

**Desarrollo de la productividad en el sector piscícola de Pauna-Boyacá mediante economía
circular**

David Santiago Sánchez León

**Universidad de Boyacá
Facultad de Ciencias Administrativas y Contables
Programa Administración de negocios Internacionales
Tunja
2024**

**Desarrollo de la productividad en el sector piscícola de Pauna-Boyacá mediante economía
circular**

David Santiago Sánchez León

**Trabajo de grado de Semillero de Investigación IBIS para optar al título de:
Administrador de Negocios Internacionales**

Directora:

Gloria Mercedes Manrique Joya

Mg. Master en dirección y Asesoramiento Financiero

Universidad de Boyacá

Facultad de Ciencias Administrativas y Contables

Programa Administración de negocios Internacionales

Tunja

2024

Nota de aceptación:

Firma presidente del Jurado

Firma Jurado

Firma Jurado

Tunja, 06 de junio de 2024

“Únicamente el graduando es responsable de las ideas expuestas en el presente trabajo”.
(Lineamientos constitucionales, legales e institucionales que rigen la propiedad intelectual).

Este trabajo de investigación es dedicado principalmente a Dios todo poderoso y al Espíritu Santo, que me llenaron de sabiduría e inteligencia para poder atravesar este camino tan maravilloso de la investigación, colmándome de aprendizaje y de confianza, superando así cada una de las adversidades que se presentaron. También hago la dedicación a mi familia que confió en mí y me brindó el cariño y el amor como base fundamental para no dejarme vencer de los obstáculos, especialmente a mi mamá y papá, por darme la posibilidad de estudiar. A mis hermanos, primos, tíos y abuelas les agradezco por brindarme ese calor de hogar sin importar dónde estuviera, aspecto que me llenó de confianza para poder enfrentar cada momento de gozo y presión.

Finalmente, me auto dedico este trabajo por la disciplina, el compromiso y en algunos casos el sacrificio de momentos importantes para trabajar constantemente en la investigación.

Agradecimientos

Quiero dar gracias a la Universidad de Boyacá, que me brindó las instalaciones y la comunidad educativa, para llevar a cabo el desarrollo del proyecto. Agradezco de una forma muy especial a los docentes que me apoyaron directamente con la investigación, a mi tutora y mi director de semillero, y también a cada uno de los docentes que en su debido momento me brindaron un consejo, colocando sus conocimientos y su tiempo a mi disposición. Adicionalmente, agradezco a La Vida Piscícola por permitirme investigar y adentrarme en sus instalaciones, a su gerente Santiago Sánchez por la calurosa acogida y a su personal de apoyo que nos brindó la información necesaria para la investigación.

Contenido

	Pág.
Introducción.....	14
Características de los productores de tilapia y del manejo del cultivo en el municipio de Pauna Boyacá.....	16
Características de la producción piscícola en el municipio	18
Comercialización de la tilapia en Pauna.....	21
Desafíos que enfrenta la piscicultura en Pauna	24
Financiamiento del sector.....	25
Empleo en el sector piscícola de Pauna.....	26
Aspectos económicos del sector	27
Asociatividad en el sector.....	31
¿Cómo se toma el sector público desde la perspectiva de los productores?	34
Sinergia entre la actividad piscícola y otras actividades	35
Capacitaciones y educación del sector	36
Condiciones técnicas necesarias para la producción de tilapia, mediante la tecnología Biofloc ..	39
Terreno	45
Vías de conexión en el municipio	46
Agua	47
Temperaturas	48
Energía eléctrica.....	49
Mano de obra	49
Energía Solar.....	50
Carbono para la adición en el sistema	52
Sistemas de recirculación y aireación	52
Capacitación y formación.....	54
Programas de financiamiento	56
Factores Técnicos adicionales	57
Condiciones técnicas para el agua de los peces	58
Sólidos disueltos totales	59

Elaboración del Biofloc	60
Alimento	60
Elementos y materiales para la toma de parámetros del sistema	61
Aportes económicos, sociales y ambientales derivados de la implementación de tecnología Biofloc en el sector piscícola del municipio de Pauna, para contribuir a la productividad con miras de un mercado internacional	63
Aportes a nivel internacional	63
Aportes a nivel Nacional en Colombia	65
Aportes a nivel municipal.....	66
Posición internacional de la piscicultura del Municipio de Pauna	71
Conclusiones	77
Recomendaciones	79
Referencias	80
Anexos.....	86

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. Piscicultura como actividad económica	16
Figura 2. Otras actividades representativas en el municipio	17
Figura 3. Tiempo en ejecución de la actividad piscícola	18
Figura 4. Tiempo del ciclo de producción.....	19
Figura 5. Volumen de producción	20
Figura 6. Demanda piscícola del municipio	21
Figura 7. Mercados para los productos piscícolas paunenses	22
Figura 8. Formas de entrega del pescado	23
Figura 9. Municipios de venta del pescado	24
Figura 10. Desafíos de la producción piscícola	25
Figura 11. Fuentes de financiamiento	26
Figura 12. Colaboradores en la actividad.....	27
Figura 13. Fijación del precio	28
Figura 14. Factores más costosos en la actividad piscícola.....	29
Figura 15. Manejo de residuos finales	30
Figura 16. Excedentes de la actividad.....	31
Figura 17. Participación en trabajo asociativo.....	32
Figura 18. Razones de la NO asociatividad.....	33
Figura 19. Asociaciones e iniciativa de los productores para participar	34
Figura 20. Apoyo de instituciones públicas	35
Figura 21. Ecoturismo y piscicultura	36
Figura 22. Capacitaciones sobre piscicultura	37
Figura 23. Temas en que se han capacitado	38
Figura 24. Prácticas sostenibles implementadas.....	40
Figura 25. Razones de la no implementación de prácticas sostenibles.....	41
Figura 26. Gestión del recurso hídrico	42
Figura 27. Clasificación del Suelo de Pauna	45
Figura 28. Cantidad de terreno	46

Figura 29. Tipos de clima en Pauna	48
Figura 30. Distribución de la población paunense	50
Figura 31. Potencial eléctrico fotovoltaico	51
Figura 32. Funcionamiento del Sistema Biofloc	53
Figura 33. Sistemas de producción piscícolas utilizados	62
Figura 34. Manejo de heces	69
Figura 35. Mercado internacional	72
Figura 36. Presentación del producto	73
Figura 37. Interés en transformar el producto para el mercado internacional	74
Figura 38. Métodos posibles para transformar la tilapia	75
Figura 39. Buenas Prácticas Acuícolas para un mercado internacional	76

Lista de Anexos

	Pág.
Anexo A. Propuesta de Investigación	87
Anexo B. Modelo de Encuestas	98
Anexo C. Encuestas	106
Anexo D. Entrevista realizada	113

Resumen

Desarrollo de la productividad en el sector piscícola de Pauna-Boyacá mediante economía circular:

La investigación se centra en caracterizar a los productores y el manejo de los cultivos, además se identifican las condiciones necesarias para la implementación del sistema Biofloc y el cumplimiento de estas condiciones por parte del municipio, para así establecer los aportes económicos, sociales y medioambientales que le proporciona la implementación de este sistema al municipio de Pauna, contribuyendo con el incremento de la productividad y la adaptación para impactar en el mercado internacional.

Estudiando el potencial aún no explotado de la piscicultura en el municipio de Pauna, para determinar los beneficios de la economía circular en la producción de Tilapia mediante tecnología Biofloc y energía solar renovable, con miras de elevar la productividad del sector piscícola en el municipio de Pauna Boyacá.

La metodología utilizada en este estudio es descriptiva con enfoque cualitativo, caracterizando en profundidad las realidades y hechos investigados. Para la recolección de datos se utilizaron instrumentos como entrevista y encuesta aplicadas a los productores piscícolas del municipio de Pauna, y fuentes secundarias como el ministerio de agricultura y acuicultura, y el DANE.

En los resultados se encuentra que el municipio de Pauna presenta poca implementación tecnológica en los sistemas de producción piscícola, cero asociatividades en el sector, desconocimiento de los programas de apoyo estatal y de financiamiento, sin embargo, tienen la disposición para adaptarse a los mercados internacionales. Y el municipio cumple con las condiciones técnicas para implementar el sistema Biofloc, que proporciona beneficios en los tres aspectos de sostenibilidad para la región.

Palabras Clave: piscicultura, sistema Biofloc, productividad, energías renovables.

Abstract

Development of productivity in the Pauna-Boyacá fish farming sector through circular economy:

The research focuses on characterizing the producers and the management of the crops, and the necessary conditions for the implementation of the Biofloc system and compliance with these conditions by the municipality are identified, in order to establish the economic, social and environmental contributions that it provides. the implementation of this system to the municipality of Pauna, contributing to the increase in productivity and adaptation to impact the international market.

Studying the still unexploited potential of fish farming in the municipality of Pauna Boyacá, to determine the benefits of the circular economy in the production of Tilapia through Biofloc technology and renewable solar energy, with a view to increasing the productivity of the fish farming sector in the municipality of Pauna Boyacá.

The methodology used in this study is descriptive with a qualitative approach, characterizing in depth the realities and facts investigated. Instruments such as interviews and surveys were used to collect data, applied to fish producers in the municipality of Pauna, and secondary sources such as the Ministry of agriculture and aquaculture, and DANE.

The results show that the municipality of Pauna has little technological implementation in fish production systems, zero associations in the sector, lack of knowledge of state support and financing programs, however, they have the willingness to adapt to international markets. And the municipality meets the technical conditions to implement the Biofloc system, which provides benefits in the three aspects of sustainability for the region.

Keywords: fish farming, Biofloc system, productivity, renewable energies.

Introducción

La captura y cría de animales acuáticos a nivel global, combinando la pesca tradicional y la acuicultura, alcanzó alrededor de 177,8 millones de toneladas. De este total, aproximadamente 90,3 millones de toneladas provinieron de la pesca, mientras que la acuicultura contribuyó con 87,5 millones de toneladas y la mayor parte de la producción se registró en ambientes de agua dulce, totalizando 54,4 millones de toneladas, lo que representa el 62,2 % del total mundial (Food and Agriculture Organization [FAO], 2021, p. 26).

Además, es importante destacar que el pescado de agua dulce representó un papel destacado en la acuicultura, esto deja en evidencia que es un factor preponderante en la producción mundial de alimentos y en los últimos años se ha marcado una tendencia de crecimiento de la acuicultura en producciones controladas, disminuyendo la cantidad de alimento capturado, orientado esto a la importancia de cuidar los ecosistemas, apoyar el medio ambiente e incentivar la producción piscícola (FAO, 2021, p. 4).

Ahora bien, según Souza et al. (2022) se ha observado un notable progreso en los últimos años en el perfeccionamiento de los sistemas de cultivo acuícola de agua dulce, este avance ha generado una mayor productividad y eficiencia en la utilización de recursos, apoyando el entorno ambiental para un crecimiento sostenible (p. 2).

De la mano con este aspecto de sostenibilidad aparece el sistema Biofloc que tiene la capacidad de producir con un mismo cuerpo de agua, haciendo uso eficiente del recurso hídrico y aumentando las densidades de siembra, además este sistema crea una reconversión de factores dentro del mismo que minimiza los costos de alimentación e incrementa la rentabilidad en la industria, mejorando también los ratios de conversión cárnica alimenticia de los peces lo que se traduce directamente en un desarrollo más óptimo del pescado (Minaz et al., 2023, p. 3).

Con base en la dinámica de crecimiento que ha tenido el sector piscícola y el desarrollo tecnológico que se ha visto en los sistemas de producción, se enmarca la presente investigación con el objetivo de determinar los beneficios de la economía circular en la producción de tilapia mediante tecnología Biofloc acompañada de energía solar renovable, para elevar la productividad del sector piscícola en el municipio de Pauna Boyacá, contando con que este municipio presenta variedad y cantidad de recursos naturales que pueden ser aprovechados para dar un crecimiento de la industria a nivel internacional.

A continuación, en esta investigación se exponen 3 capítulos con los resultados del estudio, los cuales se describen en seguida:

El capítulo 1 presenta la caracterización de los productores piscícolas del municipio de Pauna, la forma en que se lleva a cabo el manejo de los cultivos, la cantidad de producción que tienen en el momento, los sistemas que utilizan y la disposición para adaptarse a los mercados internacionales.

En el capítulo 2, se encuentran las condiciones mínimas necesarias para la implementación del Sistema Biofloc, y el detalle de los aspectos de cumplimiento del municipio de Pauna para su implementación. En este capítulo se tuvo en cuenta información pública del municipio y hallazgos de la encuesta realizada a los productores.

Finalmente en el 3 capítulo, se presentan los aportes económicos, sociales y medioambientales derivados de la implementación del sistema Biofloc en la piscicultura, estos aportes se detallan en tres niveles, el primero de ellos es a nivel internacional con investigaciones actualizadas que permiten reconocer los beneficios a grosso modo, a nivel nacional respecto a las producciones colombianas que se han desarrollado bajo el sistema Biofloc en los departamentos de Colombia más destacados en piscicultura y a nivel regional mediante el análisis de la entrevista realizada a la empresa La Vida Piscícola que está localizada en el municipio de Pauna Boyacá, teniendo un panorama general y significativo de los aportes ambientales, económicos y sociales que genera la implementación del sistema Biofloc en el sector piscícola.

