos comunes y mucho menos de los residuos peligrosos, como residuos de agroquímicos y otros.

Con el fin de reducir riesgos en salud y los impactos ambientales asociados a la producción acuícola en el departamento de Arauca, se evidencia la necesidad de capacitación a los productores en buenas prácticas de producción, así como de prácticas de protección de la salud y el cuidado y conservación de los recursos naturales y el ambiente. Esto, sumado al compromiso de los gobiernos departamental y local para ofrecer las condiciones para el adecuado manejo y disposición de residuos comunes y peligrosos en la región; así como otras instituciones que apoyen estos procesos, con alternativas innovadoras y que generen desarrollo. Es necesario cambiar el modelo de economía lineal –en el que los subproductos y residuos son desechados– por modelos empresariales asociativos y basados en principios de economía circular, en los que se aprovechen y valoricen los subproductos de la actividad acuícola y la pesca artesanal. Eso sí, debe hacerse reconociendo saberes ancestrales y prácticas tradicionales en armonía con el ambiente.

Con base en la situación descrita, se evidenció la urgente necesidad de implementar alternativas para el adecuado manejo y aprovechamiento de los residuos de agroacuícolas en el departamento de Arauca. Estas alternativas deben ser ambientalmente seguras, así como social y económicamente viables y sostenibles.

Adecuado manejo y aprovechamiento de residuos orgánicos, clave para alcanzar metas climáticas y ambientales

Con el fin de alcanzar el objetivo climático de limitar el calentamiento a 1.5 °C, el mundo necesita lograr emisiones netas 0 de CO₂ para 2050, lo cual implicará una transformación profunda en el sistema energético global. A pesar de los compromisos asumidos en la COP28 en Dubái en 2023 y de las nuevas iniciativas promovidas por el G20 y el G7, la transición energética continúa estancada. Los combustibles fósiles siguen predominando en la matriz energética de las principales economías —las mayores emisiones de CO₂ a nivel mundial— y, cada año, las probabilidades de cumplir con los objetivos del Acuerdo de París se vuelven más lejanas.

La tarea es ardua. La proporción de energía renovable en el suministro de energía primaria deberá incrementarse del 14 % en 2022 al 78 % en 2050 (IEA, 2022) (ver figura 6). Lograr este nivel de energía renovable es fundamental para cumplir los objetivos climáticos globales y requeriría una inversión significativa y apoyo de políticas, así como una innovación continua. En 2022, la combinación energética mundial estaba dominada por los combustibles fósiles, que aportaban el 82 % de la oferta total de energía primaria (TPES), mientras que las energías renovables y la energía nuclear representaban el 14 % y el 5 %, respectivamente.

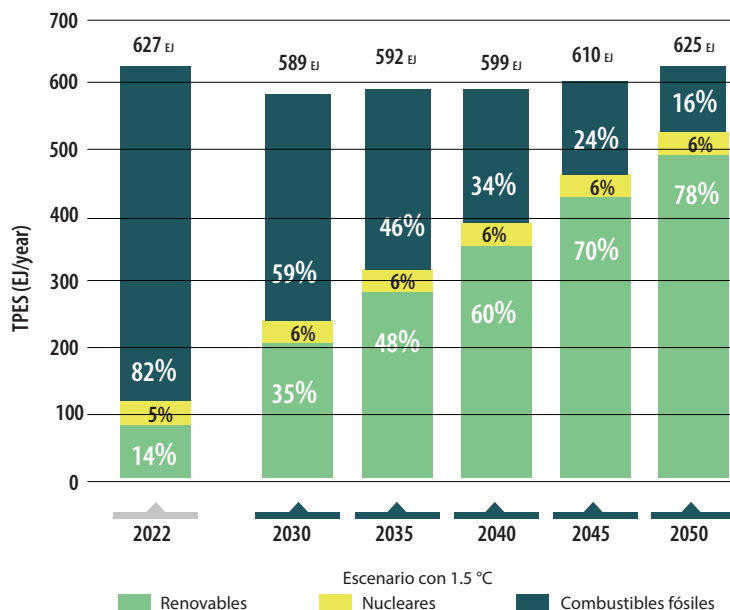


Figura 6. Oferta total de energía primaria por fuente, 2022-2050 en el escenario con 1.5 °C
Fuente: IEA, 2022.

En el escenario actual, es crucial disminuir las emisiones a la atmósfera para prevenir los impactos más graves del cambio climático. Esto exige una transición energética rápida y eficiente centrada en fuentes renovables, en la que la bioenergía debe desempeñar un papel central (Irena, 2022b). No obstante, es necesario minimizar el uso de biomásas tradicionales, como la leña y el carbón vegetal, y priorizar el aprovechamiento de biomásas modernas, derivadas de residuos sólidos orgánicos, agrícolas y forestales.

La bioenergía ha ganado relevancia y se ha consolidado como una fuente energética clave a nivel global, representando aproximadamente el 55 % de la energía renovable y cerca del 9 % de

la demanda energética mundial en 2019 (55 EJ) según datos de la IEA (2022) e Irena (2022b). Sin embargo, preocupa que en 2020 más de la mitad de la bioenergía utilizada proviniera de biomasa tradicional, generalmente empleada para cocinar y calentar mediante combustión (ver figura 7). Estas prácticas son insostenibles, ineficientes y contaminantes, además de estar asociadas a 5 000 000 de muertes prematuras solo en 2021 (IEA, 2022).



Figura 7. Porcentaje del consumo global de bioenergía de acuerdo con el uso final, para el 2020

Fuente: modificado de Irena (2022a).

Colombia, gracias a su ubicación geográfica, clima tropical y rica biodiversidad, posee condiciones ideales para el rápido crecimiento de la biomasa. El país genera una considerable cantidad de biomasa residual del sector agropecuario, con aproximadamente 177 000 000 t anuales (Ministerio de Minas y Energía, 2011), además de una producción constante de residuos orgánicos municipales que supera los 17 000 000 t al año (Dane, 2021). Sin embargo, a pesar de este gran potencial, el aprovechamiento de la biomasa residual para fines energéticos en el país sigue siendo muy limitado.

La alternativa: producir biogás a partir de biomasa residual

En el 2015, el biogás contribuyó con 1.5 EJ al suministro energético mundial, lo que representa menos del 0.5 % de la energía total. No obstante, se estima que su potencial global podría superar los 35 EJ, suficiente para cubrir aproximadamente el 30 % de la demanda de gas natural. Según el escenario de transformación energética, el suministro de biogás podría incrementarse a 14.4 EJ para 2050, lo que sería 10 veces superior a los niveles registrados en 2015 (Irena, 2020).

El biogás se perfila como una de las fuentes de energía renovable más prometedoras para explorar en Colombia, ya que, junto con el biometano, representa una opción clave para sustituir los combustibles fósiles. Al poder ser producido a partir de biomasa residual mediante el proceso de digestión anaerobia, el biogás también ofrece una solución ambientalmente sostenible para la gestión y aprovechamiento de residuos orgánicos. En 2017, un estudio encargado por la Unidad de Planeación Minero-Energética (Upme) de Colombia y desarrollado por la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá (Unal, Upme, 2018), identificó los sectores productivos con mayor generación de biomasa residual apta para digestión anaerobia (DA). Según los resultados, el potencial energético teórico de biogás en estas biomazas es de 149 436 terajulios por año (TJ/año), mientras que el potencial técnico, correspondiente a la biomasa que puede ser efectivamente recolectada y procesada, asciende a 53 554 TJ/año. Esto significa que dicho potencial técnico podría cubrir aproximadamente el 25 % de la demanda de gas natural del país en ese año, considerando que la oferta de gas natural era de 170 705 TJ y la demanda alcanzaba los 219 045 TJ (ver figura 8).

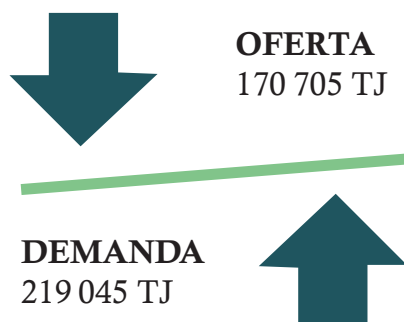


Figura 8. Oferta y demanda de gas natural en Colombia, 2016

Fuente: Unal, Upme (2018).

Sin embargo, a pesar de que Colombia cuenta con la disponibilidad de la biomasa residual y unas condiciones climáticas tropicales muy favorables, la implementación de proyectos de biogás con fines energéticos es muy incipiente. En la realidad, hay muy pocos proyectos a mediana y gran escala, pues persisten barreras financieras, de mercado, de capacidades técnicas y normativas (Duarte *et al.*, 2021).

Frente al desafío de satisfacer la creciente demanda de energía sin incrementar las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), Colombia tiene una oportunidad única para aprovechar de manera sostenible su vasto potencial de biomasa residual, especialmente los residuos orgánicos generados en sectores como el agropecuario, industrial y municipal. Además, las condiciones climáticas favorables del país, con su clima tropical y alta biodiversidad, crean un escenario ideal para implementar tecnologías innovadoras como la producción de biogás.

La producción de biogás no solo permite generar una fuente de energía renovable y sostenible, sino que también contribuye al cumplimiento de múltiples objetivos ambientales. Por un lado, ofrece una

solución eficiente y ecológica para la gestión de residuos orgánicos, evitando que estos se acumulen en vertederos donde generan emisiones de metano, un GEI con alto impacto climático. Por otro lado, su implementación puede reducir la dependencia de combustibles fósiles y promover una transición energética justa, alineada con los compromisos de Colombia frente al cambio climático.

Adicionalmente, el desarrollo de esta tecnología puede impulsar la economía circular, transformando los residuos en recursos útiles, lo que no solo beneficia al ambiente, sino que también genera oportunidades económicas y sociales. Esto incluye la creación de empleos en las áreas de recolección, procesamiento y mantenimiento de las plantas de biogás, así como el fortalecimiento de las comunidades rurales, quienes podrían integrarse como actores clave en la cadena de valor de esta industria emergente. Por lo tanto, la promoción y el uso del biogás en Colombia representa una solución integral que combina beneficios ambientales, energéticos y socioeconómicos.

Investigación en producción de biogás desde la Unal, sede Palmira

La Universidad Nacional de Colombia desarrolla iniciativas estratégicas en diversos frentes para impulsar la investigación en energías renovables, consolidándose como un actor clave en la transición energética del país. En particular, la sede Palmira se destaca por el trabajo del Grupo de Investigación Prospectiva Ambiental, que desde el 2010 se ha enfocado en explorar y optimizar la producción de biogás a partir de residuos orgánicos provenientes de sectores urbanos y agrícolas.

Este grupo ha centrado sus esfuerzos en aprovechar los abundantes recursos del suroccidente colombiano, el Pacífico y otras regiones del país, que presentan un alto potencial para la generación de biomasa residual. Sus investigaciones no solo buscan transformar estos residuos en una fuente de energía limpia y renovable, sino también contribuir al manejo ambientalmente responsable de los residuos orgánicos, reduciendo su impacto en los ecosistemas locales.

En la sede Palmira de la Universidad Nacional de Colombia, los estudios y reflexiones en torno al tema han llevado al desarrollo de un modelo conceptual representado en la figura 9. Este modelo se centra en el proceso de DA, a través del cual se generan 3 corrientes principales, todas con un alto potencial de aprovechamiento. Por un lado, se produce biogás, una fuente de energía renovable, y, por otro, se obtienen subproductos en forma de biofertilizantes líquidos y sólidos, que pueden ser utilizados en la agricultura para enriquecer los suelos de manera sostenible.

El objetivo principal de este modelo es maximizar el aprovechamiento de cada una de las corrientes generadas durante el proceso, logrando así un sistema completamente eficiente que elimina la producción de residuos. Al cumplir con este propósito, el modelo contribuye a la generación de energía limpia y a la mejora de la productividad agrícola, y se alinea plenamente con los principios de la economía circular, promoviendo un uso responsable y sostenible de los recursos disponibles. Esto representa un paso significativo hacia la transición energética y el manejo integral de residuos en el marco de un desarrollo ambientalmente sustentable.

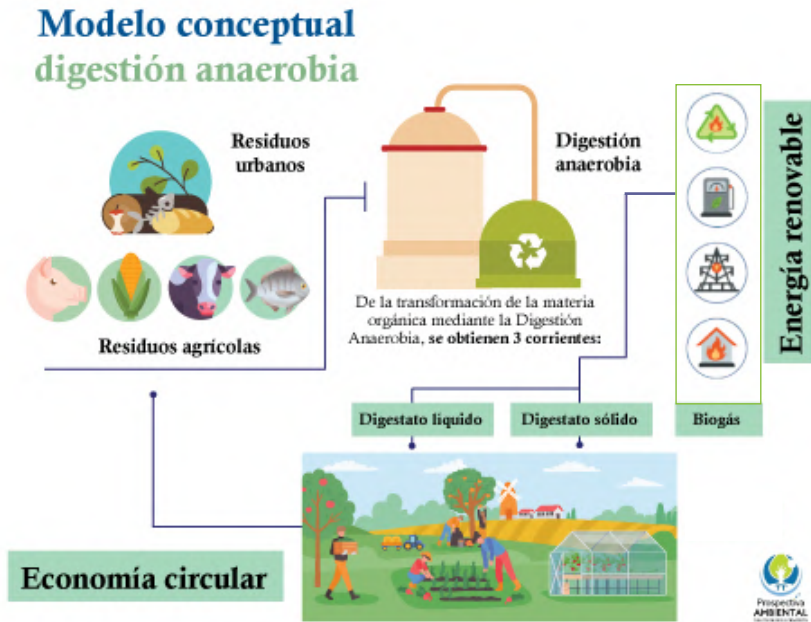


Figura 9. Modelo conceptual digestión anaerobia

Fuente: elaborado por el Grupo de Investigación Prospectiva Ambiental de la Unal, sede Palmira.

Bajo este esquema se han estudiado diversas biomásas residuales con el fin de evaluar su potencial energético y de aprovechamiento. Entre estas se incluyen los residuos de frutas y verduras provenientes de mercados urbanos, restos de poda generados en áreas urbanas, plantas acuáticas como el jacinto de agua, desechos de la agroindustria de la yuca y el café, excretas de animales de los sectores porcícola, avícola y lechero, así como residuos derivados de la pesca artesanal en el Pacífico colombiano (ver figura 10). Estas investigaciones buscan promover soluciones sostenibles para la gestión de residuos orgánicos, al mismo tiempo que se valorizan y se generan fuentes alternativas de energía renovable.



Figura 10. Residuos orgánicos estudiados para producir biogás en la Unal sede Palmira

Fuente: elaboración propia.

Una de las evaluaciones clave para determinar la viabilidad de un residuo orgánico en la producción de biogás y biometano es la medición del potencial bioquímico de metano (PBM). Este análisis se realiza en el Laboratorio de Investigaciones Ambientales de la Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira, siguiendo un protocolo estandarizado basado en normas internacionales. Para ello, se emplea un equipo especializado, el sistema Nautilus, de la empresa Anaero Technology, proveniente del Reino Unido (ver figura 11). Esta metodología garantiza resultados precisos y confiables, fundamentales para optimizar el aprovechamiento energético de los residuos orgánicos.

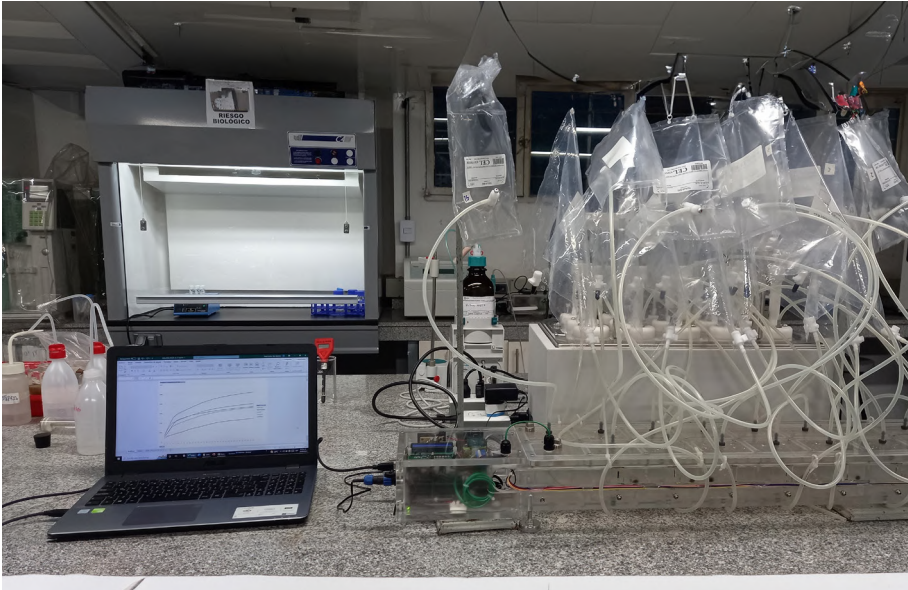


Figura 11. Equipo para determinar el potencial bioquímico de metano. Laboratorio de Investigaciones Ambientales, Unal, sede Palmira
Fuente: elaboración propia.

Residuos de pesca como fuente de biogás

Durante el procesamiento del pescado, se generan residuos tales como cabezas, vísceras, espinas y escamas. Estos desechos de pescado son biológicamente inestables, ya que presentan una elevada actividad enzimática y un alto potencial de autooxidación (Freitas de Madeiros *et al.*, 2019). Por esta razón, si no se manejan de manera adecuada, pueden generar diversos problemas ambientales, como la generación de malos olores y la contaminación de cuerpos de agua y suelo, entre otros.

Entre las posibles tecnologías de valorización de este tipo de residuos, la digestión anaerobia se presenta como una tecnología prometedora, pues, además de ofrecer un manejo ambientalmente seguro para los residuos de pesca, también genera biogás que se puede convertir en una fuente de energía renovable para pescadores y productores acuícolas. Precisamente, el Grupo de Investigación Prospectiva Ambiental de la Unal, sede Palmira, investigó el potencial de los residuos de pesca artesanal como sustrato para la digestión anaerobia en el trópico colombiano (Cadavid-Rodríguez *et al.*, 2019). En particular, las pruebas de potencial bioquímico de metano indicaron que los residuos de pesca artesanal de Tumaco pueden generar hasta 464.5 N mL CH₄ por gramo de sólidos volátiles a 37 °C, con un 1 % de sólidos totales (ver figura 12), potencial que resulta de interés comercial.

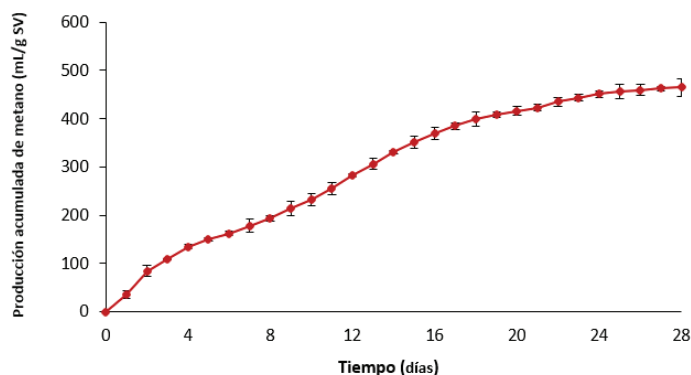


Figura 12. Potencial de producción de metano a partir de residuo de pesca
Fuente: modificado de Cadavid-Rodríguez *et al.* (2019).

Con base en estos resultados positivos a nivel de laboratorio, se propuso evaluar el proceso de producción de biogás con residuos de pesca a nivel de planta piloto, como una fase intermedia

previa a la implementación a escala real. La puesta en marcha de la planta piloto de biogás en Tumaco (ver figura 13) demostró el enorme potencial de los residuos de la pesca artesanal del Pacífico colombiano para la generación de energía renovable mediante digestión anaerobia. Con una producción promedio de 105 m³ de biogás por tonelada de residuo, este recurso podría convertirse en una solución sostenible para la comunidad. Su aplicación como combustible para la cocción de alimentos, permitiría abastecer a aproximadamente 600 familias de la región, representando una alternativa ecológica y económica que reduciría la dependencia de combustibles convencionales y contribuiría a la gestión eficiente de los residuos pesqueros.



Figura 13. Planta piloto de biogás implementada en el municipio de Tumaco que trata residuos de pesca artesanal

Fuente: elaboración propia.

Este antecedente sentó las bases para proponer una planta piloto de biogás y biometano para tratar los residuos agroacuícolas del departamento de Arauca.

Planta piloto de biogás/biometano con residuos agroacuícolas en Arauca

La construcción y puesta en marcha de la planta piloto de biogás/biometano para tratar residuos agroacuícolas en el departamento de Arauca fue posible gracias al proyecto “Fortalecimiento de capacidades en I+D que contribuyan a la solución de problemáticas priorizadas en la cadena acuícola del departamento de Arauca”, del Banco Nacional de Programas y Proyectos de Inversión (BPIN), n.º 2020000100465, ejecutado entre los años 2022 y 2024. En el marco de este se propuso el objetivo específico 1, desarrollar soluciones tecnológicas de I+D ambientales para el sector acuícola del departamento de Arauca. El cumplimiento de este objetivo comprendió 2 componentes: el primero, a cargo de Fedecua, se enfocó en establecer herramientas técnicas y metodológicas para el buen uso del agua en la acuicultura. En el segundo componente, se propuso el diseño de un prototipo de planta para el manejo de residuos generados por la producción acuícola y su implementación en la sede Orinoquía de la Unal.

Este segundo componente estuvo a cargo del Grupo de Investigación Prospectiva Ambiental de la Unal Palmira, con el siguiente equipo de trabajo: Luz Stella Cadavid-Rodríguez (profesora titular de la Unal, sede Palmira, directora del componente), Camilo Andrés Ochoa (ingeniero ambiental a cargo de la operación de la planta), Yeraldín Chacua (estudiante de Ingeniería Ambiental) y Christian Cifuentes Perico (estudiante de Ingeniería Agrícola). Una vez establecido el equipo de trabajo se planteó un cronograma de trabajo con las principales actividades por desarrollar, las cuales se describen en forma de línea de tiempo en la figura 14.

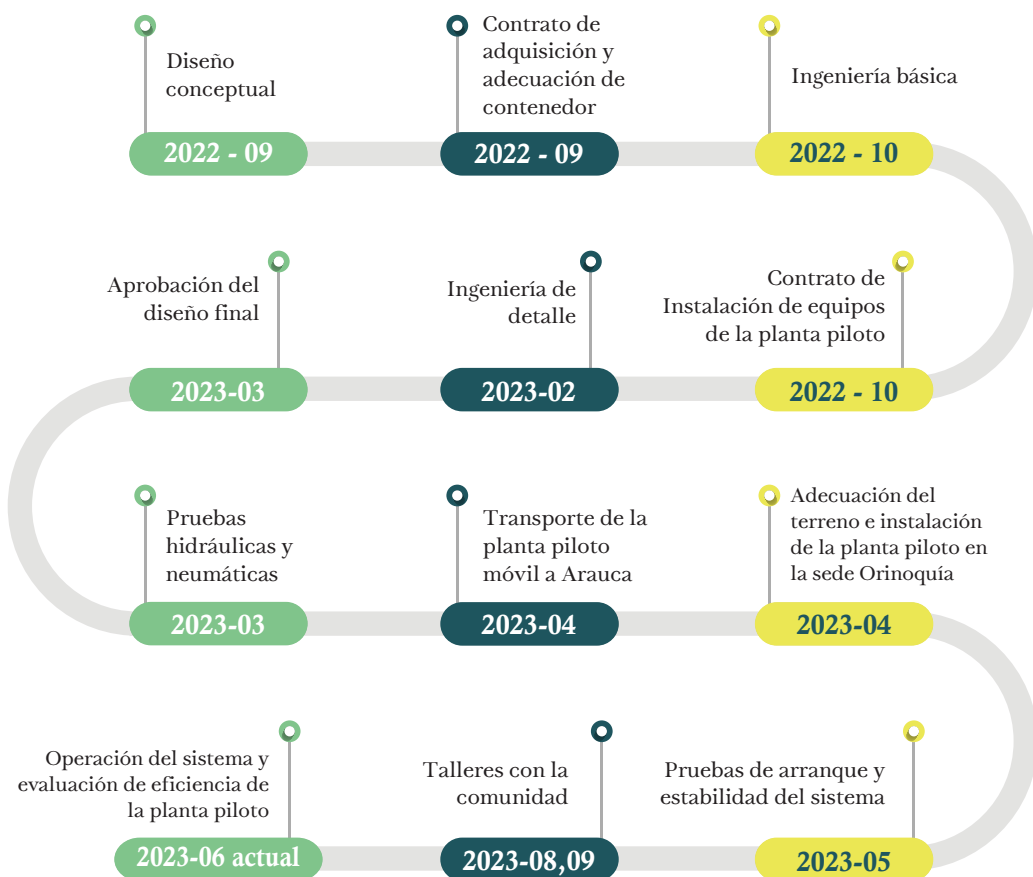


Figura 14. Línea de tiempo para la implementación de la planta piloto en Arauca
Fuente: elaboración propia.