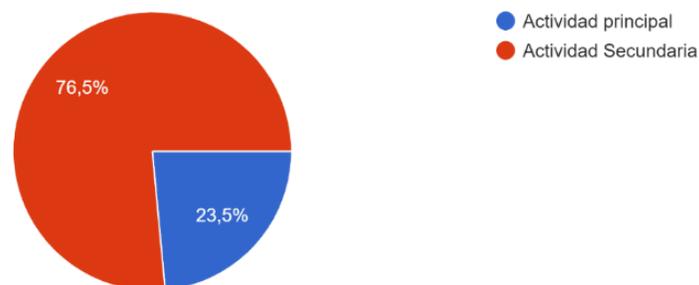
Características de los productores de tilapia y del manejo del cultivo en el municipio de Pauna Boyacá

Pauna cuenta con un desarrollo productivo piscícola de diferentes especies como lo es el bagre, la cachama, y la tilapia, siendo esta última la más relevante en la región por su fácil adaptabilidad a los cambios y alta tolerancia a ambientes hostiles, además de que esta especie tiene mejor reconocimiento en el mercado regional y mayor aceptabilidad por los consumidores.

Asimismo, el municipio tiene una amplia variedad de actividades económicas, y al caracterizar el sector piscícola, se reconoce que en su mayoría los productores de tilapia de esta zona no tienen la piscicultura como actividad principal. Como se evidencia en la figura 1, el 76.5% de los encuestados mantienen esta actividad como secundaria, acompañada como se ve en la figura 2 de actividades como la agricultura, la ganadería y la minería. Esto hace que no se enfoquen completamente y disminuyan la especialización en las actividades, lo que puede provocar una reducción de ingresos. Por el contrario, si utilizaran modelos de especialización, podrían aumentar los márgenes de ganancia, estrechando el costo y mejorando la experiencia dentro del sector (Chen et al., 2024, p. 2).

Figura 1

Piscicultura como actividad económica

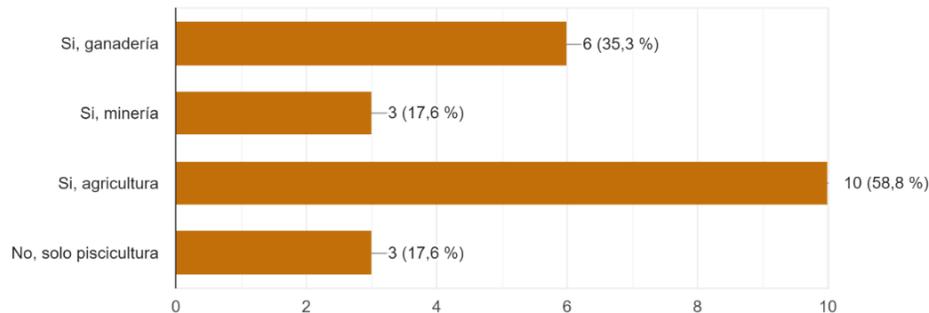


Nota. La figura evidencia cómo la actividad piscícola tiene un papel secundario en las actividades económicas de Pauna. Fuente: Elaborada con datos recolectados en encuesta a productores piscícolas de Pauna.

En la figura 2, se reconoce que las actividades más destacadas en el municipio de Pauna están orientadas a actividades tradicionales como la agricultura y la ganadería. Esto demuestra un desarrollo del municipio desde enfoques tradicionales y con cambios poco disruptivos.

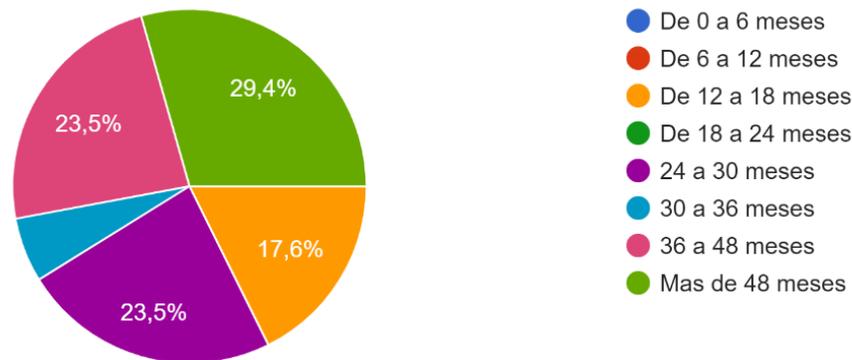
Figura 2

Otras actividades representativas en el municipio



Nota. La figura muestra las actividades económicas más representativas en el municipio de Pauna. Fuente: Elaborada con datos recolectados en encuesta a productores piscícolas de Pauna.

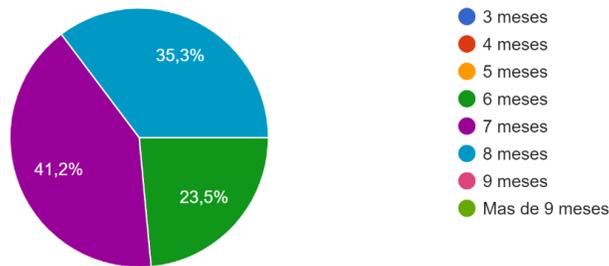
En este sentido, la mayoría de los productores paunenses de tilapia llevan un largo tiempo en la actividad, superando los 4 años (Figura 3), reflejando la familiarización con el sector y señalando que se sostiene la actividad piscícola en el tiempo, entonces se puede ver que aunque el sector no está muy desarrollado tecnológicamente, sí tiene una larga experiencia otorgándole estabilidad en el largo plazo, siendo esto uno de los factores que proporcionan el éxito y la confianza de la industria piscícola (Terán y Ruales, 2019, p. 40).

Figura 3*Tiempo en ejecución de la actividad piscícola*

Nota. En la figura se puede ver la distribución del tiempo que llevan los piscicultores dedicados a este tipo de producción. Fuente: Elaborada con datos recolectados en encuesta a productores piscícolas de Pauna.

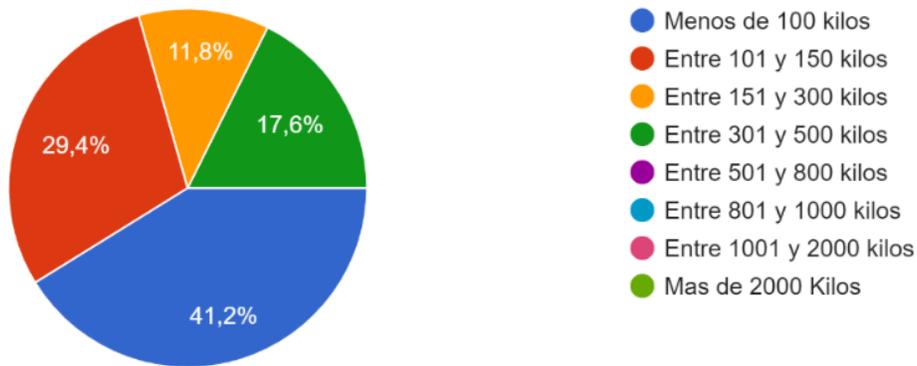
Características de la producción piscícola en el municipio

De otra parte, para que un alevín alcance el promedio de peso óptimo para su comercialización, requiere entre 5 ó 6 meses, sin embargo, para los productores del municipio de Pauna este período se extiende hasta 8 meses (Figura 4), lo que implica costos, tiempo y mano de obra; contexto que es abordado en Kaminski et al. (2024), donde la producción de especies piscícolas, las cuales incluyen la tilapia, alcanza los 400 grs, en tal solo 138 días, promedio que se alcanza en producciones de tipo experimental con diferentes densidades de población, lo que puede variar en producciones más industrializadas (p. 4).

Figura 4*Tiempo del ciclo de producción*

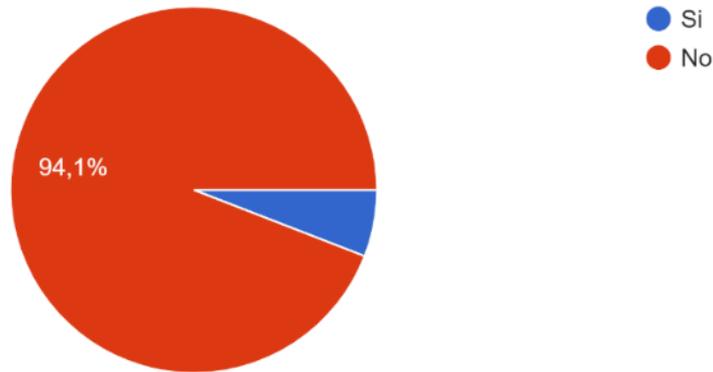
Nota. En la figura se evidencia el tiempo que demoran los piscicultores de Pauna en completar un ciclo de producción, desde alevines hasta peso de mercado. Fuente: Elaborada con datos recolectados en encuesta a productores piscícolas de Pauna.

Es necesario reconocer que en Pauna la producción piscícola es pequeña, ya que, según la investigación hecha, y tal cual se muestra en la figura 5, donde se ve que el 41.2% de los productores obtienen menos de 100 kilos de pescado por ciclo de producción, esto se debe, entre otras cosas, a la falta de implementación de sistemas mucho más densos que permitan una mayor cantidad de kilos de pescado por ciclo de producción, para que los productores no tengan que aumentar sus tanques de producción, sino hacer sistemas más intensivos que les otorguen ventajas en cantidad de kilos por ciclo (Giuliani et al., 2023).

Figura 5*Volumen de producción*

Nota. La figura muestra la cantidad de kilos de pescado que produce en promedio cada piscicultor por ciclo de producción. Fuente: Elaborada con datos recolectados en encuesta a productores piscícolas de Pauna.

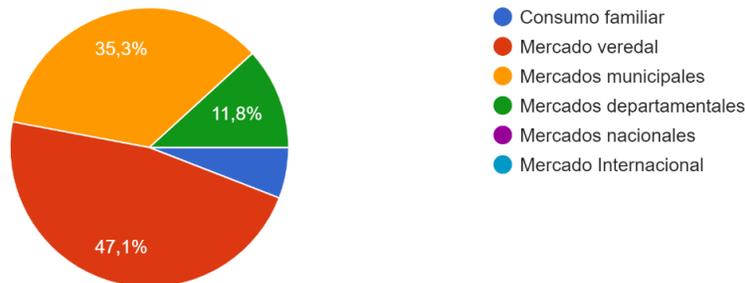
Ahora, con respecto a lo señalado por los productores paunenses, se reconoce que entre ellos no tienen cubierta la totalidad de la producción municipal, esto justifica el hecho de que lleguen productos o distribuidores piscícolas externos a la región para abarcar la demanda insatisfecha. Por otro lado, esto representa una oportunidad de mercado para que se amplíe la producción y se atienda esta demanda municipal, para fortalecer el crecimiento del sector en la zona.

Figura 6*Demanda piscícola del municipio*

Nota. La figura muestra que los piscicultores locales no completan la demanda piscícola del mercado paunense.
Fuente: Elaborada con datos recolectados en encuesta a productores piscícolas de Pauna.

Comercialización de la tilapia en Pauna

Al examinar la producción piscícola en el municipio de Pauna, se encuentra, como lo expresa la figura 7, que los mayores canales de comercialización son los mercados veredales, con una participación del 47.1%, seguido de los mercados municipales con una alta participación del 35.3%, reflejando que la comercialización piscícola en el municipio tiene estrecha dependencia de los mercados locales, esto puede deberse a la falta de conectividad de actores adicionales en el proceso de distribución y la débil cadena estructural que presenta el sector, limitando el acceso de los productos a mercados más amplios que pueden brindar la oportunidad a los productores para recibir mayores ingresos y mejores márgenes de ganancia.

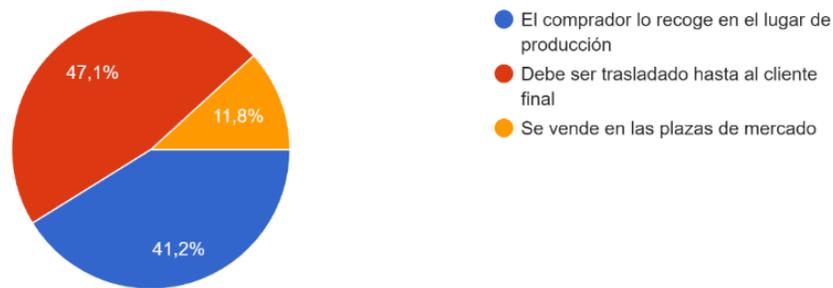
Figura 7*Mercados para los productos piscícolas paunenses*

Nota. En esta figura se puede ver cuál es el principal mercado al que llegan los productores piscícolas de Pauna.

Fuente: Elaborada con datos recolectados en encuesta a productores piscícolas de Pauna.

Para analizar la modalidad de entrega del pescado en la región paunense, se puede ver en la figura 8 que hay dos formas muy relevantes a las cuales están acostumbrados los productores. En primer lugar, el traslado del producto al cliente final no representa un rubro muy alto para los negocios, porque la mayoría de los clientes están localizados en zonas aledañas, pero en futuro, con el crecimiento de los negocios, se dificultaría un poco hacer la entrega en la casa de los clientes, ya que esto conlleva un costo adicional en la logística de distribución que impacta a pequeñas y grandes empresas sin importar si es de forma nacional o internacional (Serrano, 2020, p. 173).

En segundo lugar, el comprador recoge el producto en el lugar de producción. Este sistema de entrega genera en el consumidor un mayor grado de confianza porque puede tener seguridad de dónde procede el producto y también se genera un apoyo como evento turístico, gracias a que, con el desplazamiento del cliente al lugar de producción, este aprovecha en muchas ocasiones para divisar los estanques. Sin embargo, esta modalidad de entrega en sitio de producción presenta cierta incomodidad en algunos clientes, ya que al estar alejados del lugar y sin un medio fácil de movimiento, se dificulta el acceso al producto. Esta es la razón principal por la cual la mayoría de los productores deciden aceptar las preferencias del cliente llevando el producto hasta los lugares de hospedaje o de consumo.

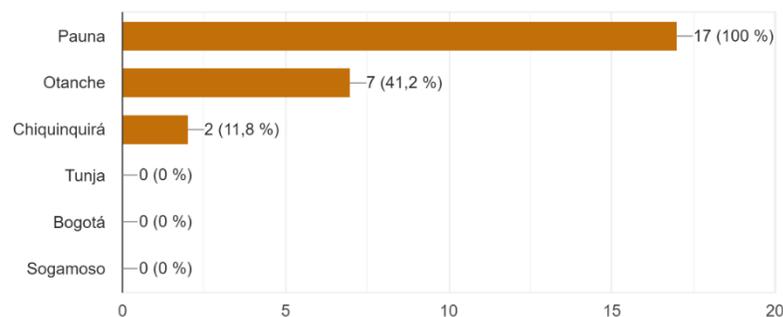
Figura 8*Formas de entrega del pescado*

Nota. En la figura se evidencia la forma más común de entrega del pescado por parte de los productores. Fuente: Elaborada con datos recolectados en encuesta a productores piscícolas de Pauna.

Asimismo, para comprender ampliamente las características de distribución que tiene el pescado en Pauna, se tomó en cuenta cuáles eran los municipios de distribución. Esto se relaciona con una de las respuestas anteriores donde señala que los productores tienen el mercado veredal como su opción más concurrida, dado esto en la figura 9 se puede identificar que el municipio en el que más venden el pescado es en Pauna, sin embargo, se tienen otros mercados un poco más ocasionales como los municipios de Chiquinquirá y Otanche, cabe aclarar que estos 2 municipios son colindantes con el municipio puesto en estudio, y solo se llega a estos mercados cuando los productores sacan pescado en exceso, saturando el mercado municipal, en la figura 9 se evidencia un porcentaje del 100% para el municipio de Pauna debido a que todos los encuestados venden en este mercado y los porcentajes adicionales evidenciados en los otros municipios, corresponde al porcentaje de encuestados que además de vender en el municipio de Pauna, también vende en Otanche y en Chiquinquirá.

Figura 9

Municipios de venta del pescado



Nota. La figura muestra que existen otros municipios, diferentes al local, a los cuales llegan los piscicultores con su producto. Fuente: Elaborada con datos recolectados en encuesta a productores piscícolas de Pauna.

Desafíos que enfrenta la piscicultura en Pauna

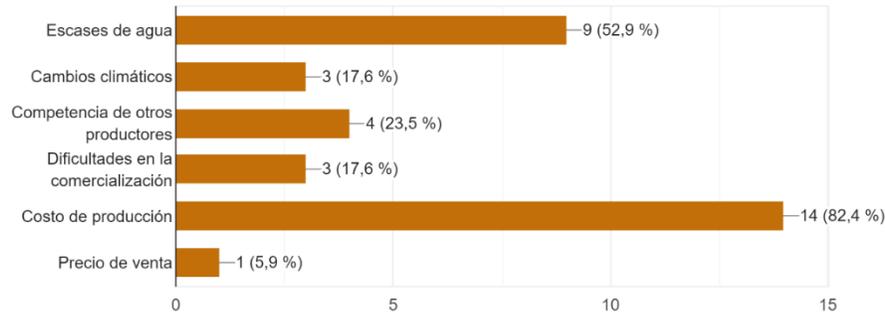
Al mismo tiempo, en el contexto de la industria acuícola, es crucial comprender y abordar los desafíos que han surgido en la producción de peces, por tanto, la encuesta se ha diseñado para recopilar también información valiosa sobre los diversos obstáculos que los actores de la industria han enfrentado recientemente, y sus respuestas son esenciales para identificar áreas de mejora, formar políticas y prácticas más efectivas, para promover la sostenibilidad en la producción de peces.

Como resultado de esta identificación de factores, en la figura 10 se ve que los costos en la producción son el desafío principal a la hora de llevar a cabo la producción de tilapia, porque los costos de los concentrados se vuelven contraproducentes para la rentabilidad del productor. Asimismo, se identificó en otras investigaciones que los costos de los insumos básicos son una de las barreras más notables al momento de implementar una producción piscícola (Larson et al., 2023, p. 4). También un desafío importante que presentan los productores de tilapia en el municipio de Pauna es la escasez de agua en los sitios de producción, este es un factor indispensable para la producción de esta especie; y aunque Pauna es un municipio con precipitaciones constantes, también tiene temporadas con bajas precipitaciones que disminuyen mucho el caudal en los afluentes de agua mostrando gran preocupación por parte de los productores, ya que se quedan sin la principal fuente de oxígeno para los peces, esto los lleva a que prevean estas temporadas y las

siembras sean menos intensivas para mantener la oxigenación correcta, evitando mortalidades en la producción.

Figura 10

Desafíos de la producción piscícola



Nota. En esta figura se muestran los desafíos más importantes considerados por los piscicultores paunenses. Fuente: Elaborada con datos recolectados en encuesta a productores piscícolas de Pauna.

Financiamiento del sector

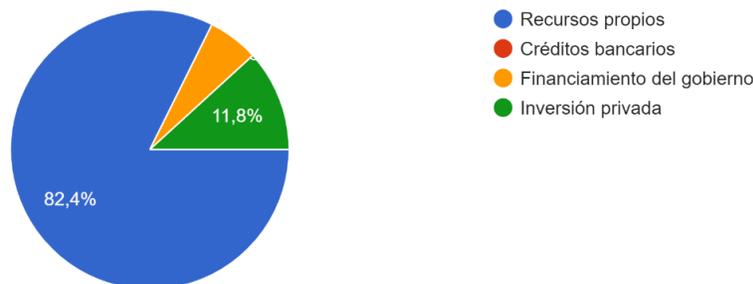
Por otro lado, para comprender el dinamismo económico del sector piscícola en Pauna, Boyacá, es esencial identificar las fuentes de financiamiento que los participantes en esta encuesta han utilizado para respaldar sus actividades productivas. La información recopilada es clave para conocer con mayor profundidad el sector, evaluar la estructura financiera de la industria, identificar oportunidades de apoyo y promover la sostenibilidad económica.

De esta forma, los datos proporcionados muestran que la distribución de las fuentes de financiamiento se inclinan en la mayoría a que los participantes en el sector piscícola financian sus actividades productivas con recursos propios, esto indica que tienen una sólida base financiera para soportar estos niveles de producción, pero también, este comportamiento podría obedecer a una prevención para adquirir financiamientos bancarios, ya que ninguno de los actores tiene esta opción como su realidad actual; adicional a ello, dentro de los gobiernos se tienen unos rubros destinados para la inversión en proyectos de esta tipología rural productiva, a los cuales tampoco han llegado los productores piscícolas de Pauna, mostrado en la figura 11 de la encuesta que tan solo 1 productor dentro de los participantes ha tomado ventaja de estos proyectos estatales.

También es importante resaltar que en la piscicultura esta falta de financiamiento se presenta como un desafío constante para los piscicultores, siendo el capital una herramienta fundamental para dar comienzo a este tipo de actividad. Esto se puede ver particularmente en investigaciones desarrolladas en otros países, donde se puede reconocer este efecto que impacta de la misma forma en el municipio de Pauna (Larson et al., 2023, p. 7).

Figura 11

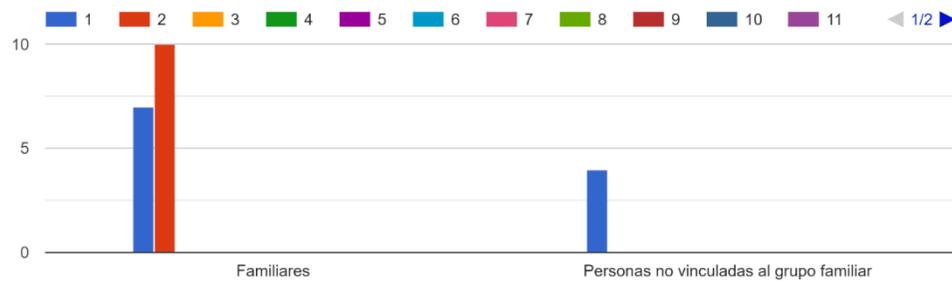
Fuentes de financiamiento



Nota. La figura muestra las actividades económicas más representativas en el municipio de Pauna. Fuente: Elaborada con datos recolectados en encuesta a productores piscícolas de Pauna.

Empleo en el sector piscícola de Pauna

Para tener mayor claridad de cómo se distribuye la generación de empleo en el sector piscícola, y contando que esta actividad involucra diferentes labores que requieren de trabajo diario, se explorará información para analizar la red de colaboración que se tiene en el municipio de Pauna por parte del sector piscícola. La encuesta arroja que existe un patrón de comportamiento en el sector, el cual evidencia en la figura 12 que la mayoría de productores emplean a tan solo 2 colaboradores vinculados al grupo familiar. Asimismo, otros concuerdan con que solo vinculan a una persona del grupo familiar para desempeñar la labor piscícola. De esta forma, se revela no solo que la actividad tiene un enfoque muy familiar, sino que también la cantidad de generación de empleo en el momento es mínima para la mayoría de negocios que comprenden esta actividad económica. Lo mismo se puede evidenciar de investigaciones realizadas por otros autores, donde se evidencia que, en Colombia, y más explícitamente en Boyacá, es común encontrar granjas piscícolas con poca mano de obra (Núñez y Ayazo, 2023, p. 51).

Figura 12*Colaboradores en la actividad*

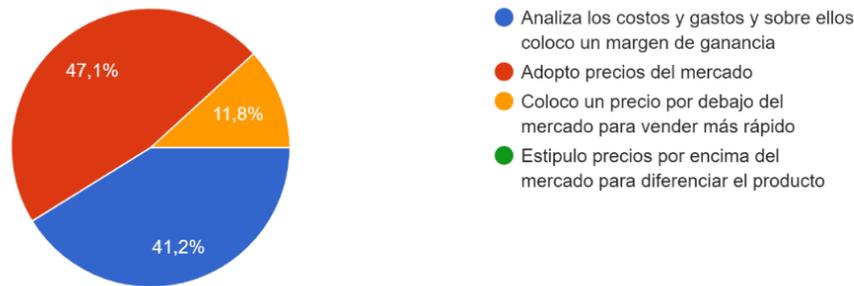
Nota. En la figura se evidencia la cantidad de trabajadores que colaboran en las actividades piscícolas. Fuente: Elaborada con datos recolectados en encuesta a productores piscícolas de Pauna.

Aspectos económicos del sector

En la identificación de factores económicos representativos para el sector piscícola, se comprende de primera mano la importancia de establecer precios de mercado para la venta de los productos, ya que esto afecta en la rentabilidad de los negocios y también en las dinámicas del mercado entre oferta y demanda (Rivera y Marín, 2022, p. 38).

Por ello, para la identificación de precios en el sector piscícola de Pauna Boyacá, se realiza la encuesta a los productores directamente para analizar a fondo cuáles son sus metodologías para establecer el precio de los productos.

Después de aplicada la encuesta y como se muestra en la figura 13, el 47.2% de los participantes para su fijación de precios adopta los precios del mercado. Esta práctica es común en la fijación de precios cuando los productores no tienen un conocimiento profundo sobre aspectos financieros de un negocio o, en su defecto, cuando al no desarrollar esta actividad como su actividad principal, disminuyendo el valor de importancia que se le da a la producción.

Figura 13*Fijación del precio*

Nota. En la figura se muestra la forma en que fijan los precios del pescado los productores. Fuente: Elaborada con datos recolectados en encuesta a productores piscícolas de Pauna.

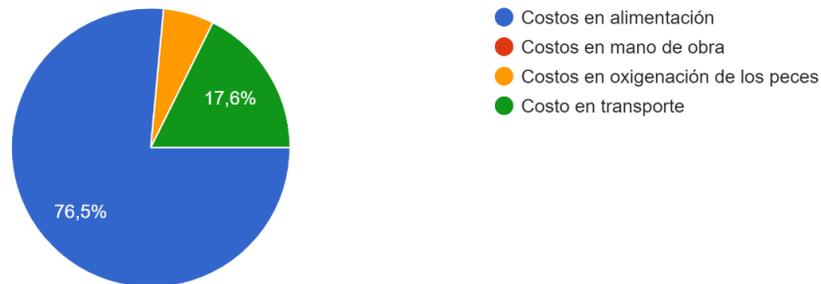
A continuación, se analiza que la búsqueda constante de eficiencia y la gestión efectiva de costos son aspectos fundamentales en la sostenibilidad y rentabilidad de las operaciones piscícolas. En el marco de lo anteriormente dicho, se da una comprensión de las preferencias de los productores en cuanto a la reducción de costos, ya que aporta información valiosa que permite determinar cuáles son las prioridades y los principales desafíos que tienen los productores en sus modelos de negocio.

Conociendo las estructuras de costos y los impactos más significativos que tienen estas estructuras en la viabilidad financiera de la producción piscícola, se demuestra gracias a la aplicación de la encuesta que los piscicultores indican un interés especial en la reducción de costos de alimentación, siendo su impacto más fuerte en las ganancias del negocio tal como se aprecia en la figura 14.