El diseño de la planta de biogás/biometano tuvo como base la planta piloto diseñada e instalada en Tumaco, la cual tiene las siguientes características principales: es móvil, está implementada dentro de un contenedor adaptado, además de tener el sistema de producción de biogás cuenta también con un sistema para purificar el biogás y llevarlo a biometano. La oportunidad de construir una segunda

versión de la planta permitió incluir unas mejoras significativas, tales como hacer la planta autosostenible energéticamente mediante la instalación de paneles solares, aumentar la capacidad de almacenamiento de biogás y biometano, y mejorar el sistema de purificación de biogás incluyendo la unidad de regeneración de aminas.

Adicionalmente, se puso especial atención en poder hacer un uso eficiente del biogás generado en la planta, mediante conexiones seguras con la cafetería de funcionarios administrativos de la sede Orinoquía de la Unal. Considerando todos estos aspectos, el equipo de la Unal, sede Palmira, desarrolló el diseño conceptual de la planta piloto. Posteriormente, en un proceso colaborativo con los ingenieros de la empresa Mobius SAS, especializada en ingeniería y consultoría técnica, se estableció la ingeniería básica y de detalle del sistema. Después de 5 meses de trabajo intenso, se logró definir y aprobar el diseño final de la planta piloto de biogás/biometano (ver figura 15).

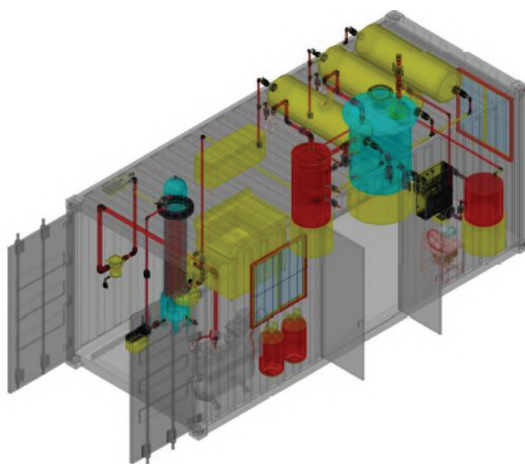


Figura 15. Esquema del diseño final de la planta piloto de biogás/biometano para Arauca

Fuente: elaboración propia.

La primera actividad fue adquirir el contenedor y adelantar las adecuaciones de este. Seguidamente, se realizó la adquisición de equipos y su instalación, junto con todas las tuberías y accesorios que componen la planta piloto. Todas estas actividades se llevaron a cabo en la ciudad de Palmira, bajo la supervisión del equipo de trabajo de la Unal. Una vez finalizó la instalación, todos los equipos y sistemas fueron revisados, se realizaron pruebas técnicas, neumáticas y de estabilidad, antes de recibirle al contratista la planta piloto, en Palmira. Una vez se verificó el correcto funcionamiento de todos los elementos de la planta piloto se procedió a transportarla por tierra hasta la ciudad de Arauca (ver figura 16).



Figura 16. Transporte de la planta piloto móvil de biogás/biometano hasta Arauca

Fuente: elaboración propia.

La ubicación de la planta piloto en la Unal, sede Orinoquía, fue definida en conjunto con los directivos de la sede Orinoquía, teniendo en cuenta los siguientes criterios: disponibilidad de terreno,

acceso a servicios de agua y energía, mínimo impacto de olores, posibilidad de aprovechamiento del biogás, facilidad de operación y seguridad. Así, se definió que la planta de biogás se ubicara en un área abierta, cerca del área de almacenamiento de residuos sólidos y no tan distante de la cafetería de funcionarios administrativos y del restaurante de la sede Orinoquía. La ubicación exacta es el campus de la Universidad Nacional de Colombia, sede Orinoquía, ubicado en el kilómetro 9, vía Caño Limón, Arauca, Colombia.

Tras acordar y definir el lugar exacto para la instalación, se llevó a cabo la preparación del terreno (ver figura 17). Para ello, se acondicionó la superficie destinada a la planta piloto, asegurando una base sólida y nivelada. El proceso incluyó la instalación de 6 puntos de apoyo estratégicamente ubicados en el suelo, permitiendo que el contenedor quedara elevado 34 cm sobre el nivel del piso. Además, se reforzó la estabilidad de la estructura mediante una base de cemento colocada bajo los puntos de apoyo, proporcionando un soporte firme y duradero.



Figura 17. Adecuación del terreno e instalación de la planta piloto

Fuente: elaboración propia.

Luego de ubicar la planta piloto sobre sus puntos de apoyo se procedió a realizar las instalaciones de agua y energía, así como las

conexiones de biogás, desde el punto de almacenamiento hasta la estufa de la cafetería de funcionarios administrativos de la sede Orinoquía. Una vez finalizada la fase de instalación de la planta piloto (ver figura 18), inmediatamente se dio inicio a la fase de arranque del sistema.



Figura 18. Planta piloto móvil de biogás/biometano, instalada en el campus de la sede Orinoquía

Fuente: elaboración propia.

Microorganismos anaerobios

Debido a que la digestión anaerobia es un proceso biológico, posible gracias a la acción de microorganismos que viven sin oxígeno (anaerobios), el suministro adecuado de estos microorganismos es clave para asegurar un arranque exitoso del sistema. Los microorganismos anaerobios se encuentran en los lodos de sistemas anaerobios de tratamiento de aguas residuales o residuos sólidos. En este caso, se recolectó y aclimató un lodo anaerobio de un reactor que trata aguas residuales provenientes de beneficio de la carne,

ubicado en el municipio de Candelaria, Valle del Cauca. Este lodo, al que también se le denomina inóculo, contiene los microorganismos anaerobios que se encargan de transformar la materia orgánica en biogás y digestato (ver figura 19).

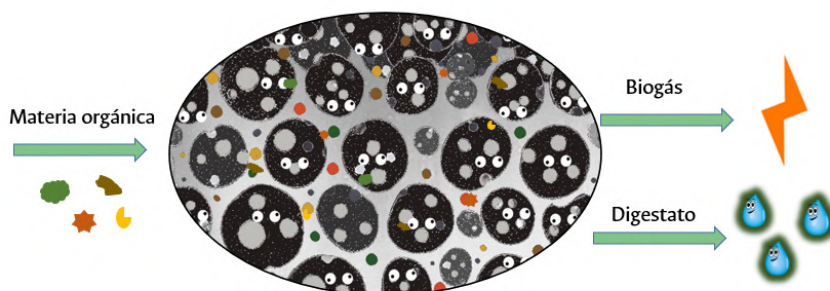


Figura 19. Bacterias metanogénicas que producen biogás

Fuente: elaboración propia.

Para el arranque de la planta piloto de biogás de Arauca, se transportaron, junto con la planta, 150 l de inóculo.

Reactor metanogénico

El reactor principal de la planta piloto es un recipiente hermético construido en fibra de vidrio, con un volumen efectivo de 600 l, equipado con un motor que asegura la adecuada mezcla de su contenido. Este sistema incluye un mecanismo de alimentación, salidas para el biogás y el digestato, así como puertos de muestreo (ver figura 20). Antes de iniciar la alimentación, el reactor se cargó con el inóculo para garantizar un proceso eficiente.



Figura 20. Reactor metanogénico de la planta piloto instalada en Arauca
Fuente: elaboración propia.

Alimentación del sistema

El sustrato principal para la planta de biogás fue las vísceras de cachama y tilapia, dado que son los tipos de peces más producidos en Arauca. Sin embargo, reconociendo que la mayoría de productores acuícolas de la región son también agricultores, con el fin de proponer un aprovechamiento integral de los residuos del sistema productivo, se identificaron y evaluaron los residuos agrícolas promisorios como cosustratos para la producción de biogás, de lo cual se definió que serían las cáscaras de cacao y el raquis de plátano. Para facilitar el proceso y homogenizar la alimentación, las vísceras se molieron hasta formar una papilla y los residuos agrícolas fueron triturados hasta un tamaño entre 2 y 5 mm, antes de formar la mezcla para la alimentación (ver figura 21).



Figura 21. Preparación de alimentación de la planta piloto de biogás/biometano
Fuente: elaboración propia.

Cada uno de los residuos fueron caracterizados en el Laboratorio de Investigaciones Ambientales de la Unal, sede Palmira, para determinar las cantidades de cada sustrato por alimentar. Con respecto a las vísceras, se encontró que, en promedio, contienen 68 % de humedad y 32 % de materia seca y, de esa materia seca, el 90 % es materia orgánica. En cuanto a los residuos agrícolas, estos contienen una mayor humedad, entre el 87 y 90 %, por lo cual su contenido de materia seca está entre el 13 y el 10 %; sin embargo, el contenido de materia orgánica en la porción sólida también está alrededor del 90 %. Este alto contenido de materia orgánica en todos los residuos los hace muy adecuados para un proceso biológico como la digestión anaerobia.

Con el fin de definir una alimentación a la planta que maximizara la producción de biogás, se llevó a cabo una fase de laboratorio evaluando los sustratos de forma individual y mezclados, y se encontró que una proporción mayoritaria de vísceras de cachama, seguida de las de tilapia, aumenta la producción de biogás. Esto coincide con el hecho de que la cachama es el tipo de pez de mayor producción en la región y se facilita su disponibilidad. En cuanto a los residuos de raquis y cáscara de cacao, con menores potenciales de biogás, se pueden mezclar en iguales proporciones en la alimentación.

Una vez conocida la cantidad de materia orgánica contenida en todos los sustratos, así como la mejor mezcla, se definió la cantidad y forma de alimentación para la planta piloto, que en términos de ingeniería se denomina en función de los siguientes parámetros: tiempo de retención hidráulica, carga orgánica y caudal de alimentación. El tiempo de retención hidráulica es el tiempo que permanece el alimento dentro del reactor (días [d]), la carga orgánica se puede interpretar como la cantidad de materia orgánica con que se alimenta al reactor (kg de sólidos volátiles [sv] por unidad de volumen de reactor [m^3] y por unidad de tiempo [d]) y el caudal de alimentación es el volumen de alimento por unidad de tiempo (litros por día [Ld^{-1}]). Finalmente, para asegurar una mayor estabilidad del proceso, la alimentación del reactor se estableció 2 veces al día (ver figura 22), una vez en la mañana y otra vez en la tarde.



Figura 22. Alimentación del reactor principal de la planta piloto de biogás/biometano

Fuente: elaboración propia.

Las vísceras de cachama y tilapia, así como las cáscaras de cacao, se obtenían de productores acuícolas cercanos a la ubicación de la planta de biogás, y el raquis de plátano, de la plaza de mercado de Arauca. Los residuos eran recolectados y llevados hasta la planta piloto en el campus de la sede, donde se sometían a selección y trituración para, posteriormente, ser organizados en porciones diarias y refrigerados para alimentar el reactor.

Programa de arranque de la planta

Todo sistema biológico requiere un proceso de arranque que vaya adaptando los microorganismos a las condiciones de operación del proceso, por lo que fue necesario establecer un programa de arranque del reactor metanogénico, iniciando con poca cantidad

de alimento o carga orgánica baja, la cual se fue incrementando semanalmente hasta alcanzar la alimentación completa o también llamada carga orgánica de diseño. Durante el tiempo de operación de la planta se alcanzaron a probar 2 cargas orgánicas: 0.5 y 1 kg sv m⁻³ d⁻¹, manteniendo un tiempo de retención de 35 días. Este tiempo de retención está dentro del rango para este tipo de residuos (de alimentos), que puede ser entre 20 y 40 días. Se intentó evaluar una carga orgánica más alta de 2 kg sv m⁻³ d⁻¹, pero el reactor presentó inestabilidad, lo cual, sumado a algunas fallas técnicas del sistema y la falta de tiempo, no permitió tener datos de estabilidad del sistema con esta carga. Las cargas evaluadas permitieron determinar, de forma práctica y a escala piloto, el potencial de producción de biogás usando residuos agroacuícolas de Arauca.

Operación y seguimiento de la planta piloto

Desde el inicio del proceso de arranque del sistema, además de asegurar una adecuada operación del proceso, se realizó el seguimiento del sistema, estableciendo las corrientes y los parámetros por determinar, así como su periodicidad. En la tabla 1 se muestran los análisis realizados a cada corriente. Adicionalmente, la producción diaria de biogás y su calidad fueron estudiadas durante toda la operación de la planta de biogás. Algunos parámetros fueron medidos y analizados en el sitio y otros, determinados en el Laboratorio de Investigaciones Ambientales de la Unal, sede Palmira (ver figura 23).

Tabla 1. Variables de seguimiento y control de la planta piloto de biogás.

Corriente	Parámetros
Alimento del reactor	pH, sólidos totales, sólidos volátiles
Contenido del reactor	pH, temperatura, alcalinidad (alk), ácidos grasos volátiles (AGV), relación AGV/alk, FOS/TAC, sólidos totales y sólidos volátiles
Digestato	pH, temperatura, sólidos totales y sólidos volátiles

Fuente: elaboración propia.

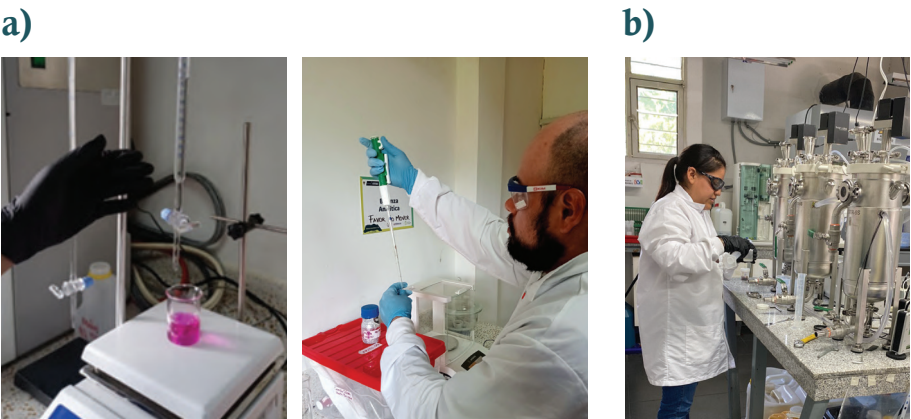


Figura 23. Análisis de seguimiento al funcionamiento de la planta piloto.
a) realizado en sitio y b) en el laboratorio de la sede Palmira
Fuente: elaboración propia.

Se puso especial atención en asegurar un aprovechamiento continuo del biogás/biometano producido en la planta piloto, para lo cual se realizaron todas las adecuaciones técnicas de la red de conexión entre los gasómetros de la planta de biogás y el punto final de uso, en este caso la cafetería de administrativos de la sede Orinoquía

(ver figura 24). Igualmente, se definieron actividades de logística entre el personal de la planta y los funcionarios de la cafetería para asegurar un uso práctico y seguro del biogás o biometano. Durante toda la operación de la planta se llevaron registros para realizar seguimiento al uso del biogás/biometano.



Figura 24. Aprovechamiento de biogás/biometano en la cafetería de administrativos de la sede Orinoquía

Fuente: elaboración propia.

Talleres con la comunidad de pescadores y socialización del proyecto

Con el propósito de aportar a la apropiación social del conocimiento, a la educación ambiental y a la construcción del tejido social, se desarrollaron 2 ciclos de talleres con los productores de los municipios de Arauca, Arauquita, Tame, Fortul y Saravena, en los que el componente de manejo y aprovechamiento de residuos tuvo un espacio importante, junto con el de manejo del agua y las buenas prácticas productivas. Adicionalmente, se atendieron varias visitas

para reconocimiento de la planta piloto por parte de estudiantes de la Unal, del Servicio Nacional de Aprendizaje (Sena) y de la comunidad en general, en el campus de la sede Orinoquía.

El primer ciclo de talleres se realizó en el cuarto mes de implementación de la planta piloto, en cada uno de los municipios que participaron en el proyecto (ver figura 25a), lo cual le permitió al equipo de la Unal conocer algunos de los sistemas productivos, recoger de primera mano las problemáticas y necesidades de los productores, y generar confianza entre productores e investigadores. En este primer ciclo de talleres se comunicó a los pescadores sobre la naturaleza del proyecto, se trabajó en concienciarlos acerca de la importancia del cuidado del ambiente y, específicamente, de los ecosistemas acuáticos y terrestres. También, se exploró acerca del manejo actual de los residuos en los sistemas productivos, luego de lo cual se explicaron los impactos causados por arrojar los residuos a cuerpos de agua, al suelo, quemarlos o usarlos como alimento de otras especies, y, finalmente, se les invitó a hacer parte del proyecto y aportar en su avance.

El segundo ciclo de talleres (ver figura 25b) se realizó cuando la operación de la planta piloto ya estaba bien avanzada. Se aprovechó para llevar a los productores a conocer y realizar actividades prácticas en la misma planta piloto de biogás/biometano. Las actividades realizadas, se diseñaron con el objetivo que los participantes reconocieran y valoraran el proceso de aprovechamiento de residuos agroacuícolas para la producción de biogás/biometano y, lograr así, una transferencia de conocimientos efectiva.

a)



b)



Figura 25. Talleres con productores acuícolas del departamento de Arauca.

a) Primer ciclo de talleres en campo,

b) Segundo ciclo de talleres prácticos en la planta piloto de biogás/biometano

Fuente: elaboración propia.

Resultados e impactos de la implementación de la planta piloto de biogás/biometano

Resultados técnicos

Los procesos implementados durante las fases de arranque y operación de la planta piloto de biogás/biometano fueron estudiados a lo largo de 1 año y 4 meses, desde abril de 2023 hasta agosto de 2024.

A pesar de la conclusión de este período de evaluación, la planta ha continuado en funcionamiento, utilizando los residuos generados en la sede Orinoquía de la Unal.

La temperatura óptima para la digestión anaerobia es de 37 °C; sin embargo, dado que la temperatura de Arauca es cálida, la operación de la planta piloto se llevó a cabo a temperatura ambiente, manteniéndose a 29 ± 1 °C. A pesar de que una temperatura más baja puede disminuir la eficiencia del sistema, los microorganismos se adaptaron adecuadamente y se lograron rendimientos de biogás muy similares a los obtenidos en el laboratorio, a una temperatura controlada de 37 °C.

Los resultados demostraron que el inóculo utilizado permitió un arranque rápido del sistema, iniciando la producción de biogás casi desde el comienzo de la operación. Una vez alcanzado el volumen efectivo, el reactor comenzó a estabilizarse. Este aspecto fue especialmente beneficioso en términos de ahorro de tiempo, ya que el arranque de estos sistemas puede extenderse hasta 6 meses cuando se emplean inóculos no adaptados.

Aunque la planta experimentó algunas fallas técnicas, como fugas de biogás y problemas en el sistema de agitación del reactor, el proceso mostró ser lo suficientemente robusto para superar estas contingencias y recuperar rápidamente su estabilidad. La eficiencia en la operación también se debió a la rápida intervención del personal a cargo, ya que los sistemas biológicos son altamente sensibles a cambios en factores como la temperatura o la mezcla. Si estas condiciones varían drásticamente, los microorganismos pueden morir, deteniendo la producción de gas y obligando a reiniciar el sistema. Esto sugiere que, al implementar el proceso a escala real con un inóculo previamente aclimatado al residuo agroacuícola, se podría reducir significativamente el tiempo de arranque y estabilización, disminuyendo costos operativos y alcanzando rápidamente el máximo potencial de producción de biogás.

La producción de biogás se mantuvo constante a lo largo de toda la operación de la planta. Al aumentar la carga orgánica de 0.5 a 1 kg sv m⁻³ d⁻¹, se registró una producción específica media de 1.04 m³ de biogás por kilogramo de sólidos volátiles (sv). Cabe destacar que una producción superior a 0.46 m³ de biogás por kg sv⁻¹ ya se considera de interés comercial.

Este resultado es particularmente relevante, ya que la planta operó a temperatura ambiente en Arauca (29 ± 1 °C), aproximadamente a 8 °C por debajo de la temperatura óptima. A pesar de esta diferencia, la producción de biogás y biometano no solo se mantuvo en niveles similares a los obtenidos en condiciones controladas de laboratorio, sino que incluso mostró un ligero incremento, manteniéndose en el rango de interés comercial. Esto demuestra que el proceso puede llevarse a cabo sin necesidad de calentar, aprovechando las condiciones del trópico, lo que reduce el consumo de energía y los costos operativos, y compensa cualquier posible disminución en la productividad del biogás.

Se encontró que se pueden producir en promedio 187 l de biogás por cada kg de residuo agroacuícola, con un contenido de metano entre el 68 y el 75 % en volumen y, una vez purificado el biogás, este puede llegar a contener 96 % de metano. Finalmente, se destaca el excelente funcionamiento del sistema fotovoltaico de la planta piloto, manteniendo la correcta operación del sistema con suministro propio de energía, 100 % renovable.

Impactos en la comunidad

Los principales resultados e impactos de la implementación de la planta de biogás que funciona con residuos agroacuícolas en Arauca se describen a continuación:

1. Productores acuícolas de Arauca, estudiantes y comunidad en general aprendieron que disponer inadecuadamente residuos agroacuícolas rompe el balance natural y causa daños a los ecosistemas acuáticos y terrestres.
2. Esta misma comunidad conoció que es posible obtener biogás, biometano y otros compuestos de valor a partir de los residuos agroacuícolas, usando tecnologías biológicas como la digestión anaerobia.
3. Esta iniciativa fortalece la producción acuícola en el departamento de Arauca como una actividad económica sostenible. Gracias a la capacitación de la comunidad de productores, ahora pueden implementar buenas prácticas, gestionar eficientemente el uso del agua y valorizar los residuos generados. Esto no solo optimiza los beneficios de la actividad acuícola y genera ingresos adicionales para los productores, sino que también contribuye a la protección del ambiente.
4. Al integrar la ciencia y la tecnología a la producción acuícola, esta se moderniza, ganando nuevamente el interés de jóvenes de la región que previamente pudieron mostrar dudas o desinterés en cuanto al desarrollo de la actividad económica y de sustento.
5. La Universidad Nacional de Colombia ganó también en nuevos conocimientos y desarrollo de tecnologías, abrió nuevas líneas de trabajo con las comunidades y fortaleció sus actividades de transferencia de conocimientos y apropiación social del conocimiento.

Conclusiones

El desarrollo agroindustrial de Arauca requiere fortalecimiento y, para ello, se destacan el cultivo de plátano, cacao y la acuicultura como sectores clave. Para impulsar este crecimiento de manera sostenible, es fundamental la colaboración entre el gobierno, la empresa privada, las instituciones y las comunidades. La implementación de estrategias que armonicen la producción con el cuidado ambiental no solo potenciará la economía local, también fomentará oportunidades productivas y de emprendimiento para los jóvenes, contribuyendo a la construcción de una sociedad en paz.

El adecuado manejo y aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos, agrícolas y forestales derivados de actividades agroindustriales, es clave para alcanzar las metas climáticas y generar energía renovable. En particular, Colombia por ser un país tropical y biodiverso, tiene un potencial energético significativo con el uso de biomasa residual, mediante la cual podría suplir más del 25 % de su consumo de gas natural con biogás/biometano.

La implementación de la planta piloto de biogás/biometano en Arauca mostró que el residuo agroacuícola se puede aprovechar para producir energía renovable en forma de biogás, a través de la digestión anaerobia. En promedio se generan 187 m³ de biogás por tonelada de residuo.

El presente proceso de investigación aplicada permitió fortalecer a los productores acuícolas del departamento de Arauca, generando una alternativa de valorización de los residuos agroacuícolas que mejora el ingreso para los productores, evita el daño a los ecosistemas acuáticos y terrestres, y mejora la imagen de la actividad ante jóvenes, pues la moderniza mediante la

integración de la ciencia y la tecnología en la cadena de valor de la producción acuícola.

El siguiente paso es aunar esfuerzos para implementar la planta a escala real, lo cual requiere del compromiso de las instituciones gubernamentales, la empresa privada, las comunidades y la academia, trabajando articuladamente en pro de una apuesta integral y sostenible en el tiempo.