De tal manera, que la preferencia por reducir los costos de alimentación se sugiere con mayor importancia en este componente de costos totales. Dado que la alimentación a menudo representa una proporción sustancial de los gastos operativos en la piscicultura, la búsqueda de eficiencia en este aspecto puede tener un impacto significativo en la rentabilidad general de las operaciones y es por ello que en aspectos anteriores se evidencia que los productores toman como opción alimentar de forma sostenible a los peces para tener una disminución en este costo relacionado con la alimentación.

Figura 14

Factores más costosos en la actividad piscícola



Nota. Mediante la figura se muestran los aspectos más costosos de la producción piscícola. Fuente: Elaborada con datos recolectados en encuesta a productores piscícolas de Pauna.

Ahora, tomando en cuenta que los residuos o elementos no aprovechables directamente en la producción del pescado es un aspecto que tiene un alto impacto ambiental y económico, porque para la producción de este desecho es necesario hacer un gasto económico en la alimentación de peces. Por otra parte, si este recurso no es bien aprovechado, puede llegar a generar afecciones al medio ambiente, con costo directo para los productores de tilapia.

Debido a esto, se pregunta a los piscicultores cuál es el manejo que se les da a estos residuos o elementos no aprovechables del pescado. Según la figura 15, se observa que un alto porcentaje de los encuestados utilizan estos recursos o desechos en la alimentación de otros animales domésticos, siendo esto una estrategia que ofrece aprovechamiento sin necesidad de transformación, al convertirse directamente en una proteína valiosa para otros animales, aumentando así la complejidad en la cadena de producción y mejorando la rentabilidad general de las granjas (Valdivia, 2022, p. 38).

Figura 15*Manejo de residuos finales*

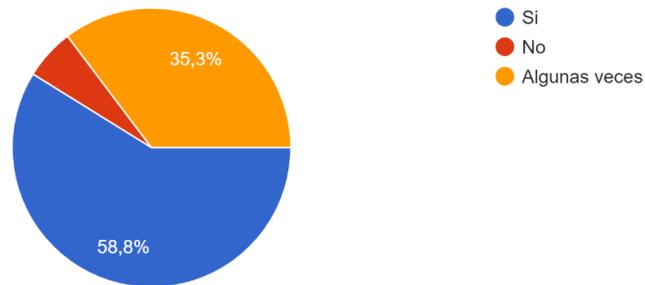
Nota. En la figura se evidencia el manejo más representativo de los residuos finales por parte de los piscicultores.

Fuente: Elaborada con datos recolectados en encuesta a productores piscícolas de Pauna.

Dentro del mismo camino económico, se tiene que la relación entre la producción de tilapia y el sustento familiar es un componente fundamental en la vida de los productores del sector piscícola de Pauna. Esta faceta del análisis se adentra en la dinámica entre la producción de tilapia y los excedentes que generan, examinando cómo esta actividad impacta en la seguridad económica y en la capacidad de proporcionar sustento a las familias de los productores.

Resaltando que la producción de tilapia no solo es una actividad económica, sino también una fuente de alimentos y recursos para las familias que participan en ella. Comprender si genera o no excedentes el desarrollo de la actividad piscícola en el municipio de Pauna es indispensable para evaluar la sostenibilidad económica de la actividad en el largo plazo (Urrego y Guzmán, 2021, p. 20).

Es por ello, que se indaga sobre los excedentes de la producción de tilapia para el sostenimiento familiar de los involucrados directamente, en donde la respuesta predominante, indicada en la figura 16, resalta que la mayoría de los productores tiene excedentes por parte de la actividad. Esto abre un panorama intrigante y prometedor en términos de la contribución de la piscicultura a la seguridad económica a nivel familiar.

Figura 16*Excedentes de la actividad*

Nota. Se puede apreciar en la figura, que la actividad piscícola deja excedentes para los productores. Fuente: Elaborada con datos recolectados en encuesta a productores piscícolas de Pauna.

Asociatividad en el sector

Abarcando este aspecto social de la producción piscícola, se resalta que la colaboración y el trabajo asociativo son elementos fundamentales en el tejido de cualquier industria, y el sector piscícola no es la excepción. Dado lo anterior, se explora la participación de los productores piscícolas en iniciativas de trabajo asociativo en Pauna, Boyacá. La pregunta sobre si participan en este tipo de iniciativas revela la dinámica de colaboración en el sector y ofrece una visión profunda de la disposición de los productores para unirse y trabajar de manera conjunta.

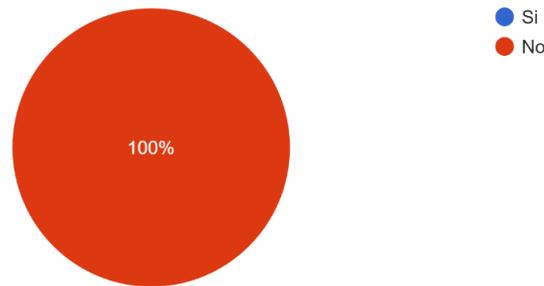
Dado que la participación en iniciativas de trabajo asociativo puede abarcar desde la formación de asociaciones locales hasta proyectos de colaboración en investigación, desarrollo y comercialización. Entender la prevalencia y las razones detrás de la no participación puede proporcionar valiosa información sobre los desafíos y oportunidades para fortalecer la colaboración en el sector piscícola de la región.

Sin embargo, es notable en la figura 17 que, según las respuestas recopiladas, la totalidad de los encuestados indicaron que NO participan en iniciativas de trabajo asociativo. Con esto se identifica una oportunidad para conocer las razones que se encuentran cubiertas por la falta de participación de los productores en actividades asociativas y se considera la implementación de estrategias para impulsar la colaboración en el sector, debido a que esto puede ampliar las posibilidades de venta, el intercambio de conocimientos y el desarrollo de mejores prácticas,

compartiendo experiencias técnicas y estableciendo un profesionalismo en el sector (Núñez y Ayazo, 2023, p. 65).

Figura 17

Participación en trabajo asociativo



Nota. La figura muestra la escasa participación asociativa de los productores piscícolas. Fuente: Elaborada con datos recolectados en encuesta a productores piscícolas de Pauna.

Como no es suficiente saber que ninguno de los productores encuestados participa en actividades asociativas, se indagó sobre las razones por las cuales no lo hacen y luego de obtener los resultados se reconoció fácilmente en la figura 18 que la razón principal es que los productores aprecian barreras de tiempo que no les da la oportunidad de conectarse con otros productores. Esto puede darse, debido a que la actividad piscícola, al no desarrollarse como actividad principal, no se le dedica el tiempo suficiente para hacer un grupo de trabajo colaborativo. Asimismo, Osorno y Vargas (2023) señalan que los productores, en muchos casos por la informalidad de las granjas y la falta de visión de la cultura asociativa, no entran en este tipo de modalidades de trabajo (p. 36).

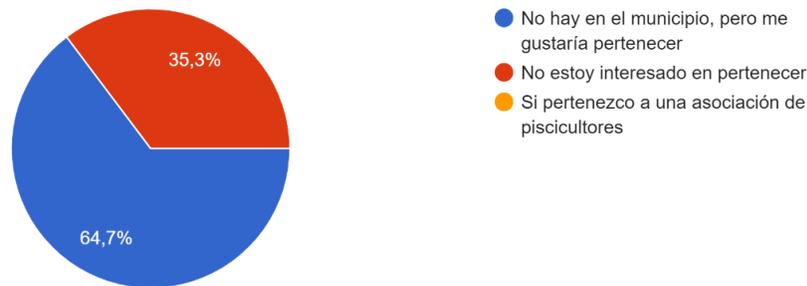
Adicionalmente, se identifica también un porcentaje representativo de productores que dicen no conocer a otros productores cercanos, esto se relaciona con desafíos logísticos y operativos que afectan directamente a la actividad y estas limitaciones, tanto de espacio como de tiempo, permiten identificar una falta de comunicación existente dentro del sector piscícola del municipio de Pauna Boyacá.

Figura 18*Razones de la NO asociatividad*

Nota. En la figura se muestran las razones por las cuales los piscicultores no están asociados. Fuente: Elaborada con datos recolectados en encuesta a productores piscícolas de Pauna.

Para conocer en profundidad por qué los piscicultores no tienen la tradición cultural de pertenecer a grupos de asociaciones del sector piscícola de Pauna, se sumerge la investigación en la búsqueda de información mediante la pregunta de ¿si pertenecen o no a asociaciones y si les gustaría pertenecer?, ya que el trabajo mancomunado ayuda a muchas industrias a fortalecer sus pilares de desarrollo.

De esta forma, en la figura 19 se puede ver que en el municipio no existen asociaciones piscícolas, sin embargo, el 64.7% de los productores de tilapia indican tener el deseo de pertenecer a una asociación, esto permite plantear una futura asociatividad que ayude al posicionamiento del sector en el mercado, mejorando así condiciones de producción y de colaboración.

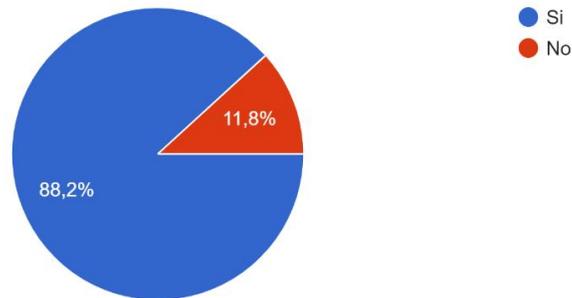
Figura 19*Asociaciones e iniciativa de los productores para participar*

Nota. En la figura se evidencia que no hay asociaciones piscícolas en el momento y está en el interés de los piscicultores en participar. Fuente: Elaborada con datos recolectados en encuesta a productores piscícolas de Pauna.

¿Cómo se toma el sector público desde la perspectiva de los productores?

Desde la perspectiva de los productores, es importante conocer qué interacción están teniendo en este momento el sector privado con el sector público, haciendo referencia especialmente a la industria piscícola, ya que las instituciones públicas tienen un juego indispensable para apoyar el desarrollo y generar estabilidad alimenticia, esto lo afirma Urrego y Guzmán (2021) en su investigación donde describen cómo los entes gubernamentales pueden formular proyectos para promover el desarrollo de estos sectores piscícolas impulsando la competitividad mediante la reducción de costos y el mejoramiento de las producciones (p. 25).

Entonces, para conocer la percepción de los piscicultores, se preguntó respecto al apoyo que han brindado las instituciones en este momento y la contribución que generan a la producción actual del municipio. La pregunta formulada reveló, como se ve en la figura 20, que el 88.2% de los participantes sí consideran que el apoyo de las instituciones públicas mejora la situación actual de la producción. Este hallazgo sugiere una dinámica positiva, donde los productores valoran y reconocen la influencia que las instituciones públicas tienen en su actividad.

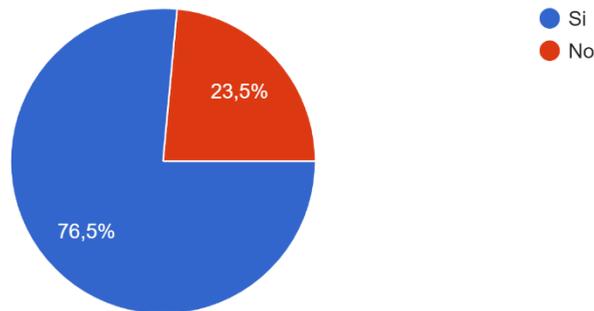
Figura 20*Apoyo de instituciones públicas*

Nota. La figura muestra el escaso apoyo de las instituciones públicas para los piscicultores. Fuente: Elaborada con datos recolectados en encuesta a productores piscícolas de Pauna.

Sinergia entre la actividad piscícola y otras actividades

Para complementar la investigación, se indagó también en las posibilidades de unir o combinar actividades que se pueden desarrollar junto con la actividad piscícola, esto debido principalmente a que la combinación de actividades en muchos casos llega a tener un mayor impulso y una reducción de costos, participando entre ambas también como un tipo de asociatividad (Cardozo, 2023).

Tomando en cuenta esto y al preguntar a los productores piscícolas del municipio de Pauna si estarían dispuestos a unir la actividad de piscicultura con otra actividad económica, indican, como se ve en la figura 21, que en un 76,5% estarían dispuestos a combinar la actividad con el ecoturismo, mediante la implementación de rutas para el descubrimiento del mundo piscícola, también esto se puede dar con la integración de cadenas de turismo gastronómico o pesca deportiva, esto se refleja como una oportunidad para el municipio y para la región, ya que las dos actividades tienen un componente ambiental y social fuerte que se puede fusionar y utilizarlo como estrategia de crecimiento que prevea un incremento equilibrado y armonioso entre la rentabilidad económica y la conservación medioambiental (Urrego y Guzmán, 2021, p. 14).

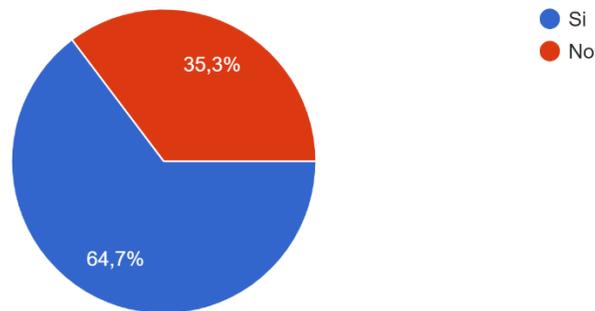
Figura 21*Ecoturismo y piscicultura*

Nota. La figura evidencia la posible relación de la actividad piscícola con otras actividades económicas. Fuente: Elaborada con datos recolectados en encuesta a productores piscícolas de Pauna.