Referencias

- Cadavid-Rodríguez, L. S., Vargas-Muñoz L. A., Plácido, J. (2019). Biomethane from fish waste as a source of renewable energy for artisanal fishing communities. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 34, 110-115. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2019.05.006>
- Contraloría Departamental de Arauca (2019). *Informe sobre el estado de los recursos naturales y del ambiente del departamento de Arauca - vigencia 2018*.
- Dane. (2021). *Cuenta ambiental y económica de flujos de materiales – residuos sólidos (CAEFM-RS) 2018 – 2019 provisional*. Boletín Técnico. Cuenta Satélite Ambiental (CSA). https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/pib/ambientales/cuentas_ambientales/cuentas-residuos/Bt-Cuenta-residuos-2019p.pdf
- Duarte, S., Loaiza, B. y Majano, A. M. (2021). *De la práctica a la política: Análisis de las barreras a la inversión en biogás en Colombia y las medidas para abordarlas, a partir de la experiencia de los desarrolladores y otros actores relevantes*. Informe final. <https://ledslac.org/wp-content/uploads/2021/08/Informe-final-biogas-Colombia-v.06082021-final.pdf>

- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) (2024). *Informe de la FAO: La producción mundial de la pesca y la acuicultura alcanza un nuevo máximo histórico*. <https://www.fao.org/colombia/noticias/detail-events/fr/c/1696415/>
- Fedesarrollo. (2019). *Uso potencial y efectivo de la tierra agrícola en Colombia: resultados del censo nacional agropecuario. Informe final*. <https://repository.fedesarrollo.org.co/handle/11445/4079>
- Freitas de Medeiros, E., da Silva Afonso, M., Ziemann dos Santos, M. A., Bento, F. M., Quadro, M. S., y Andrezza, R. (2019). Physicochemical characterization of oil extraction from fishing waste for biofuel production. *Renewable Energy*, 143, 471-477. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.04.165>
- Gobernación de Arauca. (2016, 19 de diciembre) Generalidades. *Gobernación de Arauca*. <https://arauca.gov.co/backup/gobernacion/departamentos/generalidades>
- Gutiérrez-Lemus, O. M. (2010). Arauca: espacio, conflicto e institucionalidad. *Análisis político*, (69), 3-34. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/anpol/article/view/45778/47305>
- iea. (2022). *Bioenergy. More efforts needed. Tracking report*. <https://www.iea.org/reports/bioenergy>
- Irena. (2020). *Global Renewables Outlook: Energy transformation 2050*. International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi. ISBN 978-92-9260-238-3. https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Apr/IRENA_GRO_Summary_2020.pdf

- Irena. (2022a). *Bioenergy for the energy transition: Ensuring sustainability and overcoming barriers*. International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi. <https://www.irena.org/publications/2022/Aug/Bioenergy-for-the-Transition>
- Irena. (2022b). *World Energy Transitions Outlook 2022: 1.5 °C Pathway*. International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi. <https://www.irena.org/Digital-Report/World-Energy-Transitions-Outlook-2022>
- Martínez, A., y Delgado, M. (2018). *Estudio sobre la actividad petrolera en las regiones productoras de Colombia. Caracterización departamental Arauca*. Fedesarrollo.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR). (2020). *Acuicultura en Colombia. Cadena de la acuicultura. Dirección de cadenas pecuarias, pesqueras y acuícolas*. <https://sioc.minagricultura.gov.co/Acuicultura/Documentos/2020-12-31%Cifras%20Sectoriales.pdf>
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (madr). (2024). *Acuicultura en Colombia. Cadena de la acuicultura. Dirección de cadenas pecuarias, pesqueras y acuícolas*. <https://es.editorialge.com/acuicultura-en-colombia-crecimiento-sostenibilidad-2024/>
- Ministerio de Minas y Energía. (2011). *Atlas del Potencial Energético de la Biomasa Residual en Colombia*. <https://www1.upme.gov.co/siame/Paginas/atlas-del-potencial-energetico-de-la-biomasa.aspx>
- Muñoz-Ramírez, A. P., Wills-Franco, G. A., Espinosa, E. L., Niño-Monroy, L. E., Díaz-Espitia, B. (2024). *Fórmulas y orientaciones para fabricación de alimentos balanceados peletizados para*

tilapia roja y cachama blanca, utilizando recursos convencionales y no convencionales del departamento de Arauca. Documento técnico. Universidad Nacional de Colombia.

Piza-Jerez, AC., Arévalo-Quintero, B.; Carrillo-Martínez, PA & Correa-Nuñez, AC. (2024). Guía práctica del manejo del recurso hídrico y recursos naturales en la piscicultura araucana. Federación Colombiana de Acuicultores-Fedeacua. Bogotá, Colombia. 52 p.

Rai, A. K., Swapna, H. C., Bhaskar, N., Halami, P. M., Sachindra, N. M. (2010). Effect of fermentation ensilaging on recovery of oil from fresh water fish viscera. *Enzyme and Microbial Technology*, 46(1), 9-13. <https://doi.org/10.1016/j.enzmictec.2009.09.007>

Universidad de los Llanos, Gobernación de Arauca (2019). *Formulación e Implementación del Plan de Ordenamiento Departamental de Arauca. Informe técnico final “Análisis económico y estructuración socioeconómica espacial”*. Convenio interadministrativo 532 de 2016.

Universidad Nacional de Colombia (Unal), Unidad de Planeación Minero-Energética (Upme). (2018). *Estimación del potencial de producción de biogás de la biomasa residual en Colombia y su aprovechamiento. Contrato 001 de 2017. Upme-Unal. Informe Final.*

Zapata, J. y Rueda, A. (2015). *Del Arauca petrolero al Arauca productivo*. Fedesarrollo; Formas Finales Ltda.



2

Experiencias en el establecimiento y apropiación de sistemas agroacuícolas integrado (SAAI)

Edgar Leonardo Espinosa Restrepo¹

Pedro Esteban Moncada Casallas²

Adriana Patricia Muñoz-Ramírez³



El crecimiento constante y acelerado de la población mundial repercute directamente sobre la demanda de productos acuícolas, generando presión en los sistemas productivos. Estos últimos se ven en la necesidad de aumentar su oferta sin considerar, en muchos casos, los impactos medioambientales y sociales que esto implica. Lo anterior genera la necesidad de comprometer la capacidad futura de la humanidad y los ecosistemas para garantizar un suficiente suministro de alimentos.

La acuicultura es el sector agropecuario con mayor crecimiento a nivel global, característica de la que son grandes responsables la intensificación de los sistemas productivos y el comercio internacional. En este sentido, la producción acuícola rural está, en parte, integrada por algunos productores con gran capacidad económica para la implementación de sistemas tecnificados, que son los que exigen las dinámicas internacionales, y que dejan por fuera de competencia a los pequeños productores (Martínez *et al.*, 2022). Por su parte, el crecimiento de la industria acuícola genera que los productos derivados de esta actividad sean cada vez más relevantes para la subsistencia de la humanidad por su valioso aporte de nutrientes (FAO, 2022). El informe FAO anual sobre estadísticas de pesca y acuicultura menciona que desde 1961 el consumo per cápita de pescado para consumo humano en el mundo aumentó de 9.0 kg a 20.7 kg en 2022, lo cual ha sido resultado principalmente de la oferta de productos de la acuicultura (FAO, 2024). El mismo

1. Zootecnista, magíster en Producción Animal, coordinador técnico SAAI, proyecto Arauca Acuícola I+D. elespinosar@unal.edu.co <https://orcid.org/0009-0002-4555-7972>

2. Zootecnista, componente Sistemas de Agro-Acuicultura Integrada, proyecto Arauca Acuícola I+D. pmoncada@unal.edu.co <https://orcid.org/0009-0004-3161-490X>

3. Zootecnista, magíster y doctora en Acuicultura, Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá, Departamento de Producción Animal, Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia. Grupo de Investigación UN-ACUICULTO. Carrera 45 # 26-85, código postal 111231, Colombia. apmunozr@unal.edu.co <https://orcid.org/0000-0001-6706-7363>

informe indica que ese consumo representó el 15 % de la proteína de origen animal y el 6 % de la proteína total consumida a nivel global para el mismo año. Lo anterior cobra mayor importancia en países en desarrollo. Cabe mencionar que en un estudio previo realizado por la FAO, se encontró que el pescado representó el 30 % de las proteínas consumidas en 29 países, de los cuales 17 fueron países menos desarrollados y 15 con déficit de alimentos y bajos ingresos (FAO, 2021).

Particularmente en Colombia, la piscicultura de agua dulce continental es responsable por el 75.4 % del total de la oferta de pescado del país, y aproximadamente un tercio de la producción de captura y acuicultura es llevada a cabo por pescadores y acuicultores artesanales (Porras *et al.*, 2019). El Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia, indica que la producción piscícola del país pasó de 103 114 t en el año 2015 a 207 421 t en el 2023 (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2024).

Desde la perspectiva ambiental, el contexto colombiano no escapa a la competencia por espacio para cultivo y agua para aumentar la producción de peces. Así, desde años anteriores, se evidencia que se hace cada vez más necesario incrementar la acuicultura con un menor consumo de agua, buscando aminorar el desabastecimiento de alimentos, puesto que el recurso hídrico es una de las principales causas de limitación en la producción de alimentos (Ahmed *et al.*, 2014; Hanjra *et al.*, 2010; Béné *et al.*, 2015). Dadas estas limitaciones e impactos generados en la producción de alimentos, la humanidad cada vez más enfoca sus esfuerzos en encontrar formas de producción menos invasivas y de más bajo impacto ambiental. En este sentido, en la Agenda 2030 para el alcance de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), varias naciones se comprometieron a poner fin al hambre, la pobreza, y conseguir el

logro de un desarrollo sostenible a nivel mundial (FAO, 2017). De los 17 objetivos allí planteados, 6 de ellos tienen relación directa con la producción agrícola y piscícola: el ODS 2, sobre el hambre, la nutrición y la agricultura sostenible; el ODS 6, sobre la eficiencia del uso del agua; el ODS 12, sobre la sostenibilidad de la producción y el consumo; el ODS 13, sobre la lucha contra el cambio climático; el ODS 14, sobre la conservación de los recursos marinos y el ODS 15, sobre los ecosistemas terrestres, la restauración de la tierra y la biodiversidad. Para abordar estos desafíos se han desarrollado innovaciones tecnológicas que buscan hacer un uso más eficiente de los recursos naturales en la producción de alimentos. No obstante, diversos investigadores han orientado sus pesquisas a sistemas productivos con esquemas más tradicionales, principalmente porque estos han mostrado ser adecuados para la producción diversificada de alimentos, en cantidades adecuadas para el consumo por poblaciones con algún grado de marginación o limitación socioeconómica (Mazoyer y Roudart, 2010; Alexandratos y Bruinsma, 2012).

Una de las opciones integrales de producción con bajo impacto ambiental y baja dependencia de insumos externos es la de los sistemas de agroacuicultura integrada (SAAI), en los que el manejo de los insumos de las producciones agrícolas, ganaderas y piscícolas mediante la sinergia en la gestión de sus subproductos representa una mayor producción y una menor dependencia de insumos externos y un modelo de producción más estable y resiliente (FAO, 2004; Prein, 2002; 2007). Los SAAI son reconocidos por su esquema productivo, en los que se integran la acuicultura rural a pequeña escala con las dinámicas agrícolas, pecuarias e incluyen el factor social como preponderante en la dinámica de producción (Murray y Little, 2000).

En una revisión sobre los SAAI, Durán y Muñoz (2016) concluyeron que estos sistemas son una alternativa viable económica, social y ambiental para la producción sostenible de alimentos de pequeños acuicultores y agricultores, ya que contribuyen a la disminución de la pobreza rural, mejoran el uso del agua al integrar más de un sistema productivo y diversifican la oferta y seguridad alimentaria. Así, estos autores resaltan la importancia de realizar nuevos estudios para evaluar la integración productiva a una escala mayor. En este mismo sentido, Larráin González *et al.* (2024) indican que aún con todos los aparentes beneficios de una práctica que integra, diversifica, ahorra y reaprovecha los elementos de una granja como los SAAI, en la implementación de sistemas productivos como este, se deben considerar varios aspectos sociales, culturales e históricos determinantes en la producción y consumo de peces (género, edad, división de trabajo, tabúes alimentarios, etc.). Los autores consideran que por ese motivo, indagar al respecto es fundamental para identificar las posibles resonancias y resistencias de la iniciativa a nivel local y su sostenibilidad a mediano y largo plazo.

En este mismo sentido y basados en la pertinencia rural y de seguridad alimentaria que tienen los SAAI, entre los años 2022 y 2024 fue llevado a cabo el proyecto Fortalecimiento de las capacidades en I+D que contribuyan a la solución de problemáticas priorizadas en la cadena acuícola del departamento de Arauca (Arauca Acuícola I+D). Así, uno de sus objetivos fue “Generar alternativas tecnológicas para la alimentación de especies acuícolas en el departamento de Arauca”, en el cual se desarrollaron actividades a nivel departamental para valorar la implementación de SAAI, con un enfoque en la utilización de materias primas locales no convencionales para la fabricación de alimento balanceado para peces. En atención a lo anterior, este capítulo presenta las

principales experiencias en la apropiación social del conocimiento piscícola durante el establecimiento de SAAI en el departamento de Arauca, Colombia, relatando logros destacados y dificultades en un proceso complejo, pero a la vez con significativos aprendizajes.

Establecimiento de sistemas agroacuícolas integrados en el departamento de Arauca

En total fueron instalados 51 SAAI, en el departamento de Arauca, situado en el extremo norte de la región de la Orinoquía colombiana, entre los 06 ° 02 ' 40 " y 07 ° 06 ' 13 " la latitud norte y los 69 ° 25 ' 54 " y 72 ° 22 ' 23 " de longitud oeste (Gobernación de Arauca, 2020). Los SAAI se localizaron en los municipios de Arauca, Arauquita, Fortul, Saravena y Tame, con 15, 7, 10, 9 y 10 unidades, respectivamente. Fue realizada la siembra de 26 244 peces distribuidos en 18 coporos (*Prochilodus mariae*), 20 curitos (*Hoplosternum littorale*), 4005 tilapias rojas (*Oreochromis spp.*) y 22 201 cachamas blancas (*Piaractus orinoquensis*). Los sistemas acuícolas estuvieron conformados por estanques en tierra o con cobertura de plástico para evitar la filtración, también tanques reservorios fabricados con estructura rígida cubierta con plástico, así como por jaulas flotantes instaladas en ríos.

Los alevinos fueron adquiridos a 3 distribuidores, 2 de ellos del departamento de Arauca y 1 del departamento del Meta. Se manejó una densidad de siembra de 2 peces/m², con pesos iniciales de alevinos entre 0.4 y 5.2 gramos. El alimento utilizado fue extruido comercial, de uso común en la región, con 45, 38, 34, 30 y 24 % de proteína cruda (PC). Las últimas 3 semanas del cultivo se suministró alimento peletizado al 20 %, PC, el cual fue fabricado localmente, atendiendo el objetivo planteado en el proyecto. Este alimento balanceado fue

formulado con inclusión de materias primas locales no convencionales y convencionales (Muñoz-Ramírez *et al.*, 2024), en el Laboratorio de Procesamiento de Alimentos para Animales (LPAA) de la Universidad Nacional de Colombia, sede Orinoquía. Los peces fueron alimentados según tablas sugeridas por el proveedor del alimento comercial que indican una cantidad diaria para suministrar basada en un porcentaje del peso vivo del pez y la etapa de cultivo respectiva.

A cada productor se le entregaron formatos de registros de alimentación, mortalidad y pesaje, realizando la correspondiente orientación para su diligenciamiento y aplicación para la correcta alimentación y seguimiento. Del mismo modo se dialogó con cada uno de ellos sobre la importancia de realizar pesajes periódicos para evaluar la evolución de los peces y ajustar el suministro de alimento. El profesional encargado del seguimiento de los SAAI informó sobre la disponibilidad de acompañamiento vía telefónica y a través de WhatsApp, indicando que por medio de estos canales podrían despejar las dudas y solicitar apoyo técnico durante el desarrollo del ciclo de cultivo de la prueba. De igual forma, se realizaron visitas periódicas a cada predio para dialogar con los productores, evaluar la información colectada y realizar los ajustes pertinentes. Así, 28 predios finalizaron completamente el ensayo. En estos, el peso final promedio de los peces fue de 462.4 gramos, con días de cultivo entre 143 y 213, y promedio de 169 días.

Seguimiento y apropiación de sistemas agroacuícolas integrados en el departamento de Arauca

Selección de piscicultores

Como parámetro inicial se determinó trabajar en los 5 municipios seleccionados que, según el Sistema de Información para la Planificación Rural Agropecuaria (Sipra) de la Unidad de Planificación Agropecuaria (Upa), poseían aptitud piscícola. Los piscicultores se preseleccionaron basados en diversos aspectos, entre los que el principal fue que tuvieran disponible un estanque o jaula con capacidad máxima de 600 peces, considerando en el caso de los estanques una densidad de siembra máxima de 2 peces/m². Así, productores con estanques de mayor tamaño no fueron seleccionados para la instalación de los SAAI, puesto que existían limitaciones de manejo, logística y presupuesto asignado al rubro específico planteado desde la formulación del proyecto. Cumplido ese requisito, a través de un diálogo abierto con los piscicultores preseleccionados, se verificó la siguiente información: residencia permanente en el predio, constancia y experiencia en la producción piscícola, disponibilidad de recurso hídrico, tipo de sistema productivo, presencia de otras producciones agropecuarias y vías de acceso al predio, entre otros (ver figuras 1 y 2). Se procuró incluir un número igual de productores en cada uno de los 5 municipios, pero en el transcurso de la instalación de los SAAI se debieron incluir nuevos piscicultores y retirar a algunos, por falta de cumplimiento a las actividades asignadas, lo cual no afectó los objetivos del proyecto.



Figura 1. Diálogo con un productor para la selección de beneficiarios para la implementación de SAAI
Fuente: elaboración propia.



Figura 2. Verificación de estanques y jaula propuestos por los beneficiarios para el ensayo de alimentación en SAAI
Fuente: elaboración propia.

Adecuación del sistema acuícola

El establecimiento de los SAAI fue desarrollado en varias fases secuenciales con los piscicultores seleccionados: a) el material fue entregado en el predio para el encierro perimetral y la protección aérea del estanque con malla metálica y plástica, respectivamente (ver figura 3). También, se entregó cal para la preparación del estanque, ya que se debía desocupar y realizar la preparación habitual para la siembra de los alevinos. La cantidad de cal fue definida de acuerdo al área y características del estanque. El productor a través de WhatsApp enviaba al técnico los avances para ir programando la siembra según el progreso en la instalación de las mallas de protección y alistamiento de áreas para cultivo. Además se realizaron visitas periódicas de verificación (ver figura 4).



Figura 3. Entrega de materiales para adecuación de los estanques
Fuente: elaboración propia.



Figura 4. Retiro de lodos, encalado y verificación de enmallado superior y perimetral de estanques
Fuente: elaboración propia.

Siembra de alevinos

Inmediatamente después de ser verificada la protección, adecuación y llenado del estanque, se programó la siembra de alevinos, lo que resultó en la instalación de los 51 SAAI en fechas diferentes, que fueron acordadas con cada piscicultor según sus posibilidades. En esta fase se realizó la inclusión de 9 piscicultores y el retiro del mismo número, por la imposibilidad de estos últimos de cumplir los compromisos pactados, principalmente la instalación de las mallas para protección del estanque, pues son fundamentales para evitar la pérdida de peces por depredadores. La elección de la especie por sembrar, entre tilapia roja y cachama blanca, se consultó previamente con los piscicultores. Solamente en los SAAI instalados en la sede Orinoquía de la Universidad Nacional de Colombia se sembraron coporos y curitos.

Los alevinos se entregaron en los predios de cada beneficiario en bolsas transparentes con oxígeno, enseñándoselos para que fueran evaluadas las condiciones de llegada. A continuación, las bolsas se introdujeron en los estanques para que se igualara la temperatura interna de la bolsa con la del estanque, lo cual tomaba cerca de 20 a 30 minutos, dependiendo de las condiciones locales. Posteriormente, se abría la bolsa y se adicionaba agua del estanque en pequeñas cantidades para evitar un cambio de calidad de agua significativo que fuera perjudicial para los alevinos (ver figura 5). Se observó que, previa liberación de los alevinos, algunos productores adicionaban pequeñas cantidades de sal dentro de la bolsa. Algunos productores utilizaron criadoras⁴ hechas como malla de ojo fino, donde mantenían los alevinos por un transcurso de 3 a 5 semanas antes de liberarlos completamente en el estanque. Esta estrategia contribuyó a evitar o disminuir pérdidas por depredadores, especialmente por la libélula (*Odonata* sp.) y otros peces pequeños invasores de los estanques, así como a mejorar la alimentación de los alevinos y control de la mortalidad inicial. Antes de liberar los alevinos en el estanque se realizó biometría de peso promedio y se diligenció el registro de cada predio, con lo cual se dio inicio a la fase de cultivo.



4. Jaulas o cajas.



Figura 5. Recepción, aclimatación, pesaje y siembra de alevinos en los predios vinculados a las pruebas de alimentación del proyecto
Fuente: elaboración propia.

Materiales de apoyo y señalética

Como medida de apoyo a los beneficiarios del proyecto, junto con Fedecua se les hizo entrega de material para el manejo del cultivo piscícola y de elementos de señalización para el predio, principalmente de las áreas del sistema productivo (ver figura 6).





Figura 6. Entrega de elementos de manejo y señalética
Fuente: elaboración propia.

Alimentación y seguimiento

El cálculo de alimento por suministrar se basó en la tabla recomendada por el fabricante, la cual relaciona el número de semanas de cultivo, con el peso vivo y la cantidad de alimento por ofrecer por cada pez en el estanque. A cada productor se le instruyó la manera de abordar las tablas y la forma de ajustar la cantidad de alimento según la evolución de los peces, fuera por peso o por semanas de cultivo. Se recomendó a cada productor que realizara un pesaje periódico cada 15 días, aunque no fue posible la entrega de elementos de pesca como atarraya o chinchorro. Como material de apoyo, se le suministró a cada productor una nasa⁵ y una balanza de reloj para facilitar el muestreo y pesaje de los peces, especialmente en la etapa de alevinaje y levante (ver figura 7). A pesar de esta recomendación, la mayoría de los piscicultores no realizó las biometrías requeridas o cuando las realizaron solamente pesaban entre 2 a 10 peces en cada una. Cabe resaltar que los productores tenían a disposición el contacto telefónico del profesional a cargo

5. Accesorio para pesca y manejo de peces, compuesto de red, aro y vara.

del seguimiento de los SAAI para consultar y despejar dudas respecto a las cantidades y tipos de alimento por suministrar; de igual forma, se realizaron visitas periódicas a los predios.



Figura 7. Elementos para muestreo y pesaje de peces en SAAI

Fuente: elaboración propia.

El alimento se entregó en varios momentos, de forma tal que tuviera condiciones adecuadas de almacenamiento y no estuviera por un tiempo prolongado en bodega (ver figura 8). Inicialmente, el alimento extruido de referencia 45 % y 38 % de proteína cruda (PC) se entregó el día de la siembra. De allí en adelante, se entregaron las referencias 34 %, 30 % y 24 % PC. Finalmente, fue entregado el alimento peletizado de 20 % PC, elaborado en el LPAA. De esta forma se realizaron en promedio un mínimo de 5 visitas durante el cultivo, el cual tuvo una duración de 5 a 7 meses. Durante las visitas se dialogó con los piscicultores sobre las novedades y avances del sistema, se verificaron registros y se ajustó lo necesario para garantizar el éxito del proceso de cultivo.



Figura 8. Entrega de alimento para los peces cultivados en los predios de piscicultores vinculados a los SAAI
Fuente: elaboración propia.

Cuando se calculó que los peces alcanzaban un peso promedio de 345 gramos, se solicitó al beneficiario el acompañamiento para realizar un pesaje de por lo menos el 20 % de la totalidad de los peces del estanque para tener un dato de peso promedio más exacto. En ese muestreo se verificó que el peso vivo obtenido fuera el esperado, pues desde allí se daba inicio a la alimentación única con alimento peletizado 20 % PC fabricado en el LPAA (ver figura 9). Con esta información se realizó el cálculo de alimentación según el peso de los peces y se entregó el alimento suficiente para las 3 semanas que duraba la prueba en esta etapa final del cultivo. En la entrega de este alimento se brindaron las recomendaciones necesarias para la alimentación rutinaria, ya que el cambio de alimento extruido a peletizado era significativo, principalmente para el control de las

cantidades suministradas a los peces. Dentro de las recomendaciones brindadas, estuvo la de suministrar el alimento a los peces de forma más cuidadosa, lenta y en cantidades pequeñas. Lo anterior, porque el alimento peletizado, a diferencia del extruido, flota por muy poco tiempo y los peces deberían consumirlo antes de su llegada al fondo del estanque. Algo que también se resaltó a los piscicultores, fue la necesidad de contar con más tiempo para la alimentación, pues debían realizar un tipo de “entrenamiento” de los peces para que se adaptaran al nuevo alimento no flotante.





Figura 9. Proceso de fabricación de alimento balanceado para peces en la sede Orinoquía: molido de materias primas, mezclado, hidratación de la mezcla, peletizado y secado solar del pélet
Fuente: elaboración propia.

Al completarse las 3 semanas de alimentación con alimento balanceado 20 % PC, se realizó el pesaje nuevamente de por lo menos el 20 % de la población del estanque (ver figuras 10 y 11). No se planteó realizar la cosecha total de los estanques pues, por la biomasa para cosechar, no sería posible sacrificarlos y beneficiarlos en el mismo momento. Con el muestreo se obtuvo el peso promedio final del ensayo y la etapa de campo para continuar con el procesamiento de la información.





Figura 10. Cosecha y muestreo final de cultivo en SAAI

Fuente: elaboración propia.



Figura 11. Especies piscícolas cultivadas en los diferentes SAAI del proyecto: Cachama blanca (*Piaractus orinoquensis*), tilapia roja (*Oreochromis* spp.), coporo (*Prochilodus mariae*) y curito (*Hoplosternum littorale*)

Fuente: elaboración propia.

Integración agrícola con la acuicultura

Dado el concepto de SAAI, en el que el manejo de los insumos de las producciones agrícolas, ganaderas y piscícolas mediante la sinergia en la gestión de sus subproductos representa una mayor producción y una menor dependencia de insumos externos, y un modelo de producción más estable y resiliente (FAO, 2004; Prein 2002; 2007), se toman acciones dentro del proyecto para implementar modelos no solo de piscicultura si no para hacer un esfuerzo por instalar en los SAAI de los predios de los beneficiarios un componente agrícola. De esta manera se hace entrega de algunas semillas para ser integradas en el modelo productivo paralelamente al establecimiento del cultivo piscícola (ver figura 12). A 15 de las 51 unidades productivas se realizó la entrega de semillas de plátano (*Musa × paradisiaca* L.) y yuca (*Manihot esculenta*). En uno de los SAAI instalados en la Unal, sede Orinoquía, se instaló un cultivo de arroz inundado (*Oryza sativa*). A la totalidad de los beneficiarios fue entregado un sobre de semillas de tomate (*Solanum lycopersicum*), un sobre de semillas de cilantro (*Coriandrum sativum*) y uno de papaya (*Carica papaya*) o maracuyá (*Passiflora edulis*), así como 30 bolsas de vivero de 1 kg. Lo anterior para que cada beneficiario implementara un espacio para el cultivo agrícola (ver figura 13) y realizara una prueba asociándolo con el estanque de peces de prueba.



Acuicultura en Arauca:
Experiencias de apropiación social del conocimiento



Figura 12. Entrega de semillas para la implementación de los SAAI vinculados al proyecto

Fuente: elaboración propia.



Figura 13. Cultivos establecidos en algunos de los SAAI vinculados con el proyecto

Fuente: elaboración propia.

La experiencia de logros, dificultades y oportunidades en el establecimiento y seguimiento a los sistemas de agroacuicultura integrada

Según Larraín *et al.* (2024), el proceso de apropiación social de la ciencia y la tecnología abarca un tipo de acompañamiento en el que hay intercambio de saberes, conocimientos y experiencias entre actores de distintos ámbitos de la sociedad para generar nuevos aprendizajes. Así, los autores, en una experiencia realizada junto con la comunidad indígena Arhuaca, de la Sierra Nevada de Santa Marta, Colombia, buscaron apoyar una iniciativa local a través de intervenciones mediadas por relaciones horizontales que fortalecieran la conexión entre los conocimientos científicos y las prácticas locales, tomando como base la cosmovisión indígena, sus intereses, objetivos y saberes previos, así como su deseo por aprovechar los desarrollos científicos y tecnológicos actuales en materia de producción de alimentos, concretamente en el campo de la acuicultura.

En la experiencia relatada en el presente capítulo, se encontraron importantes logros en la apropiación social del conocimiento en agroacuicultura integrada, pero también limitantes derivadas de diferentes situaciones propias de los piscicultores o de su contexto regional. Se comparte a continuación la experiencia de algunas fases de esa apropiación y se destacan espacios en los que es posible mejorar el proceso, con el fin de generar una base para futuras propuestas y para que los mismos piscicultores vean identificados su esfuerzo y el avance alcanzado.

Logros

Fabricación de alimento a pequeña escala

Fue posible la planeación y elaboración en el LPAA de aproximadamente 3 toneladas de alimento balanceado, con inclusión de materias primas no convencionales. Así mismo, fue posible la distribución del alimento en los 5 municipios seleccionados para el proyecto en el departamento de Arauca. Este logro fue posible gracias al apoyo un equipo humano, en diversas ocasiones limitado, y condiciones de fabricación de pequeña escala experimentales, en las cuales no solo se fabricó el alimento, sino también se procesó previamente una cantidad importante de materias primas frescas para obtener harinas de yuca, guásimo, matarratón, bucare y leucaena, que en promedio sumaron 17 % del total de la formulación. De acuerdo con lo descrito por Muñoz-Ramírez *et al.* (2024), los recursos (tubérculos o plantas) se recolectan, se trocean o pican, se secan en marquesinas solares y, finalmente, se muelen para ser incorporadas en el alimento balanceado.

En esta fase, se abordaron todas las etapas del desarrollo y prueba de un alimento balanceado, iniciando con la búsqueda y selección de las materias primas apropiadas para la alimentación de peces, formulación, fabricación, distribución y suministro a los peces. Lo anterior, de forma secuencial y coordinada con los piscicultores. Lo alcanzado es muy importante, dado que se evidenció la posibilidad de fabricar alimento balanceado a pequeña escala y en condiciones en que piscicultores de subsistencia o pequeños puedan reproducir y acceder a esta actividad de gran impacto en la dinámica de costos del sistema productivo acuícola. En este sentido, la utilización de este tipo de alimento en sistemas piscícolas contribuye a los flujos de entrada y sinergias de nutrientes al SAAI.

En la tabla 1 se presenta la fórmula del alimento balanceado para los peces en etapa final utilizada en los SAAI del departamento de Arauca.

Tabla 1. Composición porcentual de la fórmula 20 % PC para finalización de cultivo de peces tropicales en SAAI del departamento de Arauca

Materia prima	%	Materia prima	%
Materia prima	9.093	L-Lisina HCL	0.016
Maíz amarillo, grano	36.00	Carbonato de calcio	0.504
Soya, torta	32.69	Fosfato bicálcico	0.933
Palma, aceite	2.82	Sal, común	0.25
Yuca, tubérculo sin cáscara	4.00	Vitamina C ^a	0.05
Guásimo, hojas y peciolo	5.00	Antifúngico (propionato de calcio)	0.1
Matarratón, hojas, peciolo y tallo primario	5.00	Colina, cloruro 60 %	0.07
Leucaena, hojas y peciolo	1.00	Premezcla vitaminas y minerales ^b	0.2
Bucaré, hojas y peciolo	2.00	Antioxidante ^c	0.0125
DL- Metionina	0.258	Costo (USD/kg) ^{d,e}	0.59

^a ROVIMIX STAY-C 35 %; ^b PREV-OX; ^c BHT; ^d Tasa de cambio 1 USD = 4.635 COP– promedio primer semestre 2023 (Wilkinsonpc, s. f.); ^e costo del alimento comercial 34 % y 20 % en el departamento de Arauca, : 0.8 USD/kg y 0.6 USD/kg, respectivamente.

Fuente: elaboración propia.

Composición nutricional

A través de un análisis bromatológico realizado en el Laboratorio de Análisis Químico y Bromatológico de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín, se verificó la composición nutricional del alimento elaborado en el LPAA en la sede Orinoquía (ver tabla 2). Con este se constató la correcta selección de materias primas y formulación del alimento balanceado, así como el adecuado procedimiento en su fabricación. Además de evidenciar nuevamente la posibilidad de abordar de manera local la fabricación de alimento balanceado, esto fue un factor determinante en el éxito posterior en la prueba de alimentación animal *in situ*.

Tabla 2. Composición nutricional analizada (base húmeda) del alimento balanceado elaborado en el Laboratorio de Producción de Alimento para Animales

Materia seca	88.8 %	Cenizas	6.2 %
Proteína cruda	20 %	Almidón	27.8 %
Grasa	6 %	Calcio	0.8 %
Fibra cruda	5.4 %	Fósforo total	0.6 %
Extracto no nitrogenado ^a	51.2 %	Energía Bruta (Kcal/Kg)	4165
^a Materia seca – proteína cruda – grasa – fibra cruda – cenizas.			

Fuente: elaboración propia.

Aceptación y consumo

Obtener un concepto favorable por parte de los productores acuícolas sobre la aceptación y el consumo del alimento balanceado

artesanal, a pesar de no ser extruido sino peletizado, fue de suma importancia para el proyecto y para el sector acuícola del departamento, dado que implica la viabilidad de alimentar con el alimento balanceado de fabricación local con indicadores adecuados para los sistemas acuícolas del departamento. El común denominador encontrado con las personas que realizaron la prueba de alimentación es que tanto el pez como el acuicultor aprenden; el pez a comer el alimento antes de que este llegue al fondo del estanque y el otro a suministrarlo a un ritmo adecuado para que los peces puedan aprovecharlo antes de que se hunda.

Los piscicultores informaron que los peces aprenden a tomar el alimento antes de que caiga al fondo del estanque, observando el movimiento del agua causado por otros peces al tomarlo; por tanto, se debe suministrar lentamente y por un amplia área del estanque para que todos puedan tomar la cantidad suficiente para satisfacer los requerimientos nutricionales. Un productor manifestó que alimentó en un solo sitio y horas después notó que el sitio de alimentación burbujeaba y se levantaron sobre el agua hojas de un árbol adyacente que estaban sumergidas, lo que evidenció que los peces tomaron el alimento que había caído al fondo del estanque.

Datos productivos

Del total de los 51 predios vinculados al proyecto, se seleccionaron los 10 más representativos en los 5 municipios vinculados, que registraron datos de forma adecuada. A continuación, se presentan las principales observaciones de los parámetros productivos registrados para las 2 principales especies cultivadas.

Ganancia de peso: en promedio, las tilapias y cachamas iniciaron con 3.66 gramos y finalizaron con 426.4 gramos, a los 169 días de cultivo. La ganancia de peso promedio en el periodo de

alimentación con referencias de alimento del 45 % al 24 % PC fue de 2.43 ± 0.46 g y con 20 % PC de 3.49 ± 1.82 g. Los resultados obtenidos se consideran satisfactorios, principalmente los del periodo de finalización con el peletizado elaborado en el LPPA, lo cual fue evidenciado por varios de los piscicultores vinculados a las pruebas, quienes manifestaron la satisfacción de utilizar el alimento de 20 %. Adicionalmente los productores informaron sobre la facilidad en el manejo de la alimentación, a pesar de la poca flotabilidad de los pélets, solo por unos segundos. Algunos de ellos consultaron, posterior a la finalización del proyecto, sobre si se continuaría fabricando el alimento en el LPPA, pues estaban interesados en adquirirlo y continuar la alimentación con esa fórmula. Así, es importante resaltar que lo mencionado fue verificado por Gomes (2023), Contreras *et al.* (2012) y Lochmann *et al.* (2009) para cachama blanca, cachama negra y ambas especies, respectivamente, quienes relatan que es posible incluir una alimentación balanceada que incluya materias primas no convencionales, obteniendo parámetros de ganancia de peso similares a los obtenidos con alimentos balanceados comerciales.

Conversión alimenticia: para las primeras fases de alimentación, donde se suministró alimento extruido del 45 % al 24 % PC se encontró un promedio de 1.58 ± 0.42 de conversión alimenticia (CA), mientras que para la finalización con alimento peletizado de 20 % PC fue de 2.13 ± 0.45 . Esta última conversión se considera resultado del cambio de producto extruido a peletizado y en la dificultad de controlar el alimento suministrado. En este mismo sentido, en un estudio realizado por Contreras *et al.* (2012), quienes reemplazaron el 15 % del alimento balanceado comercial por forrajeras en cachama blanca, se presentó un comportamiento similar, arrojando un mejor índice de conversión alimenticia con el alimento balanceado

comercial al 100 %. De modo similar, Cordovilla y López (2016) observaron una conversión desfavorable con niveles superiores al 15 % de los forrajes en la formulación.

Registro de parámetros *in situ*: es importante resaltar que la información local sobre ganancia de peso, consumo de alimento y conversión alimenticia con uso de alimento balanceado comercial extruido o peletizado en las diferentes etapas productivas del cultivo de los peces, no estaba disponible el departamento. Tampoco existía un registro de la capacidad de carga de estanques o jaulas en los diferentes municipios de influencia del proyecto. En este sentido, la información recolectada *in situ* es de gran relevancia para la región, pues brinda una base objetiva para que los piscicultores tomen decisiones sobre sus cultivos futuros, basadas en datos previos y no solamente en experiencias empíricas, valiosas pero sin registros ni análisis zootécnicos requeridos.

En la búsqueda previa de información en la región para brindar las recomendaciones de manejo alimenticio, solamente se encontraron las tablas ofrecidas por las empresas fabricantes de alimento balanceado comercial, lo cual refleja lo que sucede en general en el país. Estas tablas están diseñadas principalmente para tilapias y se utilizan por los medianos y pequeños productores, tanto para esta especie como para la cachama blanca, que se cultiva ampliamente en el departamento de Arauca. En las pruebas realizadas *in situ*, se pudo verificar que las tablas difieren en gran medida de los datos obtenidos, evidenciando que es posible que ambas especies –pero en especial la cachama blanca– tenga un crecimiento “adelantado” y se obtenga un mayor peso de cosecha en el mismo o menos tiempo de lo calculado. Lo anterior, basados en un peso final objetivo y no en las semanas del cultivo, lo que hace más eficiente en el proceso productivo. Esto es relevante,

pues uno de los datos de gran importancia para los productores es la duración de cada etapa productiva, ya que afecta directamente las prácticas de alimentación y la inversión de recursos en el sistema productivo y su relación con la rentabilidad final. La tabla 3 describe el tiempo total y parcial de cultivo para cada una de las fases de alimentación de 10 SAAI.

Tabla 3. Duración (días) de las etapas de alimentación de los 10 SAAI en el departamento de Arauca

Predio	Municipio	Total	Referencia alimento ofertado - % de proteína cruda					
			45 %	38 %	34 %	30 %	24 %	20 %
			Días de suministro del alimento balanceado					
Trilladora	Arauca	160	54	16	34	28	6	22
La Reserva	Arauca	155	41	14	26	0	46	28
El Progreso	Arauquita	213	28	28	28	64	46	19
Vidrios oscuros	Arauquita	150	32	22	26	24	24	22
Guadualito	Saravena	211	8	41	66	54	19	23
Porvenir	Saravena	171	23	37	19	43	28	21
Los Pilares	Saravena	181	18	20	24	38	56	25
La Herencia	Saravena	149	11	31	29	37	13	28
El Palmito	Fortul	159	42	28	12	31	23	23
Las Guanotas	Tame	143	34	21	14	33	19	22
Promedio		169.2	29	26	28	35	28	23
Desviación estándar		25.08	14.51	8.82	15.05	17.30	16.14	2.91

Fuente: elaboración propia.

Aprendizaje del productor rural

Concientizar de forma vivencial a los productores sobre la importancia del seguimiento de peso y ajuste de la alimentación para el desarrollo del cultivo es uno de los sucesos que ha sido de gran interés para los productores piscícolas en el marco del proyecto. Lo

anterior se logró a través del diligenciamiento de los registros y los pesajes constantes, mediante los cuales los piscicultores pudieron evidenciar el rendimiento en el crecimiento de los peces y poder compararlos con lo reportado en las tablas sugeridas por las empresas de alimento balanceado. También fue posible sensibilizar al productor sobre la necesidad que tiene el pez de consumir mayor cantidad de alimento según su peso y no solamente por las semanas del cultivo, lo cual influyó en una mejor conversión alimenticia y el desempeño general de cultivo.

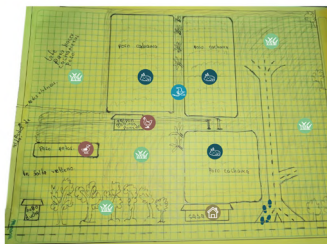
Reconocimiento de sistemas agroacuícolas integrados

Como parte de las actividades realizadas durante las visitas de seguimiento al cultivo de peces, se invitó a los piscicultores a reconocer sus predios y a verlos como un “todo”, mediante un ejercicio en el que elaboraron una propuesta gráfica de un sistema agroacuícola integrado, pero colocando como ejemplo las fincas donde se realizaba la actividad. En este ejercicio, fueron visibilizados los diferentes componentes de un SAAI, como el estanque, la casa, los cultivos agrícolas, potreros y unidades pecuarias (por ejemplo, aves, cerdos, bovinos, abejas). También fueron ubicadas las áreas para ingreso al predio, así como los puntos de entrada de agua y de vertimientos. En la figura 14 se presentan ejemplos de diseños elaborados por piscicultores de los diferentes municipios vinculados en el proyecto.

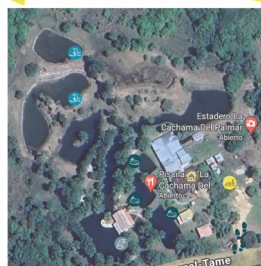
Acuicultura en Arauca:

Experiencias de apropiación social del conocimiento

La Trilladora Arauca, Arauca



La Cachama Tame, Arauca



Guadualito Saravena, Arauca



El Encanto Fortul, Arauca



Vidrios Oscuros Arauca, Arauca



Figura 14. Diseños de sistemas agroacuícolas integrados para el proyecto Arauca Acuícola I+D

Fuente: Productores piscícolas del Departamento de Arauca y Lisa María Vargas Chacón.

Dificultades

Protección del estanque con mallas

Persuadir a los productores sobre la necesidad de un cerramiento estricto de los estanques con malla perimetral y aérea para reducir las pérdidas causada por aves y otros depredadores como babilas, nutrias y serpientes, entre otros, así como algunas tortugas acuáticas que compiten por el alimento suministrado a los peces, se tornó en una ardua labor. El principal motivo manifestado por los productores fue el costo que representaba realizar esta tarea, a pesar de las ventajas que conllevaba en términos de rentabilidad del cultivo y manejo ambiental. En el marco del proyecto se brindó a los productores material para el encerramiento de los estanques o áreas de jaulas. Lo acordado fue que este debía aportar la mano de obra, los postes y una parte de los materiales si los estanques eran de un tamaño mayor al contemplado por el proyecto. A pesar de esta indicación, una gran parte de los productores no realizaron un encerramiento adecuado o no lo terminaron correctamente antes de la siembra; algunos manifestaron que era suficiente proteger unas áreas parciales del estanque, por lo que no terminaban el encerramiento.

Adicional al factor económico para instalación de mallas, es importante mencionar que en la región, los piscicultores han normalizado históricamente que sus cultivos presenten baja sobrevivencia, por lo que siembran entre el 50 % y el 100 % más de los alevinos que desean cosechar para mitigar las pérdidas. El control de depredadores lo realizan mediante armas y trampas, eliminando la fauna silvestre para salvaguardar su cultivo y generando una afectación ambiental negativa de la piscicultura, actualmente sin cuantificar. A modo de ejemplo, se menciona una experiencia

de diálogo con un productor, al cual se le consultó cuántas aves había eliminado en los últimos 3 meses, a lo cual respondió que aproximadamente 20 de 4 especies diferentes. Si se extrapola este dato a cientos de productores del departamento, las cifras se tornan alarmantes.

Realizar pesajes periódicos a los peces para ajustar el consumo de alimento

Incluso luego de evidenciar los beneficios en el avance del crecimiento de los peces al realizar el pesaje y el ajuste de la alimentación según su peso vivo, esta práctica fue atendida por parte de los productores de forma parcial y con poca rigurosidad. A pesar de realizar la actividad piscícola previamente a su vinculación con el proyecto, en gran medida la mayoría de los productores no contaban con materiales propios para biometrías y cosechas (atarraya, chichorros, nasas y balanzas, entre otras). Su estrategia consistió en apoyarse entre vecinos y productores de la región con el préstamo de esos elementos, la cual fue la principal razón de la no realización de los pesajes periódicos de los peces. En este punto, cabe recordar que el proyecto otorgó a los piscicultores balanzas de reloj y nasas, pero no atarrayas, ni mallas de pesca. En ocasiones el equipo técnico del proyecto apoyaba con los pesajes periódicos, pero debido a las distancias entre municipios y productores y al número limitado del personal técnico, no era posible atender a todos los predios de los 5 municipios de forma periódica.

Manejar un control adecuado del tipo de alimento (etapa y cantidad) para suministrar a los peces

Se observó que los productores comprenden el porqué de la existencia de los diferentes tipos de alimento según la etapa en que se encuentre el pez (alimento de 45 %, 38 %, 34 %, 30 %, 24 % y 20 % PC); sin embargo, la gran mayoría de los piscicultores son pequeños⁶ o de subsistencia⁷ y en ocasiones solamente cuentan con 1 o 2 estanques. En este sentido, ya que las cantidades de alimento por suministrar en las primeras etapas son menores, los productores optan por iniciar su cultivo adquiriendo un solo bulto de cierta etapa, por ejemplo de 38 % PC, y la suministran desde el inicio hasta cuando los peces alcanzan una talla con la que ya pueden recibir otro alimento, como el 34 % o 30 %. Algunos productores manifestaron utilizar solo 3 etapas de las 6 disponibles en el mercado.

Cabe resaltar que, en el marco del proyecto, al realizarse los pesajes periódicos, se ajustaba tanto la cantidad como el tipo de alimento. Sin embargo, algunos productores insistían en mantener o saltar alguna etapa de alimentación, ya que, según su experiencia, ellos suministraban una etapa diferente a lo recomendado. Esta práctica, según lo relatado por ellos, ocasionaba que no hubiera una homogeneidad de tiempos de cultivo en sus producciones habituales.

6. Según la Resolución 1485 de 2022 de la Aunap, un pequeño acuicultor es el que “realiza la actividad de forma exclusiva o complementaria en diferentes niveles de producción (principalmente extensiva o semi-intensiva, con mono o policultivos), emplea fertilización y suministra productos de la finca o alimento concentrado específico para peces, cuando dispone de recursos para ello; su producción es entre 10 y 22 toneladas por año, utiliza un espejo de agua de menos de 1.5 has y sus activos totales” (Aunap, 2022, p. 6).

7. Según la Resolución 1485 de 2022 de la Aunap, un acuicultor de subsistencia “es el productor cuya base laboral es la mano de obra familiar, que suele contar con producciones agropecuarias adicionales a la acuicultura y en cierta medida suplementa la alimentación de sus peces con productos de la granja; su producción es menor de 10 toneladas por año, utiliza un espejo de agua de menos de 0.65 has y sus activos totales no superan el equivalente a 284 salarios mínimos legales mensuales vigentes” (Aunap, 2022, p. 5).

Otra de las observaciones que resaltó el diálogo y acompañamiento permanente con los productores, fue que en sus cultivos anteriores sobrealimentaban los peces en fases iniciales y los subalimentaban en la de finalización. Esta particularidad se puso de manifiesto al realizar los ajustes de alimentación durante todo el ciclo, pues los productores indicaba que para esa misma cantidad de peces en las primeras etapas (el primer mes) ellos ofrecían más alimento y, al terminar, menos del que en el proyecto se recomendaba.

Deficiencias de oxígeno en algunas unidades productivas

Para el establecimiento de los sistemas de cultivo piscícolas se realizó una búsqueda de literatura y, a su vez, un dialogo con los productores, quienes ya tenían experiencia en el cultivo de peces para lograr recomendar una densidad de siembra adecuada que no requiriera sistemas de aireación dependientes de energía. Así se llegó a la densidad máxima utilizada en la totalidad de los sistemas implementados en el proyecto, la cual fue de 2 peces/m². Esta densidad se puede considerar baja, pero recomendada para los sistemas de agroacuicultura integrada, en los cuales hay poca dependencia de insumos externos como la energía y equipos de alto costo, que serían característicos de sistemas semiintensivos o intensivos.