Capacitaciones y educación del sector

Finalmente, se llega al reconocimiento de los productores en temas de educación para el correcto desarrollo del sector y de las actividades que este demanda, y es que en el continuo proceso de evolución de la piscicultura, un componente vital es la capacitación de los productores en esta disciplina, que es el momento en que se reciben experiencias e información que lo orientan técnicamente para encontrar un horizonte adecuado y rentable en la producción; entonces la investigación se centra en la pregunta crucial de si los productores han recibido capacitaciones específicas sobre piscicultura. La respuesta tiene alta variabilidad, ya que el 64.7 % revela que han sido receptores de capacitaciones, y el restante da una negativa a la pregunta, como se aprecia en la figura 22.

Dado lo anterior, se reconoce el compromiso de los piscicultores para continuar mejorando y aprendiendo de la actividad que desarrollan, aun así, falta que un amplio grupo de ellos entren en esta sintonía de la educación constante que es tan representativa para el crecimiento integral de la producción, dado que este apoyo de investigación, desarrollo y adaptación genera habilidades indispensables para mejorar la rentabilidad y el know-how del sector (Larson et al., 2023, p. 2).

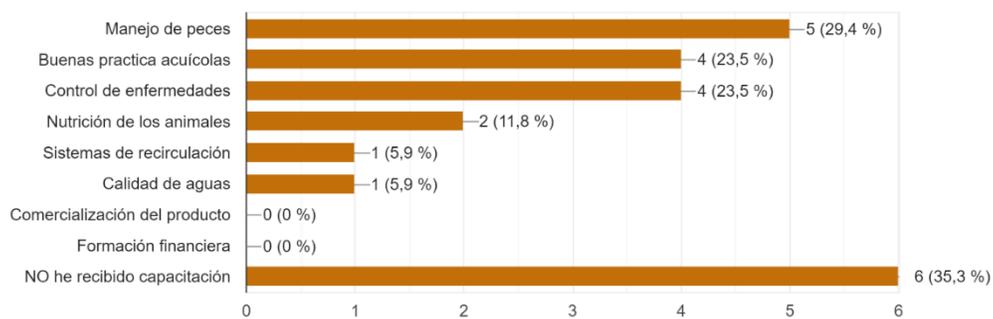
Figura 22*Capacitaciones sobre piscicultura*

Nota. En la figura se muestra si los piscicultores reciben o no capacitaciones piscícolas. Fuente: Elaborada con datos recolectados en encuesta a productores piscícolas de Pauna.

Retomando el tema de las capacitaciones y dentro del dinámico panorama de la piscicultura en Pauna, Boyacá, se ahondó sobre el tipo de capacitaciones recibidas. En este análisis se tuvo la oportunidad de centrar la pregunta en la diversidad y profundidad de los conocimientos impartidos.

De primera mano, se encuentra que las respuestas señaladas en la figura 23 por los piscicultores están dadas en un amplio grupo de ramas de conocimiento, lo que permite identificar una variedad de información valiosa en el sector y dentro de las capacitaciones, las que más han recibido los piscicultores son las que respetan al manejo de peces.

En la mayoría de estas capacitaciones se comparten aspectos técnicos, de alimentación, monitoreos de aguas y gestiones eficientes de las mismas, siendo esto uno de los aspectos más importantes para tener éxito en la producción piscícola y los que presentan mayores barreras de entrada para los productores (Larson et al., 2023, p. 3). También se identifica que los productores han tenido capacitaciones en aspectos de prácticas acuícolas, identificación y control de enfermedades presentes, permitiendo ampliarles el conocimiento con información relevante de primera necesidad en los sitios de producción. Ya que dentro de esas capacitaciones se tocan temas importantes vividos a diario en la piscicultura y que, si de los mismos no se tiene un conocimiento previo, puede llegar a tener impactos negativos en mortalidades o en rentabilidad final del proyecto.

Figura 23*Temas en que se han capacitado*

Nota. En esta figura se evidencian los temas en que se capacitan los piscicultores. Fuente: Elaboración propia con datos recolectados en encuesta a productores piscícolas de Pauna.

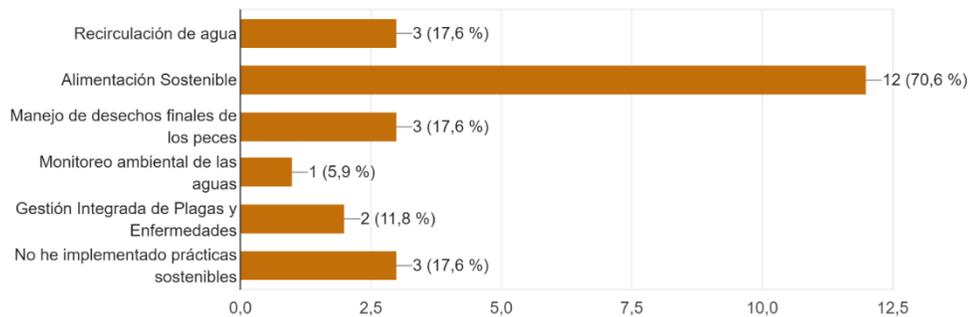
Condiciones técnicas necesarias para la producción de tilapia, mediante la tecnología Biofloc

En Colombia, los cultivos de tilapia tienen un porcentaje de representación del 72,18 % en el rubro de la totalidad de especies utilizadas para la piscicultura, y esta especie tiene alta dependencia del manejo adecuado de los cultivos, destacando el cuidado en la calidad de semillas compradas para la producción, además de cómo se controlan los parámetros del agua, los tipos de alimento que se proporciona al cultivo, prestando especial atención en la cantidad de raciones que se puede brindar por día, y el porcentaje de proteína que contienen; cada uno de estos factores son representativos y cruciales para obtener éxito en los ciclos productivos de tilapia (Hernández et al., 2019, p. 72).

Pero, no se puede descuidar que la implementación de prácticas sostenibles es fundamental para promover la salud ambiental, la viabilidad económica y el bienestar social en el sector piscícola, incluso para proteger el buen nombre de las organizaciones. En ese sentido, se estudiaron las prácticas sostenibles que los productores piscícolas desarrollaban en Pauna, Boyacá, y se reconoció que han adoptado en sus operaciones la alimentación sostenible como la práctica más concurrida.

Dado esto, se identifica un enfoque conectado hacia la sostenibilidad de producción donde tiene relevancia la alimentación natural que ayuda a reducir los impactos medioambientales y a la par generar un ahorro para los piscicultores, siendo esto una habilidad de los mismos sistemas de producción que brinda a los actores justicia y oportunidades de desarrollo disminuyendo el ciclo de destrucción de los recursos naturales (Urrego y Guzmán, 2021, p. 21).

Los productores están priorizando en prácticas que no solo benefician el medio ambiente, sino que también tienen implicaciones económicas positivas, como se evidencia en la figura 24, donde la encuesta demuestra que prácticas sostenibles se han implementado por parte de los piscicultores. Es importante reconocer que en este caso los encuestados pudieron plasmar todas las prácticas implementadas, no solo una. Desde la misma línea, estas prácticas se pueden ampliar con la implementación de otros sistemas de producción encaminados a mejorar objetivamente la alimentación natural y reducir los costos alimenticios para la producción, como lo es el sistema de producción con Biofloc que puede llegar a reducir el 30% del costo alimenticio comparado con los sistemas convencionales (Khanjani et al., 2023, p. 9).

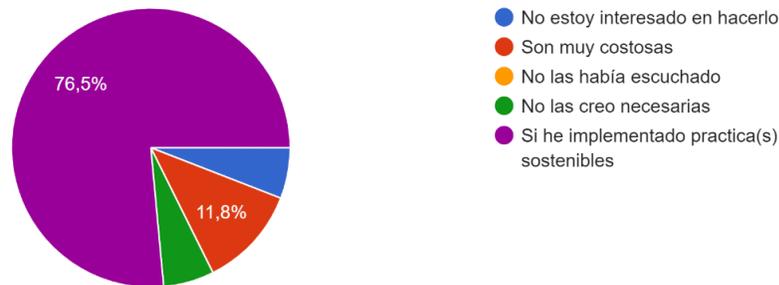
Figura 24*Prácticas sostenibles implementadas*

Nota. La figura muestra las prácticas sostenibles que implementan los piscicultores pauneses. Fuente: Elaborada con datos recolectados en encuesta a productores piscícolas de Pauna.

En este sentido, entender las razones detrás de la no implementación de estas prácticas es crucial para identificar barreras y facilitar el avance hacia una industria más sostenible, de ahí se busca obtener información valiosa sobre las razones que algunos productores piscícolas en Pauna, Boyacá, puedan tener para no aplicarlas en sus cultivos.

Sus respuestas permitirán una visión más completa de los desafíos y preocupaciones que podrían estar enfrentando, entonces, con la información proporcionada y según las respuestas obtenidas y evidenciadas en la figura 25, la mayoría de los productores piscícolas en Pauna, Boyacá, han implementado prácticas sostenibles en sus cultivos. Pero, aunque la mayoría han implementado estas prácticas, hay algunos que aún no lo han hecho y para aquellos que aún no la han implementado se encuentra que la razón principal es porque las consideran muy costosas.

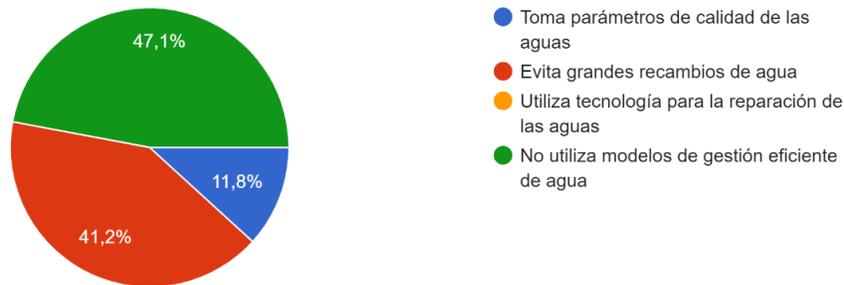
Teniendo en cuenta que hay una diversidad en las respuestas obtenidas, se puede generalizar el interés y el compromiso de los productores para emprender caminos de sostenibilidad con sus modelos de negocio.

Figura 25*Razones de la no implementación de prácticas sostenibles*

Nota. En la figura se evidencian las razones por las cuales los piscicultores pauneses no han implementado este tipo de prácticas sostenibles. Fuente: Elaborada con datos recolectados en encuesta a productores piscícolas de Pauna.

Como el tema ambiental es tan relevante y tan aplicable para la investigación en curso, en este segmento se toma en cuenta la gestión eficiente del agua, siendo este un factor indispensable en la actividad física y que ayuda a aumentar los índices de sostenibilidad en las organizaciones. También se debe señalar que con el cambio climático se genera una disminución generalizada en los ecosistemas de aguas dulces, por ello se busca la utilización de modelos de producción distintos que favorezcan el medioambiente (Núñez y Ayazo, 2023, p. 27).

Al realizar la encuesta a los productores de Pauna, se encontró que el 47,1% de los productores (Figura 26) no utilizan modelos de gestión eficientes para el manejo del recurso hídrico. Esto afecta drásticamente al sector dentro de la región; sin embargo, existe un 41,2% de los productores de la población en estudio, los cuales indican evitar grandes recambios de agua durante su ciclo de producción, favoreciendo la reducción de gasto hídrico y mejorando el impacto ambiental.

Figura 26*Gestión del recurso hídrico*

Nota. La figura muestra cómo gestionan los recursos hídricos los piscicultores en Pauna. Fuente: Elaborada con datos recolectados en encuesta a productores piscícolas de Pauna.

Teniendo en cuenta que en Colombia los sistemas de producción tradicionales contribuyen con la contaminación ambiental, adicionalmente son poco eficientes en la productividad, la contaminación señalada se enfoca mayormente en los afluentes hídricos, y una de las razones más fuertes es la concentración de materia orgánica que lleva consigo una disminución de la calidad del agua, junto con procesos de eutroficación (González, 2017, p. 151). Asimismo, esto provoca que se bajen los niveles de oxígeno en el agua, lo cual afecta el estado de crecimiento de los peces e intensifica los niveles de estrés, incluso induce a una elevación en los niveles de nitrito, colocándolos sobre las 0.75 ppm, niveles que estresa a los organismos acuáticos, y con la gravedad del asunto pueden volverse tóxicos con niveles por encima de las 5 ppm. Por otro parte, el nitrato también juega un papel fundamental, ya que, si sus niveles se elevan por encima de las 80 ppm, intoxican las aguas, siendo estas el hábitat de los peces, dañando las producciones y superando los parámetros normales de la naturaleza (Hernández et al., 2019, p. 73).

Es por ello, que con las regulaciones que se tienen por parte de las entidades competentes para hacer uso apropiado de las fuentes de recursos renovables como el agua, ha surgido un sistema eficiente que respeta la normativa y colabora con el aumento de producción acuícola nacional. De esta forma, se presenta el Sistema Biofloc como una alternativa amigable con el medio ambiente, y que a la par favorece a los productores piscícolas para tener producciones más sostenibles.

Debido a estos problemas que han sobresaltado en el ámbito piscícola, se dieron una serie de reglamentaciones legislativas que regulan esta actividad en lo que respecta a los cuidados que

se deben tener con la sostenibilidad y la biodiversidad de los entornos de este renglón productivo. Dentro de estas reglamentaciones, la Ley 13 del 15 de enero de 1990, mediante la cual se dicta el estatuto general de pesca, y junto con el Decreto 2667 de 2012, mediante el cual el Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible reglamenta la tasa retributiva por la utilización directa e indirecta del agua como receptor de los vertimientos puntuales, y específicamente en el artículo 7 señala que si se sobrepasa el límite de vertimientos se colocarán sanciones a los infractores de este acto particular, también indica que existen elementos, sustancias y parámetros contaminantes a los cuales se les colocará una tasa impositiva (Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2012; Congreso de la República de Colombia, 1990).