Como dificultad por resaltar, no obstante la densidad implementada, se presentaron inconvenientes asociados a baja concentración el oxígeno en los estanques, principalmente en etapas avanzadas del cultivo. En algunos de los predios hubo mortalidad de los peces por combinación de factores como bajo recambio, días nublados y cambios bruscos de temperatura, los cuales dificultaron

alcanzar los niveles de oxígeno adecuados en los estanques, ocasionando la muerte de los peces. Algunos productores implementaron aireadores o hicieron uso más frecuente de electrobombas para suministrar agua de recambio o realizar el movimiento del agua del estanque y minimizar las pérdidas por falta de oxígeno en sus cultivos. Del ejercicio realizado, y teniendo en cuenta que una gran parte de la piscicultura del departamento de Arauca se realiza por bombeo intermitente desde pozos subterráneos, se propone una densidad para estos modelos que no sobrepase 1 pez/m²; de lo contrario, se recomienda el uso de aireadores o intensificar los bombeos de agua en los estanques para evitar mortalidades por anoxia en el cultivo.

Integrar el agua de los estanques a los cultivos o áreas agrícolas dentro de los predios

Aunque el enfoque de los sistemas de agroacuicultura integrada es precisamente la integración de otras producciones del predio con la acuicultura, como eje fundamentalmente en cuanto al recurso hídrico concierne, en la praxis esta integración fue de difícil adopción por parte de los productores. Esto se puede atribuir principalmente a la dificultad o costo que conllevaba conducir el agua y los lodos desde los estanques hasta los sistemas de agricultura, así como el bajo recambio existente. Adicionalmente, si el área acuícola desde su inicio está diseñada de manera independiente del resto de las producciones del predio, organizar un flujo adecuado del agua es un desafío.

En la instalación de SAAI se recomienda sembrar plantas alrededor o cercanas a los estanques, para aprovechar el agua de estos para el riego del material vegetal. Es importante resaltar que en el departamento de Arauca, y específicamente en los predios

vinculados al proyecto para el establecimiento de los SAAI, existe una riqueza de aves silvestres importante, lo cual ocasionó que la siembra de especies de plantas en los bordes de los estanques no fuera una alternativa factible para los productores, dado que podrían servir para las aves de protección o punto de avistamiento y ataque hacia los peces.

En algunos predios, especialmente en aquellos donde las condiciones de nivel freático del suelo son elevadas, los cultivos y áreas agrícolas se encuentran muy distantes de los estanques, ya que un nivel alto no es inconveniente para la piscicultura, pero sí para la agricultura. Por lo anterior, es común destinar para este último segmento las tierras altas o de bajo nivel freático, dificultando aún más la integración de la piscicultura con las demás actividades productivas del predio, pues se requeriría bombear el agua vertida de la piscicultura a las áreas agrícolas. Adicionalmente, la mayoría de los productores que realizan procesos de agricultura, en esencia a pequeña escala, utilizan el calendario agroclimático, sembrando a inicios de lluvias, por lo que ven innecesaria la irrigación de sus cultivos. Cabe resaltar que para ellos el trasladar agua de los estanques hacia los cultivos es un esfuerzo superfluo.

Alteraciones del orden público

El departamento de Arauca no es ajeno a las situaciones sociales inherentes al conflicto armado de Colombia. Es importante mencionar que en el transcurso de la instalación y seguimiento de los SAAI, que en total fueron 10 meses, se presentaron 3 movilizaciones sociales que restringieron o interrumpieron parcialmente las entregas de alimento y visitas a predios en el territorio, sin influir drásticamente en el desarrollo del proyecto.

Oportunidades

Rendimiento del cultivo de cachama blanca y tilapia roja

Según los resultados obtenidos, fue posible evidenciar que las condiciones medioambientales del departamento de Arauca son adecuadas para el cultivo de estas 2 especies, logrando obtener en un solo estanque, algo más de 2 cosechas en el año con pesos finales entre los 400 y 500 gramos. Cabe destacar que en ninguno de los predios incluidos en el proyecto, ni antes ni durante el tiempo de ejecución de las pruebas, se presentaron problemas sanitarios de tipo infeccioso o de otro tipo. El principal inconveniente que afecta históricamente la salud de los peces, según lo mencionaron los propios piscicultores de Arauca, es el oxígeno, en algunas ocasiones y en predios puntuales. También existen derrames de petróleo que contaminan el cauce para las jaulas flotantes y el agua de los lugares donde se abastecen algunos productores, pero que no es causada por la actividad acuícola. Así, fue observado en general que en el departamento de Arauca se producen peces sanos y que con ajustes de manejo y prevención de riesgos, la actividad puede mejorar significativamente.

Recurso hídrico

El departamento de Arauca posee una riqueza hídrica que hace de la piscicultura un potencial agropecuario digno de explorar y potencializar. En los municipios del piedemonte (Tame, Fortul y Saravena) existe riqueza de afluentes hídricos superficiales con aguas provenientes de las montañas, que sirven de suministro constante para la acuicultura. De igual manera, en estos municipios y en los demás del departamento, existe presencia de acuíferos

subterráneos, desde donde, en la gran mayoría de los puntos del territorio, es posible extraer agua para la actividad piscícola. En este sentido, la oportunidad para el fortalecimiento de la piscicultura basada en su recurso hídrico está sobre la mesa.

Especies promisorias

La Granja Experimental y Biosegura El Cairo, de la sede Orinoquía de la Universidad Nacional de Colombia, cuenta con 2 estanques que fueron sembrados con especies poco usuales en acuicultura comercial en el departamento: uno con curito (Ͻ) y otro con coporo (Ͻ). Estas especies presentaron ganancias de peso satisfactorias, al ser alimentadas con el alimento peletizado fabricado en el LPAA. Es importante resaltar que las 2 especies consumieron alimento en el fondo de los estanques, por lo cual la no flotabilidad del alimento elaborado no es un factor negativo para su cultivo. Aunque la experiencia realizada con estas 2 especies fue experimental, se observó que existe interés entre los piscicultores para realizar futuros cultivos, pues ya las conocen y están disponibles en la región.

Disponibilidad de materias primas

En el departamento de Arauca existe disponibilidad de suelos con condiciones adecuadas para producir parte de las materias primas que se utilizaron para la elaboración del alimento balanceado, tales como matarratón, guásimo, bucare, leucaena y yuca. Así, la fabricación de alimento balanceado en pequeña escala se ve como una oportunidad para que el pequeño productor se pueda autoabastecer de estas materias primas, reconociendo e integrando la acuicultura como sistema SAAI en su predio, y generando una reducción en los costos de producción.

Conclusiones

La experiencia para establecimiento y apropiación de sistemas agroacuícolas integrados (SAAI) en el departamento de Arauca evidenció diversos logros, dificultades y oportunidades para los piscicultores de la región. El proyecto demostró la viabilidad de formular y fabricar alimento balanceado a pequeña escala utilizando materias primas locales no convencionales, lo cual representa un avance significativo para los pequeños piscicultores y de subsistencia. También se logró formular y producir alimento peletizado con un 20 % de proteína cruda, utilizando recursos como yuca, guáximo, matarratón, bucare y leucaena. Los análisis bromatológicos confirmaron la adecuada composición nutricional del alimento, y se observó una buena aceptación y consumo por parte de los peces. Los datos productivos, como la ganancia de peso, fueron satisfactorios, lo que sugiere que el alimento localmente producido es una alternativa viable para la alimentación de peces en la región.

Por otro lado, el proyecto enfrentó desafíos logísticos y de capacidad para seguimiento a cada piscicultura, incluyendo limitaciones por el reducido equipo de apoyo y condiciones de pequeña escala para la fabricación de las cantidades de alimento requerido. La producción de alimento requirió el procesamiento previo de materias primas frescas, lo que añadió complejidad al proceso. Además, se presentaron dificultades en la selección y el seguimiento de los piscicultores, con la necesidad de incluir y retirar participantes debido al incumplimiento de compromisos como la instalación de mallas de protección en los estanques. La falta de implementación constante de biometrías por parte de los productores también representó una limitación en la recopilación de datos.

Como oportunidad, se identificó el potencial de utilizar especies promisorias como el curito y el coporo en la acuicultura local, ya que mostraron una buena aceptación del alimento peletizado y ganancias de peso satisfactorias. También se destacó la disponibilidad de materias primas para la producción de alimento balanceado en el departamento de Arauca, lo que podría reducir los costos de producción y promover la autosuficiencia entre los pequeños productores. La fabricación de alimento a pequeña escala se presenta como una oportunidad para que los piscicultores de subsistencia accedan a una alternativa de alimentación más económica y adaptada a sus necesidades, integrando la acuicultura en sus sistemas agrícolas.

Referencias

- Ahmed, N., Ward, J. D. y Saint, C. P. (2014). Can integrated aquaculture-agriculture (IAA) produce “more crop per drop”? *Food Security*, 6(6), 767-779. <https://doi.org/10.1007/s12571-014-0394-9>
- Alexandratos, N. y Bruinsma, J. (2012). World agriculture towards 2030/2050: The 2012 revision. ESA Working paper n.º 12-03. FAO. <https://www.fao.org/4/ap106e/ap106e.pdf>
- Béné, C., Arthur, R., Norbury, H., Allison, E. H., Beveridge, M., Bush, S., Campling, L., Leschen, W., Little, D., Squires, D., Thilsted, S. H., Troell, M. y Williams, M. (2016). Contribution of Fisheries and Aquaculture to Food Security and Poverty Reduction: Assessing the Current Evidence. *World Development*, 79, 177-196. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2015.11.007>

- Contreras Castro, J. H. y Canchila Ascensio, E. R. (2012). Evaluación del rendimiento técnico en cachama blanca (*Piaractus brachypomus*) al sustituir morera (*Morus alba*) y falso girasol (*Tithonia diversifolia*) en el alimento balanceado de ceiba. *Citecsa*, 2(3), 4-14. <https://revistas.unipaz.edu.co/index.php/revcitecsa/article/view/16>
- Cordovilla Cabrera, D. E., y López Ramírez, Y. Va. (2016). Evaluación del efecto de diferentes niveles de morera (*Morus alba*) como suplemento en la dieta de alevinos de cachama blanca (*Piaractus brachypomus*), Centro experimental amazónico-departamento del Putumayo. [Informe final de Trabajo de Grado]. Universidad de Nariño.
- Durán, J. C. y Muñoz, A. P. (2016). Producción sostenible de alimentos mediante sistemas de agro-acuicultura integrada. *Memorias del VII Congreso Colombiano de Acuicultura*. <https://revistas.udenar.edu.co/index.php/revip/article/view/2984/3522>
- FAO. (2004). Agro-Acuicultura Integrada. Manual Básico. Instituto Internacional para la Reconstrucción Rural. Documento técnico de pesca n.º 407. *FAO*. <http://www.fao.org/3/y1187s/y1187s00.htm>.
- FAO. (2007). *Fisheries Proceedings*, n.º 10. *FAO*.
- FAO. (2017). Trabajo Estratégico de La FAO Para Una Alimentación y Agricultura Sostenibles. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/8f588a18-17e2-4dc0-840e-6cc340949a70/content>
- FAO. (2021). *Yearbook Fishery and Aquaculture Statistics 2019*. *FAO annuaire. Statistiques des pêches et de l'aquaculture 2019. FAO anuario. Estadísticas de pesca y acuicultura 2019* [e-book]. *FAO eBooks*. <https://doi.org/10.4060/cb7874t>

- FAO. (2022). El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2022. Hacia la transformación azul [e-book]. FAO eBooks. <https://doi.org/10.4060/cc0461es>
- FAO. (2024). *El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2024. La transformación azul en acción* [e-book]. FAO eBooks. <https://doi.org/10.4060/cd0683es>
- Gobernación de Arauca. (2020). *Plan participativo de desarrollo departamental: “Construyendo futuro” 2020-2023*. Gobernación de Arauca.
- Gomes Rios, D. A. (2023). Inclusión de materias primas vegetal y animal en la dieta de *Colossoma macropomum* (cachama negra) y su incidencia en el crecimiento en condiciones de laboratorio. [Trabajo de grado, Universidad Estatal Península de Santa Elena]. Repositorio Universitario. <https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/10096/1/UPSE-TBI-2023-0052.pdf>
- Hanjra, M. A., y Qureshi, M. E. (2010). Global water crisis and future food security in an era of climate change. *Food Policy*, 35(5), 365-377. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2010.05.006>.
- Larraín González, A., Muñoz Ramírez, A. P. y Cabrera Orozco, A. (2024). La agroacuicultura integrada entre comunidades indígenas: una experiencia de apropiación social del conocimiento en el Caribe colombiano. *Naturaleza y Sociedad. Desafíos Medioambientales*, 9, 128-145. <https://doi.org/10.53010/KJDX9850>
- Lenntech. Water Treatment solutions. (2024, 26 de noviembre). Fósforo - P. Lenntech [sitio web]. <https://www.lenntech.es/periodica/elementos/p.htm#ixzz1IJxtW5IR>

- Lochmann, R., Chen, R., Chu-Koo, F. W., Camargo, W. N., Kohler, C. C. y Kasper, C. (2009). Effects of carbohydrate-rich alternative feedstuffs on growth, survival, body composition, hematology, and nonspecific immune response of black pacu, *Colossoma macropomum*, and red pacu, *Piaractus brachypomus*. *Journal of the World Aquaculture Society*, 40, 33-44. <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.2008.00232.x>
- Martínez-Antonio, E. M., Castañeda-Hidalgo, E., Santiago-Martínez, G. M., Lozano-Trejo, S. y Díaz-Zorrilla, G. O. (2022). Sistemas Agro-Acuícolas Integrados. *Revista Mexicana de Agroecosistemas*, 9(1), 137-147. <https://revistaremaeitvo.mx/index.php/remae/article/view/39>
- Mazoyer, M. y Roudart, L. (2010). *História das agriculturas no mundo: do neolítico à crise contemporânea*. Fundação Editora da UNESP. https://docs.fct.unesp.br/docentes/geo/bernardo/BIBLIOGRAFIA%20DISCIPLINAS%20POS-GRADUACAO/HISTORIA%20DA%20AGRICULTURA/Historia_das_agriculturas.pdf
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2024, 31 de diciembre). Bullets acuicultura IV trimestre 2024 [Presentación de PowerPoint]. <https://www.minagricultura.gov.co>
- Muñoz-Ramírez, A. P., Wills-Franco, G. A., Niño-Monroy, L. E. y Díaz-Espitia, B. (2024). *Catálogo de materias primas convencionales y no convencionales para alimentación acuícola del departamento de Arauca*. Universidad Nacional de Colombia.
- Murray, F. J. y Little, D. C. (2000). The nature of small-scale farmer managed irrigation systems in north west province, Sri

- Lanka and potential for aquaculture, Working Paper SL1.3. <https://core.ac.uk/download/pdf/11018604.pdf>
- Porras Vargas, J. L., Muñoz Ramírez, A. P., Rodríguez Molano, C. E. y Pulido Suárez, N. J. (2019). *Desarrollo de sistemas alimentarios sostenibles para cachama y tilapia, basado en recursos agrícolas y pecuarios de la Provincia de Lengupá*. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia; Universidad Nacional de Colombia. <https://repositorio.uptc.edu.co/handle/001/9682>
- Prein, M. (2002). Integration of aquaculture into crop–animal systems in Asia. *Agricultural Systems*, 71(1-2), 127-146. [https://doi.org/10.1016/s0308-521x\(01\)00040-3](https://doi.org/10.1016/s0308-521x(01)00040-3)
- Prein, M. (2007). Comparative analysis of material flows in low input carp and poultry farming: an overview of concepts and methodology. En D. M. Bartley, C. Brugère, D. Soto, P. Gerber y B. Harvey (eds.), *Comparative assessment of the environmental costs of aquaculture and other food production sectors: Methods for meaningful comparisons* (pp. 24-28). FAO/WFT Expert Workshop.
- Resolución 1485 del 08 de julio de 2022 [Autoridad Nacional de Agricultura y Pesca (Aunap)]. Por la cual se establecen los requisitos y procedimientos para el otorgamiento de permisos y autorizaciones para el ejercicio de la actividad pesquera y de la acuicultura, así como de sus prórrogas, modificaciones, aclaraciones y cancelaciones, archivo de expedientes y expedición de patentes de pesca, se adoptan otras disposiciones y se deroga la resolución N.º 2723 de 2021. 8 de julio de 2022. <https://www.aunap.gov.co/documentos/Fomento/proyectos-regulatorios-consulta-publica/Resolucion-requisitos-permisos-24-05-2022.pdf>



3

Apropiación de saberes en buenas prácticas de producción acuícola: jornadas de apropiación del conocimiento para acuicultores pequeños y de subsistencia

Andrea Carolina Piza Jerez ¹

Andrés Camilo Correa Núñez ²

Daniela Castillo González ³

La acuicultura a pequeña escala: una oportunidad para la seguridad alimentaria y el desarrollo de la comunidad del departamento de Arauca

En la actualidad, la acuicultura se ha convertido en una alternativa importante para producir alimentos como respuesta al crecimiento de la población mundial. En Colombia, esta actividad es clave para proporcionar proteína de calidad, mejorar la nutrición de muchas familias y constituir una fuente de empleo que mejore la economía, en general, en el ámbito local y regional. También representa una gran oportunidad para mejorar las condiciones de vida de un número importante de familias en áreas rurales que practican la acuicultura de subsistencia o de pequeña escala, pues representan el 96 % de los acuicultores en el país y aportan al 23 % de la producción nacional (Duarte *et al.*, 2022; Roca *et al.*, 2022). No obstante, la mayoría de estos productores enfrentan desafíos como la falta de conocimiento técnico acerca de la alimentación de los peces, aspectos de calidad del agua y cómo hacer su sistema productivo más eficiente. Por ello, estrategias educativas adecuadas resultan ser un factor clave para hacer la diferencia incrementando la productividad, optimizando recursos económicos, humanos y, en últimas, mejorando la

1. Zootecnista. M.Sc. en Producción Animal. Coordinadora técnica nacional. Federación Colombiana de Acuicultores (Fedeacua); coordinaciontecnica@fedecua.org. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7184-0009>. Grupo de investigación Aquasost COL 0148907.

2. Zootecnista. Magíster en Administración. Coordinador técnico administrativo del Proyecto Arauca Acuícola I+D. Universidad Nacional de Colombia; accorrear@unal.edu.co. ORCID <https://orcid.org/0009-0001-584-8599>.

3. Médico veterinario zootecnista. Máster en Educación. Profesional Ordenamiento. Proyecto Arauca Acuícola I+D. Federación Colombiana de Acuicultores (Fedeacua), gestiontecnica@fedecua.org ORCID: 0009-002-420-9143.

calidad de vida de los acuicultores cuyos ingresos dependen de esta actividad.

En los últimos años, el departamento de Arauca ha tenido un importante crecimiento en términos de aptitud piscícola. Se ha identificado que la actividad es realizada en su mayoría por productores piscícolas catalogados como de agricultura campesina, familiar, étnica y comunitaria (ACFEC)⁴, lo que ha beneficiado a sus mismas comunidades rurales. Por ello, para que estos beneficios alcancen a toda la comunidad y realmente aporten a la seguridad alimentaria, es crucial que los acuicultores desarrollen habilidades y conocimientos sólidos, en un proceso de formación en el que puedan apropiarse de aquello que ocurre en las prácticas piscícolas de tradición.

Apropiación social del conocimiento y su enfoque para la transformación social

La apropiación social del conocimiento (ASC) se centra en acercar el conocimiento técnico o científico a la comunidad para que este pueda usarse en sus actividades y se adapte a sus necesidades, tanto a nivel económico como cultural. Por tal razón, esta estrategia va más allá de, simplemente, enseñar desde la teoría; busca formar en la acción y la práctica, así como promover un conocimiento que sea comprensible y útil para mejorar la vida de quienes lo reciben, por medio de un espacio de intercambio de saberes entre el

4. Lineamientos Estratégicos de Política Pública: agricultura campesina, familiar y comunitaria (ACFC). Bogotá DC: Ministerio de Agricultura. En <https://www.minagricultura.gov.co/Documents/lineamientos-acfc.pdf>

profesional experto y el productor. De esta manera, se enriquecen mutuamente las prácticas, combinando conocimiento tradicional y científico, hecho que impulsa el aprovechamiento de ambos saberes y fortalece la interacción con el objetivo de responder a los desafíos específicos de cada entorno (Dueñas, 2022; Pérez *et al.*, 2022; Romero-Rodríguez *et al.*, 2020), (ver figura 1).



Figura 1. Apropiación social del conocimiento en la acuicultura
Fuente: elaboración propia.

En este sentido, la ASC es un mecanismo que no solo transforma las prácticas de producción, las cuales son la base de la economía de las comunidades, sino que permite que el conocimiento científico y tecnológico sea accesible y que su lenguaje sea comprensible para los productores, facilitando la implementación de habilidades que mejoren su producción y, con ello, su calidad de vida (García-Quintero, 2022). Esta estrategia se ha consolidado como una herramienta en el desarrollo de la ciencia y la tecnología aplicada al sector agropecuario, pues contribuye a la transformación del campo, a la vez que

reduce brechas de conocimiento (García y Guerrero, 2019). De esta forma, poblaciones que generalmente se encuentran distanciadas, se acercan para un intercambio de saberes.

En el contexto de la acuicultura del departamento de Arauca, esta estrategia representa una herramienta de transformación para que los piscicultores no solo adquieran habilidades técnicas, sino también fortalezcan su confianza, su capacidad para adaptarse a nuevos desafíos y su sentido de comunidad.

Estrategia de apropiación social del conocimiento acuícola en Arauca

La Universidad Nacional de Colombia, en alianza con la Federación Colombiana de Acuicultores (Fedeacua), en el marco del proyecto Arauca Acuícola I+D, actuó como el puente que facilitó el acercamiento entre los expertos y los productores piscícolas, mediante la creación de espacios de interacción que fueron denominados como “Jornadas de Apropiación del Conocimiento”. Estas siguieron un modelo educativo itinerante y práctico bajo la metodología aprender haciendo, que hace parte de un aprendizaje participativo. Esto significa que, además de recibir el soporte teórico, los acuicultores pusieron en práctica lo aprendido, en compañía de profesionales, directamente en su lugar de vivienda y trabajo, logrando una experiencia participativa de aquellos aspectos compartidos desde el ámbito conceptual. Las jornadas fueron llevadas a cabo entre junio de 2022 y agosto de 2024, en los municipios de Arauca, Arauquita, Fortul, Saravena y Tame, del departamento de Arauca. Cabe resaltar que, durante el proceso, el contenido se fue adaptando a las prácticas piscícolas locales, mientras se abordaban aspectos

clave en el desarrollo acuícola, pertinentes para la región. Esta dinámica se efectuó bajo el seguimiento estratégico del respectivo proceso (ver figura 2).



Figura 2. Proceso de las jornadas de apropiación del conocimiento implementadas en el departamento de Arauca
Fuente: elaboración propia.

El proyecto Arauca Acuícola I+D inició formalmente en febrero de 2022, y desde la formulación del mismo, en 2019, se identificó la dispersión geográfica de los productores en los siete municipios del departamento. Las distancias entre los municipios más lejanos involucrados en el proyecto (Arauca, Arauquita, Fortul, Saravena y Tame) pueden llegar a ser de más de 120 km entre sus áreas urbanas, que en términos de tiempo podrían representar alrededor de 4 horas cada trayecto, sin contar el desplazamiento desde las áreas rurales, donde los productores tienen sus predios (ver figura 3). Lo anterior fue tenido en cuenta durante la planificación de

cada jornada, procurando facilitar el desplazamiento de los productores; por ello, una estrategia fue la itinerancia por parte del equipo capacitador.

Como resultado, algunas jornadas fueron desarrolladas directamente en los municipios, estableciendo cinco o seis núcleos de capacitación, priorizando el lugar de fácil acceso a los productores. Por otro lado, y buscando que los productores afianzaran más su relación con la Universidad Nacional de Colombia, sede Orinoquía, ubicada en el municipio de Arauca (ver figura 4), se desarrollaron jornadas en sus instalaciones y se proporcionó el transporte para los asistentes. Por último, y con el ánimo de generar redes de contactos, así como de fortalecer el tejido social entre los acuicultores, se realizó una jornada en la que se combinaron municipios: se llevaron productores de Fortul a Tame, de Arauquita a Saravena y un tercer grupo en la capital del departamento. Cabe destacar que en el municipio de Arauquita se localiza el corregimiento de Panamá de Arauca, no obstante, por distancias y facilidad de acceso, los acuicultores de esta zona fueron adheridos al núcleo en el municipio de Arauca.

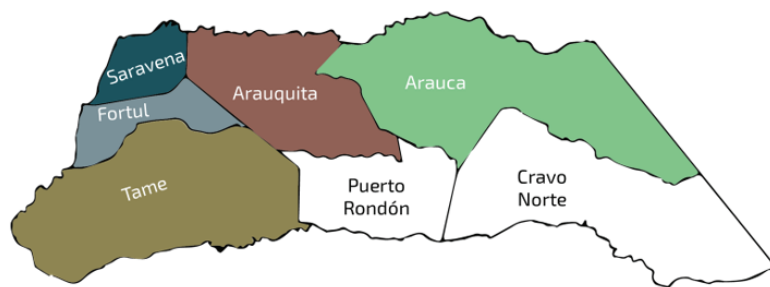


Figura 3. Municipios del departamento de Arauca. En color se indican los beneficiarios del Proyecto Arauca Acuícola I+D

Fuente: Lisa María Vargas Chacón.



Figura 4. Acuicultores en la Universidad Nacional de Colombia, sede Orinoquia

Fuente: elaboración propia.

Ahora bien, es preciso señalar que, antes de iniciar las jornadas, se identificó que los acuicultores del departamento de Arauca enfrentan retos complejos que no podían ser desconocidos dentro del marco de aprendizaje que se pretendía potenciar. Dentro de estos se identificaron la baja productividad y la falta de conocimiento en buenas prácticas de producción acuícola (BPPA). Para la



Fuente: elaboración propia.



Figura 6. Temáticas desarrolladas en las jornadas de apropiación del conocimiento con piscicultores del departamento de Arauca
Fuente: elaboración propia.

Otro de los aspectos incluidos dentro de la planificación de las jornadas fueron las condiciones sociodemográficas de los acuicultores, quienes de manera paralela estaban siendo caracterizados mediante la visita a sus predios y eran importantes para definir la

estrategia pedagógica. Los asistentes a las jornadas y, en general, los acuicultores araucanos, son personas adultas con poca formación en la actividad acuícola y en su mayoría con escolaridad de educación básica. Este perfil supuso un reto adicional para el equipo capacitador, ya que fue necesario plantear una estrategia educativa enfocada en este grupo, de manera que se brindaran conceptos fundamentales de la acuicultura ajustados a la realidad productiva de los beneficiarios de las jornadas.

En este escenario, se debían desarrollar jornadas dinámicas, con material didáctico apropiado para la población objetivo, en horarios que permitieran optimizar el tiempo de los productores, por lo que no se programaron jornadas muy cortas, ya que cada productor debía destinar tiempo de sus labores en granja para asistir a las jornadas, que debían ser provechosas. Así mismo, teniendo en cuenta las distancias entre municipios, así como las responsabilidades de los participantes en sus predios, las jornadas tampoco podrían iniciar muy temprano o terminar muy tarde. Por ello, no se realizaron jornadas muy cercanas en el tiempo, para facilitar que el acuicultor pudiera designar a alguien más para que se hiciera cargo de las actividades en granja durante su ausencia.

Desarrollo de las jornadas

La *formalización* de la actividad acuícola fue un tema que abrió nuevas perspectivas, ya que los acuicultores entendieron que al formalizarse podían tener la oportunidad de acceder a apoyos y beneficios del Gobierno, pues, al estar registrados en una base de datos oficial, se facilitaba la gestión de recursos públicos y hasta privados como el acceso a préstamos bancarios, lo que impulsaba

su desarrollo y crecimiento. Dentro de la percepción de los acuicultores, la formalización implica trámites extensos, costosos, difíciles y entidades burocráticas que no benefician a la población (ver figura 7). Dentro de la jornada, se identificó el desconocimiento o la claridad de los trámites asociados, así como el de las instituciones implicadas; en algunos casos, mostraron resistencia a contactar las entidades por tener antecedentes negativos de otros productores agropecuarios; sin embargo, ampliar la información y aclarar dudas sobre la formalización permitió que los acuicultores tomaran decisiones informadas e iniciar o no estos procesos.



Figura 7. Capacitación en formalización de la actividad acuícola a participantes del proyecto Arauca Acuicola I+D

Fuente: elaboración propia.

Otro tema tratado en las jornadas fue el de *sanidad animal*, el cual fue uno de los puntos clave para que los productores comprendieran cómo mantener la salud de sus peces a través de prácticas

de prevención y cuidado. En este módulo lograron aprender cómo identificar signos tempranos de enfermedades y las medidas que pueden implementar para garantizar la sanidad de sus peces, reduciendo pérdidas de animales; prácticas que no solo mejoran la estabilidad de la producción y la calidad del pescado, sino que se consolida como un beneficio compartido con la comunidad que trabaja y consume estos alimentos. Durante esta jornada, se incluyó un componente práctico: se realizaron necropsias de peces y se logró identificar que existían vacíos en conocimientos sobre la anatomía básica de los peces; de esta manera, los acuicultores aprendieron, con “casos reales”, cómo identificar anomalías en los animales, así como aspectos normales de los mismos (ver figura 8).



Figura 8. Demostración de necropsia de peces durante la jornada sobre sanidad animal

Fuente: elaboración propia.

Dentro de las temáticas incluidas en las jornadas, la inocuidad resultó ser otro tema revelador para muchos acuicultores, debido a que se hizo visible la importancia de generar conciencia sobre su responsabilidad en la producción de peces, los cuales deben

ser aptos para el consumo humano, no solo por la protección de los consumidores, sino porque también genera un valor en la producción local, al crear confianza en los productos de la región. Durante la jornada, se realizó un ejercicio práctico en el que los asistentes mencionaron cuáles eran sus mercados actuales y a cuáles querían llegar, e identificaron cuáles eran los aspectos más importantes que debían tener en cuenta para lograrlo. Reconocieron que la inocuidad a lo largo de la cadena, desde la siembra hasta la comercialización, es clave para alcanzar algunos de los mercados mencionados (ver figura 9).

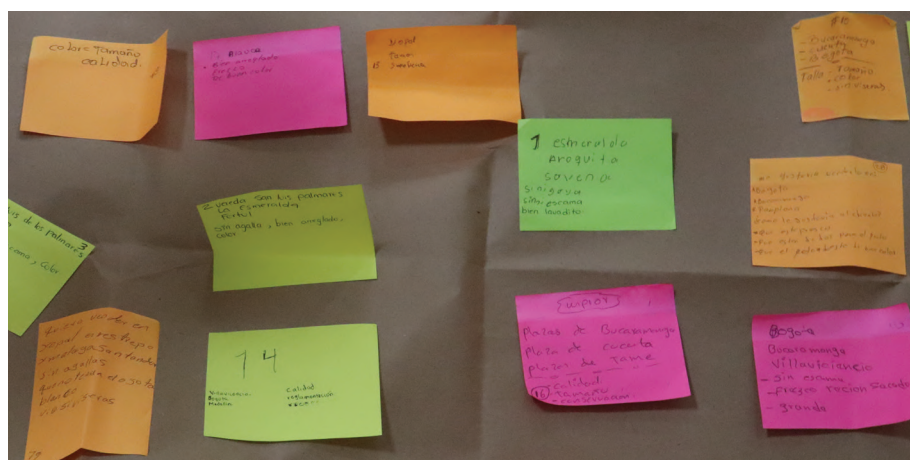


Figura 9. Identificación de aspectos clave sobre inocuidad por parte de los asistentes a la jornada de apropiación del conocimiento del proyecto Arauca Acuicola I+D

Fuente: elaboración propia.

En lo que respecta a la *bioseguridad* y el *bienestar animal*, se enfatizó en la importancia de la prevención y el tratamiento de enfermedades en los peces; además, se destacó que una producción eficaz depende del cuidado y la protección de los animales, pues, al adoptar prácticas sencillas de bioseguridad, se crea un ambiente

más saludable para sus cultivos (ver figura 10) y, a largo plazo, se beneficia cada productor, pero también sus compañeros: al mantener su producción libre de enfermedades, el piscicultor contribuye a proteger las granjas cercanas, con la promoción de una comunidad acuícola más segura. En la jornada que abordó esta temática, a los participantes les llamó la atención y les causó curiosidad que en peces también se considere el bienestar animal, y que existan aspectos cruciales como la calidad, tanto en el agua como en el sacrificio, los cuales deben tenerse en cuenta para una adecuada actividad. Cabe destacar que estas temáticas fueron ofrecidas en conjunto con los líderes del componente de Bienestar de Peces, del proyecto Arauca Acuícola I+D, profesora Sandra Pardo, y el zootecnista M.Sc. Hernán Alzate.

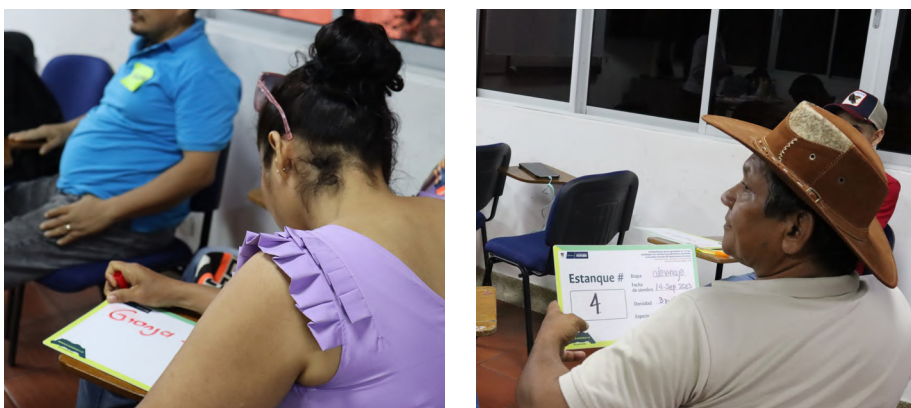


Figura 10. Identificación de áreas productivas durante la jornada sobre bioseguridad

Fuente: elaboración propia.

Se evidenció que para la mayoría de los acuicultores era la primera vez en abordarse el tema del bienestar animal, y que era poco tratado en oportunidades o espacios previos. Por esta razón, se hizo

énfasis en que los peces, a pesar de no ser como otros animales que pueden comunicar el dolor, también son seres sintientes y merecen un ambiente saludable y de calidad, no solo por los beneficios que esto reporta a la producción, sino por el respeto a la vida de los animales que tienen bajo su cuidado. De esta manera, estas jornadas también demostraron que las prácticas de las comunidades podían transformarse hacia una nueva forma de proyectar la mirada sobre estos seres, que son el recurso central del sostenimiento de las mismas.

El *medio ambiente* fue otra temática relevante que ayudó a los acuicultores a comprender cómo su actividad impacta en el entorno y la importancia de implementar prácticas sostenibles para cuidar recursos esenciales como el agua y el suelo, puesto que son fundamentales para la continuidad de su labor. En esa dirección, pudo plantearse a los participantes que proteger el ambiente circundante y, en especial, el recurso hídrico, no solo les beneficia directamente, sino que también ayuda a conservar dichos recursos para las generaciones futuras, que serán las que continuarán el legado de esta forma de vida e interacción con la naturaleza. Este cambio de perspectiva los llevó a reconocer que, aunque los efectos no siempre son inmediatos, a largo plazo son significativos. Un ejemplo claro de esto es la disminución, en los últimos 20 años, del caudal de los ríos que ellos conocen, como consecuencia del impacto de prácticas no sostenibles a lo largo del tiempo, aspecto que ha perjudicado a toda la comunidad y la región. Dentro de los aspectos ambientales se abordaron actividades como la separación y clasificación de residuos, y la interacción con fauna silvestre. También se abordaron temas como los negocios verdes y el ecoturismo, y

se destacó que aquellos productores que cuentan con predios pueden ofrecer servicios ecosistémicos y avanzar hacia la sostenibilidad del negocio acuícola.

Desde la perspectiva social, debe señalarse que el trabajo en comunidad también fue fundamental durante las jornadas, pues, por medio de la colaboración y el intercambio de experiencias, los acuicultores descubrieron que afrontar los desafíos y obstáculos de forma conjunta genera una red de apoyo en la que todos se benefician, así como al compartir conocimientos, estrategias y soluciones. La conclusión más relevante al respecto fue la del valor de unirse en la formación de asociaciones, puesto que estas les permiten obtener beneficios comunes como mejores precios, acceso a apoyos y recursos y una mayor visibilidad en el mercado. En cuanto al acuicultor, como trabajador de una empresa acuícola familiar o de pequeña escala, se invitó al reconocimiento de los derechos y deberes como empleados y empleadores, así como a identificar los riesgos y la prevención a los que están expuestos en sus actividades diarias.

Por último, en cuanto a la *trazabilidad*, los productores comprendieron la importancia de registrar cada paso de su proceso de producción, lo cual no solo permite garantizar la calidad del pescado, sino que también fortalece la confianza de la comunidad en el producto que se produce, ya que al mantener registros pueden demostrar la responsabilidad en cada etapa. Este factor refuerza su relación con los consumidores y mejora su reputación en el mercado, de manera que es innegable la influencia positiva que genera en sus formas de economía y de vida en general. Para reforzar el conocimiento, se desarrollaron ejercicios prácticos en los que los asistentes a las jornadas debían diseñar y registrar datos en los formatos que

se considerasen necesarios, tales como el ingreso y salida de visitantes y vehículos, ventas, siembras y cosechas. El ejercicio se realizó de forma grupal y cada uno socializó con los demás su experiencia, identificando así otras perspectivas y formas de implementarlos en sus predios.

Como se ha mencionado anteriormente, las jornadas de apropiación del conocimiento integraron los saberes técnicos-científicos presentados en las temáticas y los conocimientos tradicionales para enriquecer la práctica de la acuicultura en las comunidades, resaltando el aprendizaje colaborativo (ver figura 11).

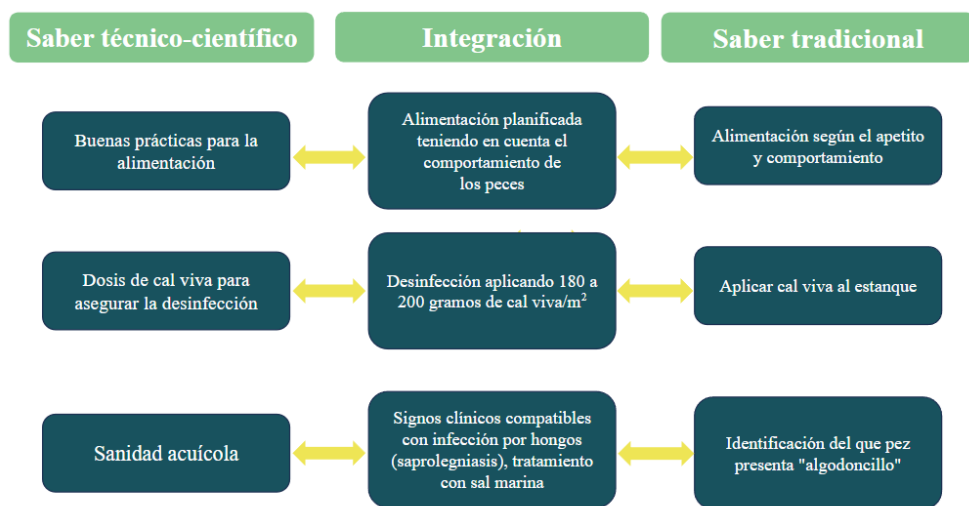


Figura 11. Integración de saberes acuícolas en las jornadas de apropiación del conocimiento del proyecto Arauca Acuícola I+D

Fuente: elaboración propia.

Impacto de las jornadas de apropiación del conocimiento

Las jornadas tuvieron una gran acogida en la comunidad de piscicultores del departamento de Arauca. Se logró reunir más de 470 personas en las diferentes sesiones, con una asistencia que varió entre 70 y 214 personas por cada jornada (ver figura 12). Esta participación demuestra el interés de los acuicultores en mejorar sus prácticas y el valor que encontraron en estas. De hecho, alrededor del 40 % de los productores asistió a más de una jornada, lo cual indica que los temas tratados fueron de gran utilidad para ellos y que el ejercicio tenía unos valores agregados y diferenciales que se materializaron en sus intereses.

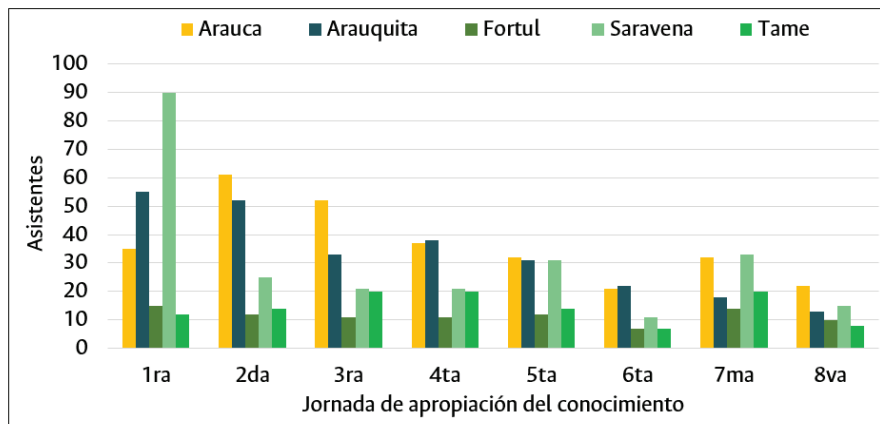


Figura 12. Distribución de asistentes a cada jornada de apropiación del conocimiento en el proyecto Arauca Acuicola 1+D

Fuente: elaboración propia.

Adicionalmente, uno de los aspectos a resaltar es que el grupo de participantes reflejó una composición diversa: un 60 % fueron hombres y un 40 % mujeres, lo que demuestra el crecimiento de la participación femenina en la acuicultura, que no solo enriquece y fortalece el sector con una perspectiva más diversa, sino que también representa un paso importante hacia la igualdad en la zona rural. La participación activa de las mujeres en estas jornadas contribuyó a su empoderamiento y reconocimiento en la comunidad, y reflejó un avance en el desarrollo de prácticas inclusivas y sostenibles, en el que las voces y experiencias de todos los actores son valoradas.

En este marco, uno de los principales logros de las jornadas fue el fortalecimiento de la cohesión social entre los acuicultores, debido a que, al participar en actividades grupales, los productores compartieron sus experiencias y aprendieron unos de otros en el tejido de saberes desde diferentes miradas. Esto llevó a la consolidación del aprendizaje y facultó la construcción de confianza entre las mismas comunidades. Visto así, se pudo observar que esta integración fomenta el trabajo en equipo y genera un sentido de pertenencia en la comunidad, lo que, según Pérez *et al.* (2022), es clave para el desarrollo social y sostenible a largo plazo, porque ahora se ven como agentes activos de sus comunidades, gracias a la implementación de la estrategia de ASC.

En esta dirección, es fundamental señalar que, como la metodología aprender haciendo tiene un enfoque práctico, fue posible que los acuicultores aplicaran lo aprendido directamente con el acompañamiento de un profesional experto. De esta manera, se fusionó lo aprendido en sistemas de producción locales y propios; dicha síntesis no solo mejoró sus

conocimientos y aseguró un aprendizaje significativo, sino que también promovió en ellos la confianza para realizar cambios en sus prácticas a través de una red de integración, como se evidencia en la figura 13.

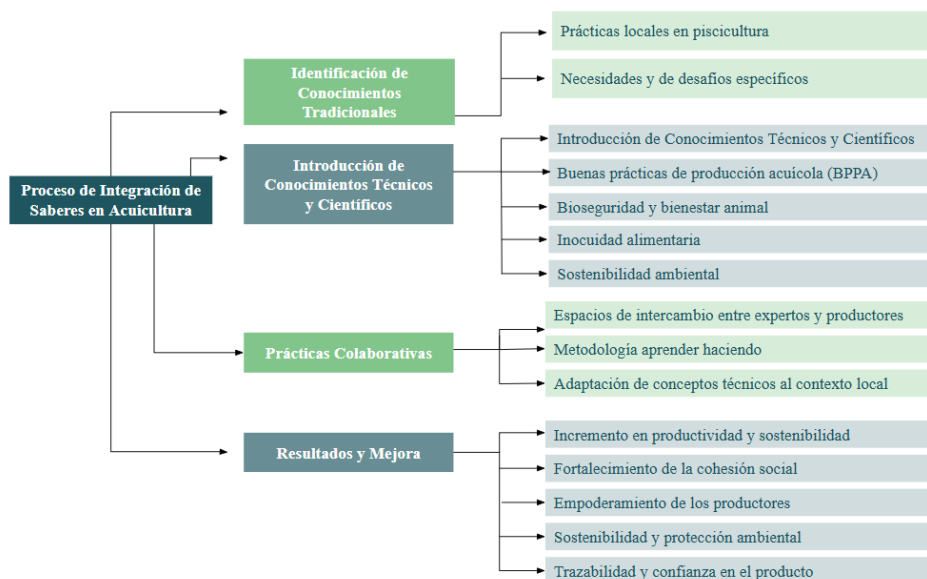


Figura 13. Proceso de integración de saberes en acuicultura identificados en las Jornadas de Apropiación del conocimiento del proyecto Arauca Acuícola 1+D
Fuente: elaboración propia con la página Whimsical.

La educación es agente de cambio y mejora de la calidad de vida

Para finalizar, es pertinente señalar que la educación y el acceso al conocimiento son elementos fundamentales para el desarrollo social y económico de cualquier comunidad, como ya se ha constatado a lo largo de la exposición de esta experiencia. Para el caso de los acuicultores del departamento de Arauca, las jornadas de

apropiación del conocimiento no solo brindaron habilidades técnicas, sino que también representaron un motor de cambio, empoderándolos en su rol de productores y aumentando la productividad y sostenibilidad de sus sistemas productivos. Además, se comprende que la construcción de un saber para la producción acuícola implica un proceso de integración de conocimientos técnicos y saberes tradicionales, basado en el diálogo y la colaboración entre expertos y productores. La integración reflejada en las jornadas de apropiación del conocimiento llevadas a cabo en el departamento de Arauca demuestra que el aprendizaje va más allá de lo teórico y cobra vida en la práctica, al promover una visión compartida de desarrollo que trasciende la actividad productiva, impulsando el trabajo en equipo y la organización social.

Por último, y como parte del cierre de las actividades en campo, en el mes de septiembre de 2024 se entregaron reconocimientos a aquellos productores que participaron en cuatro o más jornadas de apropiación del conocimiento, con el fin de resaltar su compromiso y participación activa. Durante la jornada, se evidenció que la entrega de los reconocimientos fue bien recibida por parte de los asistentes.

Conclusiones

Este proceso de formación duró cerca de 18 meses y, a pesar de que no todos los participantes de la primera jornada estuvieron en la última, se observó a medida que se iban vinculando nuevos asistentes que encontraban interesantes estas capacitaciones y procuraban participar e invitar a vecinos. Para lograr esto, fue importante respetar y conocer los horarios más apropiados para desarrollar las actividades, así como los lugares de realización.

Como se mencionó anteriormente, los asistentes, en su mayoría, eran personas mayores con poca formación en acuicultura, lo que llevó a que el equipo de profesionales no solo preparara clases magistrales, sino que se esforzaran por brindarles contenido adecuado, sin dejar de lado la calidad del mismo.

Las jornadas prácticas permiten que los acuicultores desarrollen actividades rutinarias del sistema piscícola de forma guiada y favorecen el afianzamiento de los conocimientos adquiridos y aclarar dudas in situ: sin embargo, se debe procurar el equilibrio entre la teoría y la práctica.

Estos espacios permiten ampliar los conocimientos, no solo en una temática específica de acuicultura, sino en otras habilidades blandas como el trabajo en grupo, la reflexión y el análisis, la construcción de propuestas, la resolución de conflictos e incluso el uso de herramientas de las tecnologías de información y comunicación (TIC).

El reconocimiento de la participación de los acuicultores en estas actividades y su permanencia es de vital importancia, pues resulta gratificante para ellos. Los certificados son una retribución final y se recomienda entregarlos dentro de los programas de formación que se realicen con los productores.

Se reflejó la importancia de la ciencia, la tecnología y la innovación en el desarrollo de las habilidades blandas, y que, con las metodologías apropiadas, se pueden atender las necesidades del sector productivo; en este caso, de los acuicultores de subsistencia o pequeña escala que hacen parte de la agricultura campesina, familiar, étnica y comunitaria (ACFEC), en el departamento de Arauca. Todo esto permite mejorar la productividad de sus sistemas de producción piscícolas, de forma eficiente e integralmente sostenible.

Los autores agradecen al equipo de contratistas que se vincularon al componente y quienes apoyaron el desarrollo de las jornadas: Caled Álvarez, Beatriz Arévalo, Dairo Burgos, Henry Mojica, Fabián Muñoz y la diseñadora Lisa María Vargas, quien apoyó la construcción gráfica de las piezas de invitación y la difusión en redes sociales.