Desde esta misma línea legal, la ley 99 de 1993, emitida por el Congreso de la República de Colombia, por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, dando relevancia a la conservación del medio ambiente, los recursos naturales renovables, y señalando que los ambientes naturales deben ser protegidos primordialmente con un aprovechamiento sostenible, para mantener la biodiversidad del país (Congreso de la República de Colombia, 1993).

Por otro lado, el Decreto de 1895 de 2013, en su artículo 18, señala algunas funciones de la Dirección de cadenas pecuarias, pesqueras y acuícolas donde especifican el fortalecimiento de políticas para la producción y la inserción en los mercados internacionales de estos productos con valor agregado. Además, en otros artículos como el 3, el 4, el 6, el 16, el 19 y el 20 del mismo decreto, indican la importancia de implementar y desarrollar programas de innovación tecnológica para el sector agropecuario donde se encierra la piscicultura (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2013).

Debido a estas regulaciones aplicables a la producción piscícola, que pueden llegar a afectar a los productores del municipio de Pauna Boyacá, y en apoyo a las políticas de cuidado del medio ambiente y las directrices emitidas donde se incita a fomentar y fortalecer la producción acuícola con desarrollo e implementación de programas de innovación tecnológica, se da la necesidad de establecer en el municipio tecnologías o sistemas de producción piscícola innovadores que tengan características de viabilidad económica, social y ambiental, que al ser introducidos ayuden a minimizar problemas que se pueden presentar al aumentar la cantidad de producción.

Frente a estos retos que se presentan, en el municipio surge el sistema Biofloc que reúne las características anteriormente nombradas, mejorando la eficiencia en los cultivos piscícolas y a

su vez generando un apoyo a la sostenibilidad orientada a lo natural, pero sin dejar de lado la capacidad de impactar de forma positiva los aspectos sociales y económicos.

Además, la piscicultura a nivel nacional ha presentado un crecimiento muy avanzado que mejora los indicadores agropecuarios de producción en el país. Dado esto, Hernández et al. (2019) recomiendan la implementación de los sistemas Biofloc para continuar con el crecimiento de la producción piscícola colombiana, potencializando el país como un desarrollador agrícola que sostenga la seguridad alimentaria con productos de calidad y sostenibilidad para marcar competencias en mercados nacionales e internacionales (p. 72).

A pesar de ser esta una tecnología innovadora que ya se ha implementado en otras zonas del país, aun en el municipio de Pauna no ha sido estudiada en profundidad para su implementación teniendo en cuenta que para esto se necesitan algunas condiciones técnicas necesarias, estas pueden ya existir en el municipio o en dado caso es necesario señalar el posible camino para la adaptación de estas condiciones en pro de la implementación exitosa del sistema Biofloc para poder obtener resultados favorables en las características beneficiosas que presenta, de forma que se encamine el sector piscícola al crecimiento aportando representativamente en la producción departamental en miras de obtener productos piscícolas con las condiciones de calidad y cantidad necesarias para poder incursionar en el mercado nacional e internacional.

Desde este enfoque se examinan las capacidades que tiene el municipio de Pauna Boyacá, para implementar el Sistema Biofloc, así como las características específicas que demanda el sistema para su implementación. A continuación, se hará un detallado con explicación señalando con cuáles medidas técnicas cuenta el municipio y cuáles deben ser adecuadas para tener un correcto funcionamiento del sistema Biofloc.

De primera mano, es necesario apuntar que, aunque el sistema de Biofloc permite incrementar considerablemente la densidad de biomasa por metro cúbico, es importante que se mantengan los límites y no se superen los 100 peces por metro cúbico. Según lo que señalan Silveira et al. (2022), la densidad a la cual se siembra la biomasa en el sistema Biofloc afecta parámetros productivos como el peso final y la supervivencia de los peces.

Además, la densidad a la cual se siembran los alevines en los estanques tiene una estrecha relación con la alimentación, porque si el sistema se siembra con densidades bajas, los peces se podrían mantener exclusivamente con el alimento que se produce mediante el Biofloc, sin embargo, para obtener mejores producciones orientadas a la rentabilidad, es necesario implementar

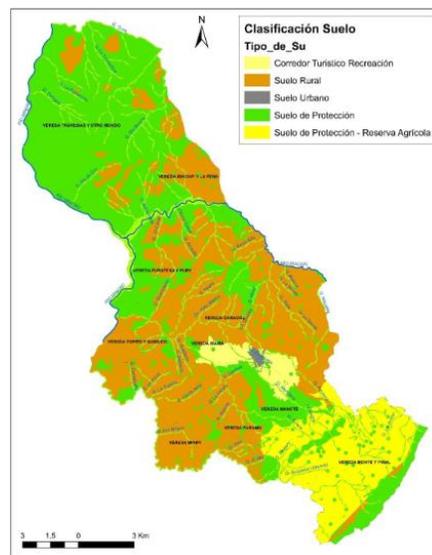
alimentos balanceados con densidades más altas de siembra en los estanques (Mansour et al., 2022, p. 5).

Terreno

Ahora bien, la primera de las condiciones técnicas necesarias para la producción mediante Biofloc es la capacidad de tener acceso a un terreno suficiente según el tipo de producción que se desee hacer. Como primera medida, Pauna, según el plan de ordenamiento territorial, cuenta con terrenos suficientes; siendo un municipio que actúa como punto de conexión entre el Altiplano Cundiboyacense y el Magdalena Medio de Colombia, se consolidará como un área de desarrollo rural robustecida. Esto se debe a que tiene la capacidad de fomentar la explotación agropecuaria intensiva, permitiendo una producción sostenible y autosuficiente (Consejo Municipal de Pauna, 2015, p. 18).

Figura 27

Clasificación del suelo de Pauna



Nota. La figura evidencia cuáles son las actividades que se pueden desarrollar en el territorio físico de Pauna. Fuente: Consejo Municipal de Pauna (2015, 10 de julio). Por el cual se adopta la revisión y ajuste del esquema de ordenamiento territorial del municipio de Pauna. [Acuerdo No. 09 <http://190.90.95.148:8082/index.php/s/4FtR2NoHmJysJxo#pdfviewer>].

Figura 28*Cantidad de terreno*

CLASES DE SUELO		AREA (Has)	TOTAL
URBANO	Resto Urbano	48,61	57,77
	Suelo de Protección	9,15	
RURAL	Resto Rural	10298,81	25.085,81
	Suelo de Protección	14786,99	
TOTAL			25.143,58

Nota. La figura muestra la cantidad de terreno que se puede utilizar para hacer las implementaciones del sistema Biofloc. Fuente: Consejo Municipal de Pauna (2015, 10 de julio). Por el cual se adopta la revisión y ajuste del esquema de ordenamiento territorial del municipio de Pauna. [Acuerdo No. 09 <http://190.90.95.148:8082/index.php/s/4FtR2NoHmJysJxo#pdfviewer>].

Como se puede apreciar en las figuras 27 y 28 Pauna cuenta con una amplia área Rural en la cual se permite toda clase de producción intensiva incluyendo la piscicultura, con aproximadamente 10.298,81 hectáreas, esto teniendo en cuenta que en el anterior plan de ordenamiento territorial se contaban con más de 25 mil hectáreas para la producción rural, esta disminución se presenta, ya que el objetivo principal del último POT del municipio es la protección ambiental, y por ello, se enfoca en la protección de territorios o áreas verdes, y esto iría de la mano con la producción mediante Biofloc, porque, apoya el desarrollo industrial en terrenos más pequeños que los utilizados normalmente para la producción con sistemas tradicionales, además el sistema esta focalizado en la producción piscícola dando relevancia a la protección del medio ambiente (Consejo Municipal de Pauna, 2015, p. 20).

Vías de conexión en el municipio

Desde este ámbito, es importante resaltar que en Pauna se ha venido trabajando en el desarrollo de una malla vial fuerte que permita interconexión entre las 28 veredas del municipio de Pauna. Dentro del mismo esquema de ordenamiento territorial, se sustenta esto como una

necesidad, contando que los sistemas de producción piscícolas se establecen normalmente en zonas alejadas de lo urbano; se tienen vías interveredales de 6,5 metros de ancho que permiten una comunicación continua de las zonas rurales con el casco urbano (Consejo Municipal de Pauna, 2015, p. 25).

Agua

Indiscutiblemente, este es uno de los recursos técnicos más importantes para la producción piscícola, y dado esto se encuentra que el POT de Pauna señala que existe un alto potencial para la producción piscícola gracias a la presencia de recursos hídricos y terrenos apropiados para dicho fin, pero igualmente dice que las técnicas actuales de producción son mal utilizadas e incrementan los costos del producto final, al igual que el tiempo para obtener peces con pesos adecuados para comercializarlo.

Para tener mayor claridad sobre la disponibilidad de aguas del municipio de Pauna, se tiene una red hidrográfica donde se destacan los más importantes cursos de agua en la zona, caracterizados por su caudal, longitud y estructuras de paso, incluyen el Río Minero y el Ibacapí, así como las quebradas Manotera, Paunera, Piache y Guayabal, que han esculpido cañones de forma suave en el terreno. La red hidrográfica del área es de gran importancia, ya que forma parte de la cuenca alta del río Minero, que atraviesa el área de oeste a norte y recibe numerosos afluentes y quebradas originados en la parte alta del municipio de Pauna. Entre estos cursos de agua se encuentran el río Ibacapí, que atraviesa el municipio de este a oeste, y las quebradas Guas, Tortuga, Guayacan, Trementona, Agua Fría, río de oro, río Bamba, Sabaleña, el Chamizo, el Loro, Amarilla, Aguita, la Honda, Hacomay, Paunera, Manotera, Tunera, Piache, Minera, la Bizca, Guayabalito, Toberia y Carmiazeña. Además de estos afluentes de agua que atraviesan el municipio, también se cuenta con yacimientos de agua que abastecen en gran medida las zonas rurales. Además, existen largas extensiones de acueductos para algunas zonas que no tienen total disponibilidad de agua. Esto posiciona al municipio como un punto clave con capacidades hídricas para afrontar grandes proyectos como la implementación de sistemas Biofloc para la producción piscícola (Consejo Municipal para la Gestión de Riesgos de Desastres, 2012, p. 8).

Temperaturas

Pauna cuenta con una variedad de climas clasificados por el Consejo Municipal para la gestión de riesgos de desastres (2012), en 4 climas, como se presentan en la figura 29 (p. 8).

Figura 29

Tipos de clima en Pauna

TIPO DE CLIMA	ALTITUD	LOCALIZACIÓN VEREDAL
Cálido húmedo	200 - 1000	Topo Grande, Topito y Quibuco, Furatena y Fury, Capez y Chorrera, Pistoraque y Santa Rosa, Travesías y Otros Mundos, Piachi y Apicha, Miabe Ibama, Moral y loma Alta, Quebrada Seca
Templado húmedo	1000 - 2000	Travesías y otros Mundos, Capez y Chorrera, Carare, Tune y Guamal, Piachi y Apicha, Honda y Volcán, Manote, Piedra Gorda, Pueblo Viejo, Boquipi, Moral y Loma Alta, Páramo, La Esperanza.
Frio	2000 - 2900	Monte y Pinal, Llano Grande, Manote
Subparamo	2900 -	Monte y Pinal

Nota. La figura muestra los tipos de clima que existen en el municipio de Pauna.

Fuente: Consejo Municipal para la Gestión de Riesgos de Desastres. (2012, octubre). Estrategia de respuesta a emergencias. Pauna Boyacá octubre de 2012. Unidad Nacional de Gestión del Riesgo. <http://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co/handle/20.500.11762/411?mode=full>

Como se puede ver en la figura 29, en el primer clima hay un total de 12 veredas que comprende las principales veredas cálidas ideales para la implementación del sistema Biofloc, ya que presentan temperaturas favorables para la producción de tilapia; sin embargo, las veredas que cuentan con clima templado también son prospectos ideales para la implementación del sistema, ya que la tilapia es tolerante a temperaturas entre los 12 C° a 36 C° (Salas, 2023), y en los 2 primeros climas no se llegan a tocar los extremos para la producción permitiendo temperaturas normales que ayudan a un crecimiento adecuado de los peces; y de forma geográfica se tienen temperaturas de condiciones favorables para la producción piscícola en 22 de las 28 veredas del municipio.

Energía eléctrica

La información más actualizada verídica que se tiene sobre Pauna de la disponibilidad de energía eléctrica, se tiene con el censo nacional general de 2005, donde se encuentra que el 75,8% de los hogares cuentan con energía eléctrica, y contando con que la EBSA ha desarrollado grandes labores en el occidente de Boyacá para generar la posibilidad de cubrir todas las zonas del municipio con energía eléctrica, entonces después de 19 años del censo, hay una alta probabilidad de tener disponibilidad eléctrica para la implementación del sistema Biofloc en la mayor parte de las zonas del municipio. Dentro de este factor es importante resaltar que, de acuerdo con la entrevista desarrollada a un productor piscícola de la zona, señala que debido a que la electricidad a las zonas rurales llega en modalidad monofásica, el gasto económico en pagos de energía es más alto que si se consume en energía bifásica o trifásica, y que para hacer ese cambio es necesario hacer solicitud con la empresa de energía EBSA para poder reducir costos en este rubro, ya que es necesario para que funcionen los motores que oxigenen el agua de los estanques.

Mano de obra

Para cualquier actividad empresarial es necesario la mano de obra y para la implementación de sistemas Biofloc es necesario tener personal para el control de la producción, es por esto que se acude a dar una revisión detallada de la distribución poblacional del municipio de Pauna Boyacá, donde se encuentra que el municipio cuenta con una buena capacidad de mano de obra, puesto que la población se encuentra en proporción del 52% con edades entre los 15 a 54 años como se aprecia en la figura 30, lo cual constituye una oportunidad para el crecimiento del municipio en aspectos económicos y esto atribuye a la posibilidad de adquirir mano de obra proveniente del municipio, para implementar el sistema Biofloc, aportando a la contribución social y generando beneficios internos y sociales desde el mismo municipio.

Figura 30*Distribución de la población paunense*

GRUPOS ESPECÍFICOS(PPS)	FEMENINO	MASCULINO	TOTAL
0-Fuera de cobertura de PS	1.329	1.463	2.792
1-P. Infancia	277	341	618
2-Infancia	622	691	1.313
3-Adol y Juventud	696	824	1.520
4-Adulto Mayor	611	618	1.229
Total	3.535	3.937	7.472

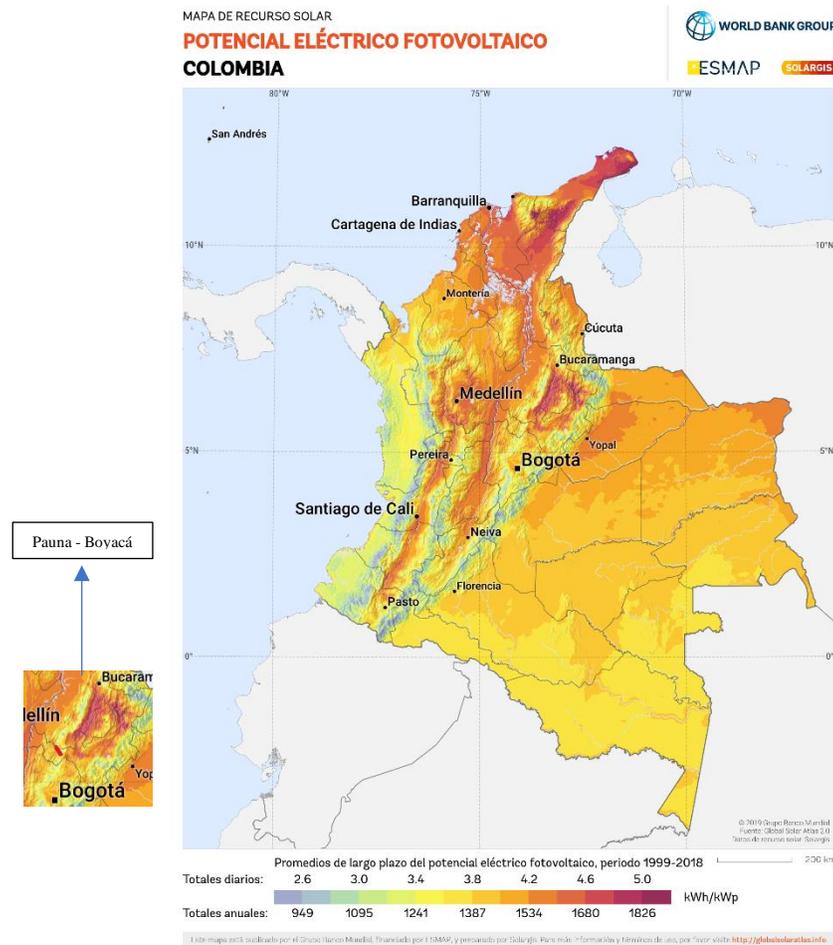
Nota. La figura evidencia cómo está distribuida la población, según la edad, en Pauna.

Fuente: Consejo Municipal para la Gestión de Riesgos de Desastres. (2012, octubre). Estrategia de respuesta a emergencias. Pauna Boyacá octubre de 2012. Unidad Nacional de Gestión del Riesgo. <http://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co/handle/20.500.11762/411?mode=full>

Energía solar

Aunque el sistema Biofloc puede funcionar sin necesidad de implementar energía solar, para contribuir en mayor medida con el impacto medioambiental y hacer del sector productivo un sistema que tenga la capacidad de aislarse de las energías no renovables para aumentar su impacto positivo tanto social como ambientalmente, entonces se examina la capacidad del municipio al implementar energía solar renovable.

Con este objetivo, se buscó en Solargis el potencial de electricidad fotovoltaica para el país y enfocando la búsqueda por regiones, se puede reconocer que Pauna se encuentra dentro de los estándares para una correcta producción fotovoltaica y con ello para la implementación de paneles solares que permitan apoyar la producción piscícola mediante el sistema Biofloc.

Figura 31*Potencial eléctrico fotovoltaico*

Nota. La figura evidencia la energía eléctrica que produce Colombia según las zonas geográficas.

Fuente: Solargis. (2024). Mapas de recursos solares de Colombia. <https://solargis.com/es/maps-and-gis-data/download/colombia>

Como se puede apreciar en la figura 31, Colombia cuenta con una gran cantidad de potencial fotovoltaico eléctrico, sobre todo en el departamento de la Guajira. Sin embargo, Pauna tiene una ubicación ideal que le permite tener entre 4 y 4.5 kwh/kwp de producción fotovoltaica por día, esto es necesario para que al instalar los sistemas fotovoltaicos se puedan hacer cálculos correctos para la cantidad de paneles solares o el tipo de sistema solar suficiente para el funcionamiento que se desea sobre el consumo energético del sistema Biofloc.

Carbono para la adición en el sistema

El sistema Biofloc tiene una particularidad y es que para su correcto funcionamiento y generación de biofloculos, que son formaciones de partículas y microorganismos unidos mediante sustancias poliméricas extracelulares, para que estas formaciones se lleven a cabo dentro de los cuerpos de agua se dan unos procesos físicos, químicos, y biológicos, que requieren de fuentes de carbono como nutrientes disponibles, entonces estos son los primeros en disminuirse y al quedar en un porcentaje de nulidad se pausa el proceso de creación de biofloculos, ya que el carbono no es producido por el mismo sistema. Por ello, es necesario suministrarlo al Biofloc, según Bagi et al. (2023), para que tenga éxito el sistema, es necesario que exista una maduración de las sustancias, donde primero hay una acumulación de amonio y nitrato, los cuales junto con el carbono comienzan el proceso de maduración para la producción de comunidades bacterianas que son el alimento de los peces en el sistema (Llario et al., 2019, p. 12).

Ahora, dado el proceso, se buscó una fuente de carbono que fuera accesible y económica que diera ventaja al municipio de Pauna en la producción de tilapia con sistema Biofloc. Luego de la búsqueda, se encontró que existe un tratamiento utilizando como fuente de carbono la melaza, que es un producto derivado de la caña de azúcar, y según Garcés (2024), el tratamiento con melaza tiene una alta eficacia en el control de nitritos y nitratos ayudando al sistema de Biofloc con la producción de biofloculos de forma rápida (p. 44).

La caña de azúcar, producto del cual se deriva la melaza, fuente de carbono para el sistema Biofloc, es un producto muy sembrado y cosechado en el departamento de Boyacá, en donde se encuentra Pauna y los municipios aledaños como Otanche, San Pablo de Borbur, Maripi, entre otros, lo que facilita el acceso de fuente de carbono a la producción piscícola en Pauna, disminuyendo precios de transporte y disponibilidad del elemento necesario (Red de Observatorios Boyacá, 2022, p. 17).

Sistemas de recirculación y aireación

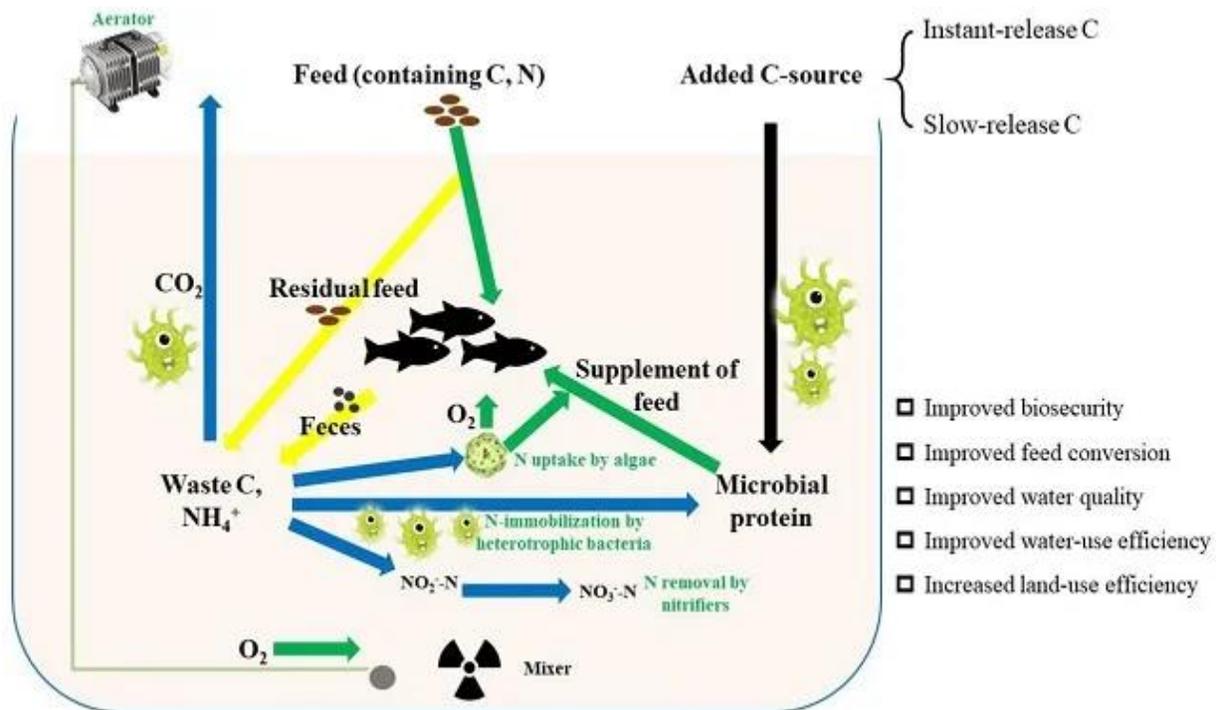
Uno de los factores más relevantes para el funcionamiento del sistema Biofloc es la oxigenación que se suministre a los peces durante el proceso de crecimiento. Para esto, existen

varios métodos o herramientas de las cuales se pueden valer los productores piscícolas para tener un buen funcionamiento del sistema.

En la siguiente figura se muestra el proceso del sistema Biofloc, evidenciando ilustrativamente cómo se articulan los componentes en el sistema y cómo participan formando un engranaje completo.

Figura 32

Funcionamiento del sistema Biofloc



Nota. La figura muestra el funcionamiento del sistema Biofloc, con la especificación de los recursos que se le adicionan y la integración entre los mismos. Fuente: Li, C., Zhang, X., Chen, Y., Zhang, S., Dai, L., Zhu, W., Chen, Y. (2023). Optimized Utilization of Organic Carbon in Aquaculture Biofloc Systems: A Review. *Fishes*, 8, (465), 1-14. <https://doi.org/10.3390/fishes8090465>

La oxigenación se caracteriza por ser un proceso mediante el cual se adiciona aire a las aguas de los estanques en los cuales se encuentran los peces, donde se busca principalmente aumentar los niveles de oxígeno disuelto en el agua favoreciendo los procesos de cría de los Bioflocs, ya que, por un lado, los peces realizan un consumo fuerte de oxígeno, y también las bacterias presentes en el sistema Biofloc necesitan tener oxígeno para su evolución y reproducción,

entonces son dos mundos de organismos consumiendo oxígeno de la misma fuente, por lo tanto, se necesita adecuados niveles de entrada de aire al agua que ayude a mantener el oxígeno en niveles idóneos para el crecimiento de los peces, además es importante tener en cuenta que para realizar esta aireación artificial se necesitan equipos que tengan una buena relación entre consumo de energía y cantidad de oxígeno entregado al sistema, para esto después de hacer una búsqueda exhaustiva que compare los diferentes tipos de motores que permitan hacer esta oxigenación, se encuentra que entre el Aireador de bomba vertical (Splash), aireador de paletas, bomba de aspiración de hélice (Turbina) y aireador de soplador (Blower), el más eficiente en el Sistema Biofloc es el Aireador de bomba vertical (Splash), ya que, puede llegar a tener niveles de saturación de Oxígeno del 67.6% contando con que la saturación ideal debe estar por encima del 60% (Hernández et al., 2019, p. 82).

De esta forma, al conocer qué tipo de equipos son una buena opción para la producción piscícola mediante sistema Biofloc, y haciendo un comparativo con lo que puede poseer los productores del municipio, se puede ver que al contar con características energéticas en la mayoría de las poblaciones del municipio, es de fácil acceso la compra de los equipos para la posterior instalación, por lo tanto, se puede decir es que este factor determinante del proyecto que es la oxigenación de las aguas de los peces, no es un impedimento para la producción piscícola Paunense, porque es un factor de fácil adaptación mediante la compra, al igual que otros equipos importantes para la toma de medidas de condiciones del agua como lo son el oxímetro, el Kit multiparamétrico que son elementos esenciales que permiten tener un control diario de la producción, y para este aspecto de compras y control hay dos temas importantes que se deben tener en cuenta, el primero de ellos es el conocimiento de los productores que puede ser experimental o de capacitación / Formación y el segundo aspecto importante es el financiamiento de los productores para la implementación de los proyectos piscícolas.