Referencias

- Duarte, L., García, E., Tejeda, K., Cuello, F., Gil-Manrique, B., De León, G., Curiel, J., Cuervo, C., Vargas, O., Isaza, E., Manjarez-Martínez, L., & Reyes-Ardila, H. (2022). *Estadísticas de desembarco y esfuerzo de las pesquerías artesanales de Colombia – Enero a octubre de 2022*. Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca (AUNAP) - Universidad del Magdalena. http://sepec.aunap.gov.co/Archivos/Boletines2022/SEPEC_Boletin_Desembarco_Artesanal_2022.pdf
- Dueñas, D. (2022). Apropiación social del conocimiento en Colombia. Una interpretación desde la política pública (1990-2021). *Revista Saber, Ciencia y Libertad*, 17(2), 523 – 553. <https://doi.org/10.18041/2382-3240/saber.2022v17n2.9341>
- García-Quintero, A. (2022). Science for Society: Participatory Research and Social Appropriation of Knowledge. *Journal of Science with Technological Applications*, 13(2), 1-2. <https://10.34294/j.jsta.22.13.0>
- García López, J. S., y Guerrero Lindao, H. (2019). Apropiación social del conocimiento en las asociaciones del sector agropecuario en el departamento de Risaralda [Tesis de pregrado]. Universidad Cooperativa de Colombia. <https://hdl.handle.net/20.500.12494/15820>

- Pérez Peña, R. E., Rodríguez Espinosa, Runge Peña, H., Galeano Flórez, H., Ospina Parra, C., García Márquez, A., Quiroz, T., Upegui, S., Loaiza, A., Duque, M., & Romero Rubio, L. (2022). *Metodología para la gestión de los estilos de enseñanza en el sector agropecuario en Colombia*. <https://doi.org/10.21930/agrosavia.manual.2022.5>
- Roca-Lanao B., Mendoza-Ureche, R., & Manjarrés-Martínez, L. (2022). *Balance general del inventario de unidades de producción de acuicultura caracterizadas por el SEPEC durante el periodo 2018 – 2022*. Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca (AUNAP). <http://sepec.aunap.gov.co/Home/VerPdf/110>
- Romero-Rodríguez, J., Ramírez-Montoya, M., Aznar-Díaz, I., & Hinojo-Lucena, F. (2020). Social Appropriation of Knowledge as a Key Factor for Local Development and Open Innovation: A Systematic Review. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, 6(2), 44. <https://doi.org/10.3390/joitmc6020044>



4

Aspectos sociales de la capacitación en bienestar animal para peces de cultivo

Sandra Clemencia Pardo Carrasco ¹
Hernán Antonio Alzate Díaz ²



En el marco de la ejecución del proyecto Fortalecimiento de las capacidades en I+D que contribuyan a la solución de problemáticas priorizadas en la cadena acuícola del departamento de Arauca - Arauca Acuícola I+D, y con el propósito de generar una apropiación social del conocimiento sobre el bienestar animal de peces de cultivo para consumo humano y diseñar estrategias para el aprendizaje comunitario y de cocreación, se realizaron talleres participativos con productores de los cinco municipios de influencia del proyecto: Arauca, Arauquita, Fortul, Saravena y Tame.

El objetivo de este capítulo es presentar los resultados de los talleres, los retos identificados, los aprendizajes alcanzados, así como proponer nuevos talleres y dinámicas para facilitar la comprensión y la aprehensión del bienestar animal en peces, que a largo plazo comprometan la sostenibilidad de la actividad piscícola en el departamento.

El bienestar animal en peces de cultivo para consumo

El bienestar animal hace parte del concepto integrador “Una salud”, el cual se define como la clara relación entre la salud ecosistémica, la salud humana y la salud animal (Tarazona, 2022). En este orden de ideas, la salud de los peces de cultivo y por ende el bienestar de los mismos son fundamentales para la construcción de “Una Salud, Un bienestar”. Dicho concepto se encuentra relacionado con el

1. Médica veterinaria zootecnista, Esp., MSc. y PhD en Piscicultura. Profesora del Departamento de Producción Animal, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín. Correo: scpardoc@unal.edu.co <https://orcid.org/0000-0001-5796-9419>

2. Zootecnista y magíster en Ciencias Agrarias. Estudiante de doctorado en Ciencias Agrarias, Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín. Correo: haalzated@unal.edu.co <https://orcid.org/0000-0002-1245-1154>

cuidado y la atención que se brinda a los peces para garantizar que vivan de manera saludable y libres de un sufrimiento innecesario. Sin embargo, el bienestar animal no se limita a la ausencia de sufrimiento, sino que también implica la promoción de experiencias positivas y la satisfacción de las necesidades naturales de los animales (Noble *et al.*, 2020).

Cultivar teniendo en cuenta el bienestar animal es una decisión gana-gana, pues, además de involucrar la ética del trato respetuoso hacia los animales, la productividad será mayor y la percepción del consumidor final será el de un producto que fue cultivado con estándares de calidad y seguridad.

La decisión de implementar bienestar animal en una granja debe ir acompañada de una adecuada capacitación de los productores. La enseñanza del bienestar animal en el caso de los peces implica un gran desafío, y es el hecho de que no compartimos el mismo medio, nosotros somos terrestres y ellos acuáticos, y eso representa una gran dificultad. Otro reto gigante es la inexpresividad de los peces, pues nunca sabremos, al verle la cara, qué emoción está experimentando. Esto significa que se deben desarrollar metodologías apropiadas para evaluar si hay bienestar o no.

De acuerdo con Medaas *et al.* (2021), la capacitación en bienestar animal, además de los temas normativos y de la fisiología del dolor, en el caso de los peces, requiere fortalecer prácticas y habilidades para su cuidado, tanto de manera formal como informal. Los participantes de la capacitación deben adquirir habilidades prácticas y conocimientos para el bienestar de los peces en las instalaciones de acuicultura.

Por lo anterior, en este proyecto desarrollado en el departamento de Arauca, identificamos la necesidad de esquemas de capacitación colectiva y participativa, que faciliten la comprensión y aprehensión del bienestar animal.

En este documento, presentamos los talleres que fueron realizados con la comunidad participante del proyecto y se proponen y describen dos juegos.

Taller 1. Sacrificio humanitario en la piscicultura

Objetivo

Incorporar conocimientos que permitan identificar un procedimiento adecuado para el bienestar de los peces durante el sacrificio humanitario.

Introducción

Existen como mínimo tres momentos en los cuales los peces, en sistemas productivos, se ven seriamente afectados por situaciones de estrés: las densidades de cultivo, los episodios de transporte y el sacrificio. Esta última es una de las etapas más críticas, en la cual el estrés puede generar, si el animal está consciente en el momento del sacrificio, una acumulación alta de ácido láctico que, al reabsorberse, baja su pH y, por consiguiente, crea defectos de calidad en su textura, como una carne con menor firmeza y que retiene poca agua, así como deficiencias en su sabor y olor.

Por consiguiente, el productor debe estar muy concentrado en el proceso de beneficio de la carne y disponer de un procedimiento y un sistema de registro para el sacrificio, con el cual se pueda demostrar que se siguen las recomendaciones y se garantice que los peces lleguen inconscientes al sacrificio, de modo que en todo el proceso sufran lo menos posible. Por esto, una de las

prácticas más importantes para el productor que realiza el beneficio en finca o para las plantas de beneficio de carne de pescado es conocer si los métodos de insensibilización y de sacrificio fueron efectivos, y analizar el estado en que llega el pez a la mesa antes de ser sacrificado, a través de los indicadores de consciencia.

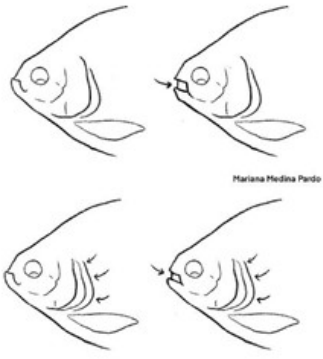
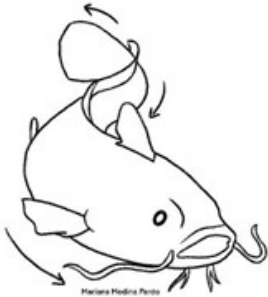
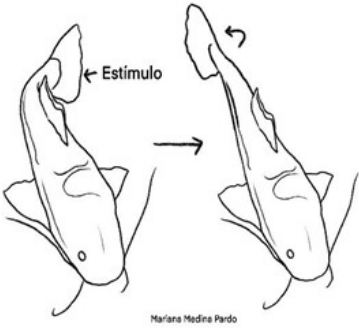
A continuación, se dan a conocer dichos indicadores.

Instrucciones

1. Reunirse en equipo y designar un expositor del diagnóstico.
2. En un balde con agua y hielo, en una proporción 2:1 (2 litros de agua por 1 kg de hielo), se esperan 2 minutos a que baje la temperatura en todo el volumen del balde.
3. Sacrificio por choque térmico: se introducen los peces del estanque al balde y se espera 5 minutos para que ocurra su efecto.
4. Evaluación de los indicadores de consciencia (ver figura 1):

Descripción gráfica del indicador	Calificación y descripción del indicador	
	Movimiento ocular	Calificación
	Se observa	0
	no se observa	100

a. Movimiento ocular: observar el movimiento de los ojos del pez, el reflejo vestibulo-ocular (RVO), que puede indicar si el pez está a) inconsciente; b) consciente.

	<table><tr><th>Movimiento Opercular</th><th>Calificación</th></tr><tr><td>Se observa</td><td>0</td></tr><tr><td>no se observa</td><td>100</td></tr></table> b. Movimiento opercular: se refiere a la apertura y cierre de las branquias o agallas de los peces para permitir la respiración, lo que puede ser un indicador de su estado de conciencia.	Movimiento Opercular	Calificación	Se observa	0	no se observa	100
Movimiento Opercular	Calificación						
Se observa	0						
no se observa	100						
	<table><tr><th>Movimiento coordinado</th><th>Calificación</th></tr><tr><td>Se observa</td><td>0</td></tr><tr><td>no se observa</td><td>100</td></tr></table> c. Comportamiento coordinado: observar si el pez muestra comportamientos coordinados como nadar o intentar escapar, lo cual sugiere conciencia.	Movimiento coordinado	Calificación	Se observa	0	no se observa	100
Movimiento coordinado	Calificación						
Se observa	0						
no se observa	100						
	<table><tr><th>Respuesta conductual</th><th>Calificación</th></tr><tr><td>Se observa</td><td>0</td></tr><tr><td>no se observa</td><td>100</td></tr></table> d. Respuesta conductual a estímulos: observar si el pez responde a estímulos externos como alejarse de un pinchazo en la cola, lo que puede indicar conciencia.	Respuesta conductual	Calificación	Se observa	0	no se observa	100
Respuesta conductual	Calificación						
Se observa	0						
no se observa	100						

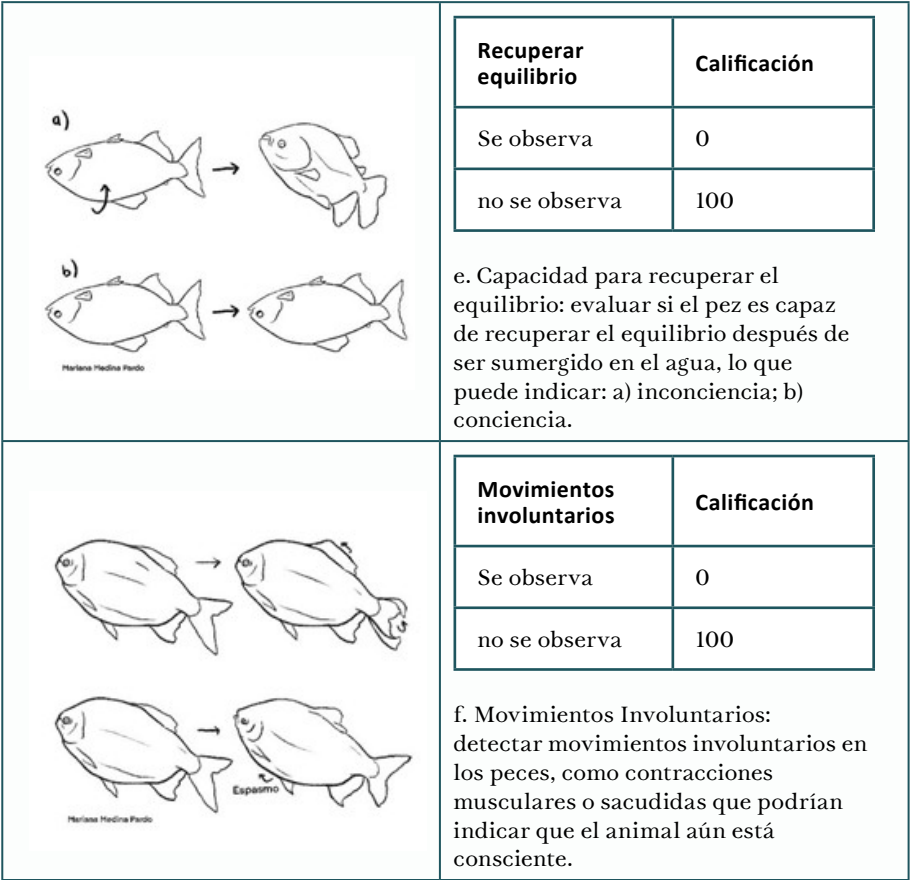


Figura 1. Descripción gráfica y calificación de los indicadores de consciencia en los peces.
Fuente: elaboración propia.

Finalmente, presente la puntuación obtenida y sus observaciones en el siguiente cuadro:

Cantidad de agua y hielo usados:

Temperatura del agua:

Peso del pez:

Talla del pez:

Tiempo en que el pez ha estado sumergido en el choque térmico:

Tabla 1. Formato para la calificación y observación de los indicadores de consciencia en los peces.

Indicador	Puntaje	Observaciones
a. Movimiento ocular		
b. Movimiento opercular		
c. Comportamiento coordinado		
d. Respuesta conductual a estímulos		
e. Capacidad para recuperar el equilibrio		
f. Movimientos Involuntarios		

Fuente: elaboración propia.

Con el resultado obtenido, responda a las siguientes preguntas:

1. ¿A partir de los resultados de la evaluación física de los peces con respecto a los indicadores de consciencia, considera que estaba trabajando con peces completamente inconscientes?
2. ¿A nivel general, considera que se está realizando un sacrificio humanitario aplicado de manera correcta en la piscicultura colombiana?
3. ¿Le daría alguna recomendación al productor para evitar el sufrimiento de los animales en el momento del sacrificio?

Taller 2. Metodología para medir el bienestar de los peces de producción

Objetivo

Realizar un acercamiento a los indicadores planteados en la “Metodología para la evaluación del bienestar animal en animales acuáticos (peces de cultivo para consumo humano)”.

Introducción

Esta metodología busca la evaluación del bienestar animal en peces de cultivo para consumo humano en producciones piscícolas. Proporciona un marco detallado para la evaluación de diferentes aspectos relacionados con el bienestar de los peces, incluyendo indicadores específicos, procedimientos de evaluación y criterios de calificación.

El documento aborda la importancia de evaluar el bienestar animal en peces, considerando la diversidad de especies y sistemas productivos presentes en la acuicultura colombiana.

Instrucciones

Los participantes del taller se dividen entre los tipos de indicadores de la metodología del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). Por equipo, se leen los indicadores asignados de la metodología de evaluación de bienestar.

De acuerdo con el indicador asignado, cada grupo debe realizar un dibujo en un pliego de papel, en el cual se represente aquello que considera que se debe realizar en la piscicultura para lograr un

cumplimiento del 100 % del indicador. Al interior del grupo, deben argumentar y decidir cómo hacer el dibujo y qué significa.

Para finalizar, se selecciona al azar un integrante del grupo para que sustente el trabajo ante todos los participantes. Durante esta socialización, se realizará una discusión en la cual se puedan aportar y generar claridades para aprender todos los indicadores necesarios para el bienestar de los peces.

¿Qué se obtuvo al realizar los talleres y cuáles fueron los problemas y las dificultades encontradas?

Taller 1: Sacrificio humanitario en la piscicultura

El desarrollo de estos talleres con los productores piscícolas demostró que hay muy poco conocimiento de las condiciones en las que se realiza el sacrificio humanitario de los peces; en otras palabras, que se desconocían las condiciones de sufrimiento a las que se sometían los peces, los cuales no estaban completamente insensibilizados para el sacrificio. En muchas ocasiones, los productores informaron que sacrificaron los animales por asfixia, y solo unos pocos realizaban el sacrificio con el uso de hielo, pero sin revisar su estado de inconsciencia. Con el desarrollo de este taller, se pudo explicar la sintiencia de los animales ante los distintos procedimientos que se realizan en la producción, así como establecer de manera práctica los indicadores de consciencia en el caso de los peces tras algunos minutos de exposición a un choque térmico por hielo.

Por otro lado, a partir de los ejercicios realizados, se logró identificar que todos los indicadores de consciencia evaluados no se ausentaban en los peces al mismo tiempo. En orden, los primeros indicadores en desaparecer fueron la capacidad de recuperar el equilibrio, el comportamiento coordinado, los movimientos involuntarios, la respuesta conductual a estímulos, el movimiento opercular y, finalmente, el movimiento ocular.

El desarrollo de este taller permitió también reconocer el nivel de consciencia de los productores piscícolas, pues identificaron que sus procedimientos de sacrificio no eran correctos y que debían evitar el sufrimiento prolongado, por su repercusión en el bienestar de los peces y en la calidad de la carne del producto final.

Taller 2: “Metodología para medir el bienestar de los peces de producción”

Para el desarrollo de este taller, se exploraron distintos indicadores de bienestar descritos en el documento “Metodología para la evaluación del bienestar en peces” (ICA, 2023), la cual, en su segunda versión, planteó tres tipos de indicadores: basados en el animal, en los recursos y en la gestión, para un total de 25 indicadores.

El desarrollo del taller permitió explorar distintos aspectos del bienestar y generó un ambiente de aprendizaje para todos los participantes mediante la apropiación de cada indicador, permitiendo entender su descripción y las preguntas evaluadoras, el método de evaluación documental o visual y la calificación a asignar. Los productores lograron entender, además, que son muchos los aspectos que se deben observar y controlar para garantizar el bienestar de los peces en el cultivo, y que hay diferencias notorias según el tipo de sistema intensivo o semi intensivo que se tenga.

Respecto a los indicadores basados en los recursos (IBR), los productores reconocen conocimientos ya adquiridos en lo que refiere a la calidad, disponibilidad y acceso al alimento, protocolos de alimentación y establecimiento de policultivos; por otro lado, en aspectos como la profundidad del estanque, se presentaron diferencias en conceptos, y en otros como la calidad del agua, el ruido, la captura de peces y la inyección mecánica de aire, se detectó menor conocimiento, pero ayudó entender la necesidad de incorporarlos como elementos que facilitan el bienestar.

En los indicadores basados en el animal (IBR), elementos como la talla y el peso del animal, se detectó una coincidencia entre los participantes sobre la necesidad de tener lotes homogéneos para la cosecha, así como lotes separados y clasificados como una manera de controlar la competencia. En lo relacionado con el manejo de las cargas para el volumen de agua en estanque, se hizo claridad de cargas de biomasa adecuadas y se socializaron experiencias sobre los aspectos que sobrellevan las cargas desmedidas en los cultivos. Fue notorio el interés en reconocer las afectaciones que lesiones o heridas en la piel pueden generar en la salud del lote y la propagación de enfermedades. Por otro lado, a través del taller de indicadores de conciencia se reconoció la importancia de evitar el sufrimiento de los animales por este motivo.

En los indicadores basados en la gestión (IBR), se resaltó la importancia de controlar las tasas altas de mortalidad y se hizo mucho énfasis en el sacrificio humanitario, con técnicas que disminuyan el sufrimiento del animal; de la misma forma, respecto al indicador de uso de medicamentos, se mencionó que, en la actualidad, no son muchos los usados en la piscicultura de aguas cálidas, y se enfatizó en que para hacerlo se solicita que sea con medicamentos certificados por el ICA. También fue relevante el desconocimiento

en la implementación de planes sanitarios para su verificación de aspectos en granja y el uso de anestesia para procedimientos estresantes; por ello, se habló de algunos anestésicos apropiados para la acuicultura y en qué situaciones y dosis se podría usar para garantizar el bienestar. Finalmente, se hizo énfasis en la capacitación continua y la aplicación de conocimientos en el bienestar de los peces para mejorar la productividad y calidad del producto final.

Propuesta de juegos para facilitar la comprensión y la prehensión del bienestar animal en peces

Juego 1. Cartas de los indicadores de bienestar

El juego de clasificación de indicadores de bienestar es una actividad educativa que permite a los participantes aprender sobre diferentes indicadores y sus características a través de la interacción y el trabajo en equipo.

Objetivos del juego

- Comprender los tres grupos de indicadores de bienestar animal.
- Fomentar la identificación y clasificación de las necesidades de bienestar animal.
- Promover la colaboración y el trabajo en equipo entre los participantes.

Tabla 2. Tipos de indicadores de bienestar animal en los peces.

Indicadores de gestión	Indicadores de los recursos	Indicadores en el animal
Medicamentos	Alimento	Peso y talla
Mortalidad	Calidad de agua	Calidad de agua Lesiones en piel, aletas y branquias.
Plan sanitario	Instalaciones	Manipulación
Sedación	Protección contra predadores	Densidad
Sacrificio humanitario	Calidad del ambiente	Clasificación por lotes
Capacitación en bienestar	Elementos de pesca	Muerte por asfixia
Procedimientos de manejo		

Fuente: elaboración propia.

Materiales necesarios

- Tres grupos de tarjetas con los indicadores. Las tarjetas con una franja azul tendrán indicadores basados en los recursos; las tarjetas con una franja amarilla tendrán indicadores de gestión, y las tarjetas con una franja verde tendrán indicadores basados en los animales. Cada tarjeta tendrá el nombre del indicador y unas preguntas sobre el mismo. No se debe dar ninguna explicación a los jugadores antes de comenzar; ellos lo deben descubrir.

- Pizarras o papel grande para anotar las clasificaciones.
- Marcadores o lápices.

Desarrollo del juego

1. Preparación

- Es necesario imprimir las tarjetas.

2. Introducción

- Explique a los participantes el objetivo del juego: clasificar los indicadores de bienestar en tres grupos, según sus características, para entender de qué se trata cada uno y su importancia.

3. Formación de grupos

- Entregue a todos los participantes las cartas, una a cada uno, o más en el caso de que sean menos participantes. Indíqueles que se reúnan y encuentren cosas en común para armar tres grupos; esto fomentará la colaboración y el intercambio de ideas. Para esto se les da 15 minutos.

4. Clasificación

- Cada grupo deberá elegir un líder, el cual presentará a los demás respecto a cómo se conformaron y cuál es la característica del grupo. Si hay un error en la organización de los grupos, puede dar 5 minutos más para que se organicen nuevamente.

5. Preparación

- Una vez que los grupos estén bien conformados, solicite que se reúnan para responder las preguntas que tiene cada tarjeta y que se preparen para presentarlas al resto de los participantes. Cada grupo puede preparar una presentación para explicar de qué se trata cada indicador; esto pueden hacerlo hablando, dibujando, a través del teatro o del canto.

Lo importante es lograr explicar a todos los indicadores del grupo. Para esta actividad tienen una hora.

6. Presentación

-En este momento, cada grupo hará la presentación que han preparado. Cada grupo tiene máximo 15 minutos.

7. Discusión

-Facilite una discusión en grupo sobre los diferentes indicadores. Pregunte a los participantes si les han quedado claros los indicadores, la importancia que tiene cada uno y si han encontrado dificultades para implementarlo y medirlo. Esto puede llevar a obtener un aprendizaje más profundo sobre el bienestar animal en peces de cultivo. Esta actividad tiene 15 minutos de duración.

8. Cierre

-Finalice el juego resumiendo lo aprendido. Puede hacer también una breve evaluación para ver qué conceptos han quedado claros.

Juego 2. Búsqueda del tesoro del bienestar animal en peces

El juego “Búsqueda del tesoro del bienestar animal en peces” es una actividad educativa que permite a los participantes explorar y aprender sobre el bienestar en sus granjas de cultivo. A continuación, se explica en detalle cómo se puede llevar a cabo este juego:

Objetivos del juego

- Fomentar el conocimiento sobre el bienestar animal y sus beneficios.

- Desarrollar habilidades de observación y trabajo en equipo.
- Promover la investigación y el aprendizaje activo.

Materiales necesarios

- Pistas escritas o tarjetas con preguntas relacionadas con el bienestar (pueden incluir información sobre conceptos clave, indicadores, formas de evaluación, entre otros). Debe formar 4 grupos de pistas; cada grupo con 5 pistas. Es importante conocer el lugar de juego previamente y llegar a este con un mapa que le permita armar 4 rutas diferentes. Cada ruta tendrá 5 pistas; las debe llevar escritas y ubicarlas en ciertos puntos de cada ruta.
- Un mapa del área donde se llevará a cabo la búsqueda (puede ser un parque, un jardín o cualquier espacio en la granja), con las 4 rutas previamente definidas, como se describió en el párrafo anterior.
- Material de escritura (papel y lápices).
- Un “tesoro” al final de la búsqueda (puede ser un premio simbólico, un certificado, un libro sobre bienestar animal o un pequeño regalo relacionado con los peces). Cada ruta tiene al final un tesoro; el primer grupo que llegue al tesoro será el ganador.

Desarrollo del juego

1. Preparación

- Antes de comenzar, elija un área adecuada para la búsqueda del tesoro. Prepare un conjunto de pistas que guiarán a los participantes hacia diferentes ubicaciones en las que encontrarán información sobre la siguiente pista. Cada pista puede

llevar a la siguiente ubicación y contener preguntas o datos sobre la fauna y la flora local. Dependiendo de la cantidad de participantes, se pueden crear más rutas y más grupos. Es cuestión de conocer previamente el lugar y la cantidad de participantes.

2. Introducción

- Explique a los participantes el objetivo del juego: aprender sobre el bienestar de los peces mientras siguen las pistas. Puede dar una breve charla sobre la importancia del bienestar y cómo eso afecta el bienestar animal y la productividad de la granja.

3. Formación de grupos

- Divida a los participantes en pequeños grupos (de 3 a 5 personas). Esto fomentará la colaboración y el trabajo en equipo.

4. Entrega de la primera pista

- Proporcione a cada grupo la pista que los llevará a la primera ubicación. Esta pista puede ser un enigma, una pregunta o una descripción que los guíe a un lugar específico donde encontrarán información sobre un aspecto del bienestar animal. Cada grupo debe resolver 5 pistas y llegar con ellas al tesoro escondido. El primer grupo que llegue al tesoro escondido será el ganador.

Ejemplo del mapa y las rutas:

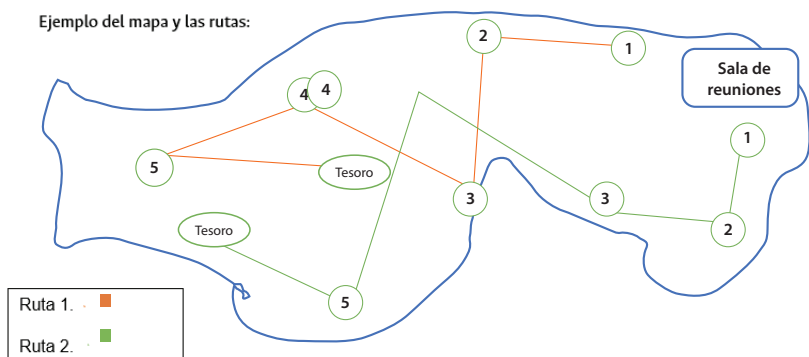


Figura 2. Ejemplo del esquema con rutas y pistas para el juego

Fuente: elaboración propia.

5. Búsqueda y aprendizaje:

- A medida que los grupos encuentren cada pista, deberán responder a preguntas o realizar pequeñas tareas relacionadas con el bienestar de los peces. Por ejemplo, pueden explicar un indicador, la forma de medirlo o la importancia que tiene.
- Cada respuesta correcta les dará la siguiente pista que los llevará a la siguiente ubicación.

6. Finalización de la búsqueda

- La búsqueda continúa hasta que los grupos lleguen al “tesoro” final. Este puede ser un lugar donde se celebre una pequeña reunión para discutir lo aprendido o un premio simbólico.

7. Discusión y reflexión

- Al finalizar la búsqueda, reúna a todos los grupos y permita que compartan lo que aprendieron. Pregunte sobre los elementos de bienestar animal identificados en peces de cultivo, así como la importancia del bienestar para los peces

y para el productor, así como los beneficios gana-gana que tienen su implementación en la granja.

- Es posible también discutir cómo los participantes pueden contribuir con los puntos más desafiantes que tiene implementar el bienestar en los peces de cultivo.

- Incluya desafíos creativos: en la búsqueda, incluya desafíos creativos como dibujar un pez con lesiones o diseñar un método de sacrificio humanitario.

Este juego no solo es educativo, sino que también es interactivo y divertido, lo que facilita el aprendizaje de una manera práctica y memorable.

Ejemplos de pistas

1. En el sitio en el cual la nutrición de los peces se garantiza, encuentre una pregunta que debe resolver para avanzar a la segunda pista.
2. Responda: mencione tres ventajas que trae implementar el bienestar animal de los peces. Tan pronto escriba las respuestas, diríjase al punto en el cual los peces inician la cría.
3. Responda: ¿qué es bienestar animal en peces de cultivo? Escriba la respuesta y diríjase al punto en el cual los operarios tienen bienestar.
4. Responda: ¿por qué es importante cuidar la piel de los peces? Escriba la respuesta y diríjase al punto en el cual se hace la desinfección y el lavado de las redes de pesca.
5. Responda: ¿Por qué los peces deben llegar inconscientes al sacrificio? Escriba la respuesta y diríjase al punto en el cual se vende el pescado.
6. Disfrute el tesoro escondido.

Conclusiones

La metodología basada en la generación de información a partir de la experiencia de los participantes se fundamenta en principios pedagógicos que promueven un aprendizaje significativo y activo. Al involucrar a los estudiantes en la reflexión sobre sus propias vivencias, se fomenta un ambiente de aprendizaje colaborativo donde cada individuo se convierte en co-creador de conocimiento. Esta aproximación no solo estimula la curiosidad y el pensamiento crítico, sino que también facilita la conexión entre la teoría y la práctica, permitiendo que los participantes relacionen conceptos abstractos con situaciones reales. Además, al incluir preguntas abiertas y espacios para hacer observaciones, se potencia la participación activa y el diálogo, elementos esenciales para el desarrollo de habilidades sociales y comunicativas. En este sentido, esta metodología se erige como un recurso pedagógico valioso que enriquece la formación, promoviendo un aprendizaje más profundo y duradero.

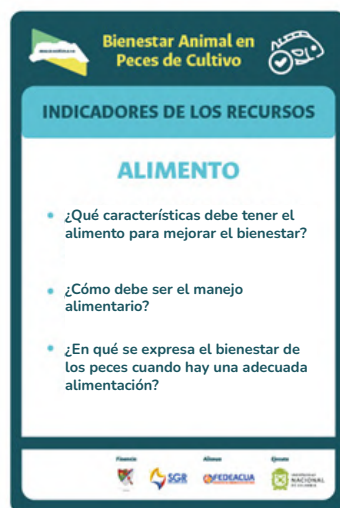
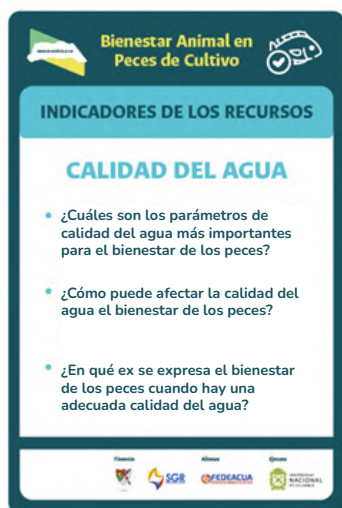
Referencias

- Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). (2007). Buenas prácticas en la producción acuícola. In *Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 53, Issue 9). file:///C:/Users/USUARIO/Desktop/informaciondeltrabajo/Cartilla.Buenas.Practicas.Acuicolas.pdf
- Medaas, C., & E. (2021). Minding the Gaps in Fish Welfare: The Untapped Potential of Fish Farm Workers. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics*, 34(29). <https://doi.org/10.1007/s10806-021-09869-w>

Noble, C., Gismervik, K., Iversen, M. H., Kolarevic, J., Nilsson, J., Stien, L. H. & Turnbull, J. F. (Eds.) (2020). Welfare Indicators for farmed rainbow trout: tools for assessing fish welfare 310 p

Anexo 1. Baraja para aprender bienestar animal en peces de cultivo

Indicadores basados en los recursos



Bienestar Animal en Peces de Cultivo

INDICADORES DE LOS RECURSOS

INSTALACIONES

- ¿Qué características deben tener las instalaciones para mejorar el bienestar de los peces?
- ¿Qué profundidad debe tener el estanque?
- ¿Por qué es importante tener señalética en la granja?

Proyecto SGR CONFEDACUA MINISTERIO NACIONAL DE AGRICULTURA

Bienestar Animal en Peces de Cultivo

INDICADORES DE LOS RECURSOS

CALIDAD DEL AMBIENTE

- ¿Por qué es importante identificar la mortalidad?
- ¿Por qué es importante controlar el ruido en la granja?
- ¿Que debe hacerse con los accesos de agua a la granja?

Proyecto SGR CONFEDACUA MINISTERIO NACIONAL DE AGRICULTURA

Bienestar Animal en Peces de Cultivo

INDICADORES DE LOS RECURSOS

RECURSOS Y PROCEDIMIENTOS PARA LA PESCA

- ¿Por qué es importante tener un procedimiento documentado de pesca?
- ¿Será necesario saber pescar?
- ¿Qué puede significar la pesca se haga mal o con artes inadecuadas?

Proyecto SGR CONFEDACUA MINISTERIO NACIONAL DE AGRICULTURA

Bienestar Animal en Peces de Cultivo

INDICADORES DE LOS RECURSOS

PROTECCIÓN CONTRA PREDADORES

- ¿Qué tipo de predadores frecuenta su granja?
- ¿Qué daño pueden hacer a los peces?
- ¿Cómo los puede controlar?

Proyecto SGR CONFEDACUA MINISTERIO NACIONAL DE AGRICULTURA

Indicadores basados en la gestión

Bienestar Animal en Peces de Cultivo

INDICADORES DE GESTIÓN

USO DE SEDACIÓN

- ¿En qué momento es importante usar sedación?
- ¿Cómo debe ser el protocolo de sedación?
- ¿Quién percibe los sedantes?

Proyecto SGR OPEDACUA MINISTERIO NACIONAL DE AGRICULTURA

Bienestar Animal en Peces de Cultivo

INDICADORES DE GESTIÓN

USO DE MEDICAMENTOS

- ¿Qué cuidados debe tener al usar antibióticos?
- ¿Porque es importante usar medicamentos prescritos por un veterinario?
- ¿Cómo se les debe almacenar?
- ¿Para que lleva registros de tratamientos?

Proyecto SGR OPEDACUA MINISTERIO NACIONAL DE AGRICULTURA

Bienestar Animal en Peces de Cultivo

INDICADORES DE GESTIÓN

SACRIFICIO HUMANITARIO

- ¿Que el sacrificio humanitario de peces?
- ¿De qué forma se puede sacrificar un pez humanitariamente?
- ¿Qué temas deben aprender principalmente?

Proyecto SGR OPEDACUA MINISTERIO NACIONAL DE AGRICULTURA

Bienestar Animal en Peces de Cultivo

INDICADORES DE GESTIÓN

CAPACITACIÓN EN BIENESTAR ANIMAL

- ¿Porque es necesario estar capacitado?
- ¿Qué personas de la granja deben aprender?
- ¿En qué temas principalmente?

Proyecto SGR OPEDACUA MINISTERIO NACIONAL DE AGRICULTURA

Bienestar Animal en Peces de Cultivo

INDICADORES DE GESTIÓN

PROCEDIMIENTOS DE MANEJO

- ¿Qué es manejar adecuadamente los peces?
- ¿Qué artes de pesca deben ser usadas?
- ¿Qué significa para el bienestar un mal manejo?

Proyecto SGR FEDERACUA MINISTERIO NACIONAL DE AGRICULTURA

Bienestar Animal en Peces de Cultivo

INDICADORES DE GESTIÓN

MORTALIDAD

- ¿Por qué es importante recoger la mortalidad?
- ¿Qué se debe hacer con los cadáveres?
- ¿Que no se puede hacer con los cadáveres?

Proyecto SGR FEDERACUA MINISTERIO NACIONAL DE AGRICULTURA

Bienestar Animal en Peces de Cultivo

INDICADORES DE GESTIÓN

PLAN SANITARIO

- ¿Qué es el plan sanitario?
- ¿Qué profesión debe hacerlo y firmarlo?
- ¿Para qué sirve el plan sanitario?
- ¿Qué información debe contener?

Proyecto SGR FEDERACUA MINISTERIO NACIONAL DE AGRICULTURA

Indicadores basados en los animales



Bienestar Animal en Peces de Cultivo



INDICADORES EN EL ANIMAL

PESO Y TALLA

- ¿Para qué sirven y se pesan los peces?
- ¿Porque es importante que los lotes sean homogéneos?








Bienestar Animal en Peces de Cultivo



INDICADORES EN EL ANIMAL

LESIONES EN LOS PECES

- ¿Qué tipo de lesiones podemos observar?
- ¿Cómo es la piel de un pez sano?



Paraguay



SINAG



SINAG



SINAG



**Bienestar Animal en
Peces de Cultivo**



INDICADORES EN EL ANIMAL

MUERTE DE PECES POR ASFIA

- ¿Cómo se muere un pez por asfía?
- ¿Porque es importante que los peces no se mueran por asfía?



Ministerio de
Agricultura



SGR



CONEAGUA



Centro Nacional
de Acuicultura



Bienestar Animal en Peces de Cultivo



INDICADORES EN EL ANIMAL

TIEMPO DE MANIPULACIÓN

- ¿Por qué ese es importante que
hayan tiempos de manipulación
cortos?
- ¿Cómo se deben transportar los
peces?



Paraguay

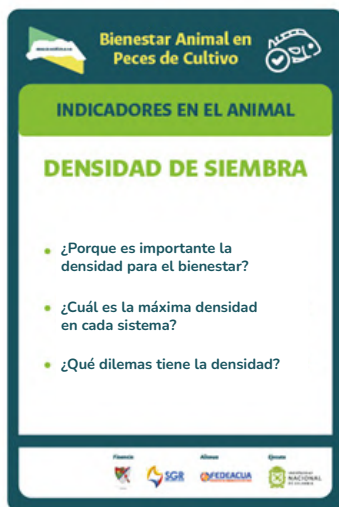
Ministerio de
Agricultura, Ganadería y
Pesquerías



DIRECCIÓN GENERAL DE
ACUICULTURA



INSTITUTO NACIONAL DE
ACUICULTURA



Ilustradora: Mariana Medina Pardo

Diseño cartas: Lisa María Vargas Chacón

Autores

Luz Stella Cadavid-Rodríguez

lsacadavidr@unal.edu.co

Ingeniera Química de la Universidad Nacional de Colombia, con especialización y maestría en Ingeniería Sanitaria y Ambiental de la Universidad del Valle, y doctorado en la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad de Leeds, Reino Unido. Desde hace 23 años es Profesora Titular del Departamento de Ingeniería de la Facultad de Ingeniería y Administración y directora del Grupo de Investigación Prospectiva Ambiental de la Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira.

Posee amplia experiencia en actividades de docencia universitaria, así como en el desarrollo de proyectos de investigación y extensión en el área de Ingeniería Ambiental, con énfasis en temas de calidad de agua, tratamientos biológicos de aguas residuales y residuos sólidos, digestión anaerobia y valorización de residuos orgánicos. Ha publicado más de 14 artículos científicos y dos capítulos de libro en digestión anaerobia. Su trabajo de investigación ha sido reconocido por organizaciones como la Universidad Nacional de Colombia, la Universidad de Leeds (Reino Unido) y la empresa Huber Technology (Alemania), recibiendo un reconocimiento de investigación meritoria y dos reconocimientos internacionales, uno en el IWEX University Challenge y otro en el Huber Technology Prize.

Edgar Leonardo Espinosa Restrepo

elespinosar@unal.edu.co

Zootecnista de la Universidad de Pamplona, magíster en Producción Animal de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá,

y diplomado en Acuicultura para el Departamento de Arauca. Ha sido instructor del Servicio Nacional de Aprendizaje SENA y profesor de universidades públicas y privadas del departamento de Arauca.

Posee amplia experiencia en diseño sistemas de alimentación de animales terrestres y acuáticos, con el uso de materias primas locales, principalmente de la región Orinoquía, con énfasis en el departamento de Arauca. Ha participado de proyectos de extensión e investigación de relevancia regional que buscan valorizar los recursos locales y la sostenibilidad ambiental. Posee experiencia en sistemas agroacuícolas integrados. Es autor del documento técnico: “Fórmulas y orientaciones para fabricación de alimentos balanceados peletizados para tilapia roja y cachama blanca, utilizando recursos convencionales y no convencionales del Departamento de Arauca”, publicado en 2024.

Pedro Esteban Moncada Casallas

pmoncada@unal.edu.co

Zootecnista de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá y diplomado en Acuicultura para el Departamento de Arauca. Tiene experiencia en educación rural y apropiación social del conocimiento. Ha apoyado el diseño sistemas de alimentación para la acuicultura, con el uso de materias primas locales, principalmente de la región Orinoquía, con énfasis en el departamento de Arauca. Posee experiencia en sistemas agroacuícolas integrados y avícolas. Es autor del documento técnico: “Fórmulas y orientaciones para fabricación de alimentos balanceados peletizados para tilapia roja y cachama blanca, utilizando recursos convencionales y no convencionales del Departamento de Arauca”, publicado en 2024.

Adriana Patricia Muñoz-Ramírez

apmunozr@unal.edu.co

Zootecnista de la Universidad Nacional de Colombia, especialista en Acuicultura-aguas Continentales del Instituto de Acuicultura de la Universidad de los Llanos, Colombia y magíster y doctora en Acuicultura de la Universidade Estadual Paulista, Brasil. Desde 2005 es Profesora Asociada y líder del Grupo de Investigación UN-ACUICTIO de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá. Es coordinadora del Laboratorio de Nutrición Acuícola y ha ejercido diversos cargos académico-administrativos en la misma Facultad. Trabaja en nutrición y alimentación para la acuicultura de recursos limitados y poblaciones vulnerables, tales como indígenas, afro descendientes, víctimas de la violencia y firmantes de paz.

Ha desarrollado proyectos en economía circular como el uso de insectos como recurso alimenticio para peces y también sistemas de agroacuicultura integrada. Es autora y coautora de diversas publicaciones, así como de material audiovisual para la apropiación del conocimiento en nutrición y alimentación acuícola. En 2018 recibió el premio al mejor proyecto de Extensión Solidaria y en diversas ocasiones ha recibido reconocimientos por su labor y trayectoria. Es miembro del Capítulo Latinoamericano y del Caribe de Acuicultura, de la Sociedad Mundial de Acuicultura y de la Asociación Académica Colombiana de Acuicultura ACCUA.

Andrea Carolina Piza Jerez

coordinaciontecnic@fedecua.org

Zootecnista y magíster en Producción Animal de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá. Es Coordinadora Técnica Nacional de la Federación Colombiana de Acuicultura Fedecua.

Es autora de la cartilla *Buenas Prácticas de Producción Acuícola (BPPA): una herramienta para el fortalecimiento de la acuicultura del departamento de Arauca*. También, del artículo de investigación *Estudio de mercado de alevinos en el departamento de Arauca* como estrategia de fortalecimiento de la acuicultura. Posee experiencia en formulación y ejecución de proyectos de investigación y extensión acuícola en Colombia, así como en certificaciones nacionales e internacionales para el sector acuícola colombiano. También ha sido docente y ha desarrollado proyectos en Ciencia y Tecnología de Alimentos. Es reconocida por su liderazgo y trabajo con acuicultores de diversas escalas en todo el país.

Andrés Camilo Correa Núñez

accorrear@unal.edu.co

Zootecnista y magíster en Administración de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá, con más de siete años de experiencia en el sector agropecuario. Su trayectoria profesional comenzó en granjas porcícolas y posteriormente ha participado en la formulación, gestión, coordinación y ejecución de proyectos de investigación y extensión en diversas áreas. Ha trabajado con la Universidad Nacional de Colombia, la Universidad de Caldas y la Federación Colombiana de Acuicultores Fedecua en iniciativas relacionadas con producción cárnica, ovinocultura, pesca artesanal y piscicultura, respectivamente. Además, ha publicado estudios sobre transferencia del conocimiento, en buenas prácticas de producción pecuaria de especies porcina, ovina y piscícolas, con un enfoque en bienestar animal, calidad e inocuidad de alimentos cárnicos. Asimismo, ha desarrollado instrumentos de política pública orientados a la optimización de la gestión logística del sector agropecuario nacional.

Daniela Castillo González

gestiontecnical@fedecua.org

Médica Veterinaria Zootecnista egresada de la Universidad del Tolima, especialista en Gerencia de Proyectos por la Corporación Universitaria Minuto de Dios (Uniminuto) (Colombia) y magíster en Educación de la Universidad Monter (México). Actualmente se desempeña como Coordinadora Técnica del Programa de Buenas Prácticas de Producción Acuícola (BPPA) de la Federación Colombiana de Acuicultura (Fedecua). Es autora de las cartillas Buenas Prácticas de Producción Acuícola (BPPA) y Bioseguridad Acuícola. Cuenta con experiencia en la coordinación de proyectos, docencia en el área veterinaria y redacción académica. Su trayectoria incluye la formulación, planificación, ejecución, supervisión y evaluación de programas del sector pecuario en sus componentes técnicos, operativos, administrativos y presupuestales, tanto en el ámbito público como privado y de organizaciones no gubernamentales. Ha trabajado con instituciones educativas, comunidades rurales campesinas, población indígena, personas en proceso de reincorporación y usuarios particulares, aportando al fortalecimiento productivo y al desarrollo sostenible del sector acuícola y pecuario.

Sandra Clemencia Pardo Carrasco

scpardoc@unal.edu.co

Médica Veterinaria Zootecnista y especialista en Acuicultura-aguas continentales del Instituto de Acuicultura de la Universidad de los Llanos. Es magíster en Acuicultura y doctora en Ingeniería de Producción de la Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil. Fue profesora e investigadora en la Universidad de los Llanos y la Universidad de Córdoba, y desde 2008 es Profesora Asociada de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín. Es miembro

del grupo de investigación BIOGEM y ha ejercido diversos cargos académico-administrativos, en la misma institución.

Es autora y coautora de diversos artículos de investigación y de capítulos de libro en áreas como la fisiología, reproducción, sostenibilidad, sistemas de producción y bienestar acuícola. En 2025, y como resultado de su trabajo de investigación en el departamento de Arauca, Colombia, publicó el artículo Biomarkers in skin mucus for a minimally invasive approach to stress in red tilapia (*Oreochromis* sp.) en la revista *Biology*. También, publicó en años anteriores resultados de investigación sobre la identificación microbiológica de algunas cepas nativas cultivables asociadas al tracto digestivo en la especie de pez nativo *Panaque cochliodon* (2024), sobre daño del esperma criopreservado en el bagre *Sorubim cuspicaudus* (2023) y acerca del perfil hematológico y de bioquímica sanguínea de la raya de agua dulce *Potamotrygon magdalenae* (2022).

Hernán Antonio Alzate Díaz

haalzated@unal.edu.co

Zootecnista, magíster en Ciencias Agrarias y candidato a doctor en Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín. Es profesor e investigador ocasional en la Institución Universitaria Digital de Antioquia y en la Especialización en Sanidad y Producción de Peces de Aguas Continentales de la Corporación Universitaria del Huila. En esta última, a cargo de la asignatura curso Sostenibilidad y sustentabilidad de los sistemas de producción piscícola. Como publicaciones relevantes se resalta el artículo Biomarkers in skin mucus for a minimally invasive approach to stress in red tilapia (*Oreochromis* sp.) Fry, publicado en la revista *Biology*. También, la cartilla *Guía para implementar el bienestar en peces en granjas de cultivo*, realizada en el marco del proyecto

Fortalecimiento de las capacidades en I+D que contribuyan a la solución de problemáticas priorizadas en la cadena acuícola del departamento de Arauca.



ARAUCA ACUÍCOLA I+D



La lectura de la obra *Acuicultura en el departamento de Arauca: experiencias de apropiación social del conocimiento* es esencial para acuicultores, extensionistas, profesores, investigadores, funcionarios públicos, estudiantes y cualquier persona interesada y comprometida con el fortalecimiento de la piscicultura rural de subsistencia y de pequeña escala. En sus páginas e imágenes podrán conocer de forma singular experiencias sobre el aprovechamiento de residuos de la piscicultura y agricultura para transformarlos en fuente de energía renovable. También, casos y recomendaciones para la implementación de sistemas de agroacuicultura integrada con especies ícticas comerciales y promisorias, apropiación de saberes en buenas prácticas acuícolas y experiencias comunitarias durante la capacitación en bienestar animal para peces de cultivo. Los relatos que encontrarán son los testimonios de la labor realizada en un territorio tan complejo, pero cautivador como lo es el departamento de Arauca, no solo por su biodiversidad y riqueza hídrica, sino por sus piscicultores, quienes con resiliencia, creatividad y saberes propios cultivan el agua, aportando de forma significativa al crecimiento de la actividad acuícola araucana.