Capacitación y formación

Cuando se habla de capacitaciones y formaciones en el entorno de la piscicultura, se refiere, principalmente, a modelos educativos de diferentes durabilidades. Estos modelos de capacitación pueden ir dirigidos a diferentes aspectos de las crías de tilapia, o simplemente se pueden brindar de forma general; sin importar cuál sea la modalidad o la duración, estas capacitaciones y

formaciones van dirigidas principalmente a los productores piscícolas. Esto es de gran importancia para que se conozcan los avances que han tenido las nuevas tecnologías en el sector, además se centran en fundamentar y explicar algunos procesos de calidad que puede ser posible desarrollar en las producciones ya existentes en el municipio.

Incluso cuando se dan a conocer de forma numérica los resultados generales de este tipo de proyectos, se fomenta la motivación de los productores, al ver que el sector puede tener fuertes ganancias económicas. De la misma forma, las capacitaciones sirven para mejorar los procesos productivos y prevenir enfermedades riesgosas que puedan llevar consigo pérdidas para los productores, ya que un manejo sin experiencia es una de las posibles causas de las deserciones tempranas de los proyectos (Terán y Ruales, 2019, p. 40) Es por ello que se denota la necesidad de tener formación y más para la implementación de sistemas más complejos como lo es el sistema Biofloc, que requiere de un conocimiento básico acompañado de la experiencia que se va adquiriendo con el tiempo dentro de la misma ejecución.

Ahora teniendo en cuenta la importancia que demanda la capacitación y formación a los piscicultores del municipio de Pauna, para hacer una correcta implementación del sistema Biofloc, la investigación se lleva directamente a los piscicultores para encontrar información de primera mano, si había o no recibido este tipo de formaciones, a lo que un 64.7% afirma que si ha recibido capacitaciones en el tema de piscicultura como se evidencia en la figura 22, esto es una cifra alentadora y amplia en gran medida las posibilidades de implementación de sistemas Biofloc en el municipio, de esta forma, se puede ver que los productores tienen una tendencia de capacitarse y conocen la importancia de la formación para los proyectos piscícolas, en esta misma línea se puede resaltar que existen programas tanto virtuales como presenciales que ofrece el Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA) a la población de forma gratuita, y para el área de la piscicultura se ofrecen mucho material educativo que permite a los productores de este sector ahorrar dinero y mantenerse informados constantemente, también es importante recalcar que hay otra infinidad de cursos mediante video a los cuales pueden acceder desde la internet, enriqueciendo los proyectos con conocimiento y brindando acceso a cualquier productor del municipio de Pauna.

Programas de financiamiento

Por la línea del financiamiento o formas de inversión para los proyectos, se reconoce que es fundamental tener un cierto músculo financiero que soporte varios costos, sobre todo en las primeras etapas de los proyectos, ya que se necesita hacer una adecuada inversión en infraestructura debido a que el sistema de Biofloc requiere la construcción de estanques, sistemas de recirculación de agua, equipos de oxigenación y control ambiental, entre otros. Para la compra de estos equipos y la instalación de las infraestructuras se necesita una inversión inicial representativa para financiar, bien sea de forma pública o privada. Entonces, al tener el financiamiento suficiente, los proyectos pueden comenzar su expansión y apuntar también a mejorar su producción por escalas, reduciendo costos y aprovechando el ingreso al mercado más amplio gracias a la ampliación de la capacidad productiva de las granjas.

Dentro del sistema de financiamiento se tienen varias fuentes, de las cuales se resaltan los créditos bancarios. Esta fuente de apalancamiento requiere de un estudio o documentación previo para la aprobación del crédito y comprende también el pago directo de un monto referente al interés del dinero que se presta para el desarrollo del proyecto. Este crédito bancario puede ser a largo o a corto plazo, y en la mayoría de ocasiones es necesario colocar un garante o una prenda en garantía.

Ahora, haciendo el análisis desde el punto de vista bancario, Pauna tiene la ventaja de contar con una sucursal del Banco Agrario de Colombia el cual se enfoca en beneficiar a los agricultores y para el caso específico los piscicultores, que además de brindarles la posibilidad de tener una fuente de financiamiento cercano, también les provee de una línea de crédito especial que permite financiar el desarrollo de actividades del sector rural con tasas de interés mucho más bajas que las del mercado normal (Díaz, 2019, p. 33), Además este beneficio es otorgado por parte del banco y con acompañamiento de la tasa subsidiada que ofrece el gobierno para este tipo de proyectos lo que promete una mayor durabilidad de la los beneficios para los piscicultores (Fondo para el Financiamiento del Sector Agropecuario, 2021, p. 6).

Por otro lado, se tiene una modalidad de financiamiento a la cual también pueden tener acceso los productores de Pauna y son los programas de Fondo Emprender que apoyan a pequeños y medianos productores, mediante el financiamiento de proyectos con montos que van desde los 100 millones de pesos colombianos, además este programa tiene varias ventajas entre las cuales

están el apoyo sin cobro de tasas de interés, igualmente cumpliendo criterios que coloca el estado, estos proyectos se les condona esa deuda para impulsar el desarrollo empresarial, incluso durante un tiempo se les brinda apoyo en cuanto a programas de capacitación en cada uno de los procesos necesarios para la empresa, de tal forma que los proyectos tengan una alta probabilidad de crecimiento y sostenibilidad en el mercado (Farfán y García, 2024, p. 14).

Poniendo entre dicho las ventajas de financiamiento con las que cuentan los productores piscícolas en el municipio de Pauna, es importante nombrar que, según la información encontrada por la encuesta realizada a los productores piscícolas de Pauna, estos en su mayoría llevan a cabo los proyectos con capital propio. De esto se puede concluir que cuentan con una capacidad monetaria para enfrentar proyectos piscícolas, pero necesitan formación en temas financieros para que puedan generar una expansión en los proyectos mediante sistemas de financiamiento.

Factores técnicos adicionales

Dentro del mismo aspecto de factores técnicos requeridos para desarrollar la producción piscícola, utilizando el sistema Biofloc se necesitan estanques elaborados, bien sea con mallas electro soldadas para colocarlos sobre el nivel del terreno, o también con estructuras australianas que permiten la misma funcionalidad. Por otro lado, para ahorrar costos se pueden hacer estanques en tierra o en pozos recubiertos con material no filtrante, para lo cual se recomienda la geomembrana, esto con el propósito de mantener el agua durante periodos extensos con un material de alta durabilidad previniendo gastos constantes por parte de los piscicultores, además de que sus componentes permiten desarrollar las producciones sin afectar la calidad del agua de los peces. (González y Giraldo, 2023, p. 19).

Asimismo, para lograr producciones exitosas mediante el sistema Biofloc es necesario adquirir semilla de alevines de calidad, para estas semillas se deben buscar proveedores con certificaciones dadas por la AUNAP (Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca) o por el ICA (Instituto Colombiano Agropecuario). De esta forma, al sembrar semilla de calidad se pueden tener producciones con buen crecimiento, homogéneas y junto con ello se previene el ingreso de infecciones o enfermedades a las granjas, puesto que se conoce el origen y la certificación de la semilla de alevines (Delgado, 2022, p. 25).

Apoyando este factor anterior, es importante resaltar que dentro de las mismas granjas de producción se pueden tener criaderos con reproductores para favorecer a las empresas de: costos de transporte, costos de mortalidad de los peces durante el viaje; con esto se puede tener certeza del tipo de genética que se siembra en los estanques, y aunque puede representar un ingreso adicional para la empresa, también es necesario un conocimiento específico para el desarrollo de la labor.

Adicionalmente, el municipio de Pauna, para la compra de alevines, cuenta con distribuidores intermediarios que llevan los alevines hasta el casco urbano del municipio, o se puede hacer contacto directo con granjas certificadas de producción que también realizan transporte de alevines hasta el municipio. Estas en su mayoría se encuentran localizadas en las zonas especializadas en producción piscícola como el Llano o el Huila.

Condiciones técnicas para el agua de los peces

Dentro de las condiciones necesarias que debe tener el agua para un sano desarrollo y rápido crecimiento de la tilapia, se necesita, por una parte, suficiente oxígeno disuelto en el agua. Esta es una medida crucial e indispensable para la supervivencia de cada uno de los microorganismos presentes en el sistema, tanto peces como bacterias; para la medida de este oxígeno disuelto se debe tener una relación de cinco partes por millón (5 ppm) equivalente a 2-3 (mg/l), y cuando los niveles de oxígeno son demasiado bajos en mediciones por debajo de las 2 ppm y estos se extienden por un período prolongado mayor a 2 horas, el metabolismo de los peces disminuye su funcionalidad dificultando el crecimiento y en algunos casos presentando muertes masivas. (Balaguera y Guerrero, 2022, p. 16).

Por otro lado, el pH del agua también es una medida importante, ya que determina qué tan ácida o alcalina es el agua en la cual se encuentran los peces. Está principalmente dada por la cantidad de concentración de iones de hidrógeno presentes y para la medición existe una escala logarítmica que varía entre 0 pH hasta 14 pH. Entonces, un adecuado crecimiento de la tilapia se da cuando hay en promedio 5 pH en el agua, pero las tilapias por animales tolerantes a los cambios pueden mantenerse en ambientes mucho más ácidos, pero si supera los 11 pH ya se convierte el agua en un ambiente tóxico y no tolerante (Balaguera y Guerrero, 2022, p. 16).

Continuando con la descripción técnica necesaria para el correcto desarrollo de la tilapia en el sistema Biofloc, se tiene en cuenta el amonio que es una medida que alerta mucho a los productores piscícolas. Primero se debe resaltar que a altas temperaturas tiende a ser más tóxico, hablando de altas temperaturas por encima de los 30C°. Otra razón del aumento de la toxicidad del amoniaco es cuando se disminuye el oxígeno disuelto en el agua, lo que provoca disminución en el crecimiento de los peces, y en el caso de aumentar demasiado el nivel de amoniaco, se pueden llegar a presentar muerte de tilapias en los estanques (Balaguera y Guerrero, 2022, p. 16).

Otros dos elementos que por la composición literaria de sus palabras parecen similares, pero realmente difieren mucho y además son de especial cuidado en la piscicultura, son los nitritos y los nitratos; los nitritos deben tener para la producción de tilapia niveles entre los 0 y 0.1 mg/L, estos nitritos se producen con la oxidación del amoniaco, y su efecto en altos niveles es la disminución de la habilidad para procesar el oxígeno en los peces, impactando directamente en la sangre de los animales, lo que conlleva producir anemia crónica, y con ello disminución del crecimiento.

Ahora, los nitratos comprenden una sustancia muy poco tóxica para los peces que puede ser soportada en altas cantidades por las tilapias, sin embargo, para tener un adecuado desarrollo de estos peces, se considera que los nitratos no superen las 50 partes por millón, minimizando el impacto negativo y mejorando la producción de algas y microalgas que tienen la posibilidad de transformar esta sustancia dentro del sistema (Rueda, 2023, p. 4).

Sólidos disueltos totales

Los sólidos disueltos totales (TDS), por sus siglas en inglés Total Dissolved Solids, consisten en las sales inorgánicas, como calcio, magnesio, potasio, sodio, bicarbonatos, cloruros y sulfatos, junto con trazas de materia orgánica, que se encuentran disueltas en el agua. Estos deben estar en medidas entre los 200 y 400 mg/L para que dentro del sistema exista una producción continua de nutrientes, sin afectar la acumulación de los mismos, ya que estos ingresan al sistema principalmente por las excesivas tasas de alimentación (Rueda, 2023, p. 4).

Elaboración del Biofloc

La elaboración del Biofloc puede tener muchas variabilidades en cuanto al tiempo en el que lo desarrolla, la forma en que se agregan los elementos, incluso el lugar donde se hace la maduración del Biofloc. Sin embargo, en este apartado se citará una técnica usualmente utilizada que facilita al productor y además tiene eficiencia en el proceso. Esta técnica se basa en preparar un tanque con agua natural primaria sin agregados adicionales. Esta agua se prepara tiempo antes de la siembra, a la cual se le añaden sales de amoníaco, pellet pulverizado, bicarbonato sódico y la fuente de carbono que sería la melaza. De esta forma, comienza la creación de bacterias heterótrofas y nitrificantes, a este proceso se le conoce como maduración del cultivo de bacterias, cuando ya se han formado, comienzan a multiplicarse rápidamente, permitiendo la adhesión de algas, materia orgánica y zooplancton, y es así como se forman los bioflóculos que dan paso al sistema de Biofloc, para poder introducir los peces al sistema cuando ya está preparado, lo más recomendable es que se haga este proceso 15 días antes de la siembra de los alevines (Balaguera y Guerrero, 2022, p. 22). Este proceso es para la creación del Biofloc desde cero, con elementos que se pueden conseguir fácilmente en el mercado paunense.

Sin embargo, existen formas de preparar el sistema Biofloc, cuando ya se tienen peces en un estanque, esto debido a que los peces proporcionan al sistema las sustancias que sustituyen el amoníaco, el pellet y el bicarbonato sódico. Para la formación del Biofloc en el sistema donde ya se encuentran los peces solo es necesario agregar la fuente de carbono (Melaza) y así se podrán recrear fácilmente los bioflóculos del sistema.

Alimento

En cuanto a la alimentación de los peces es necesario que se tenga en cuenta una marca con buen porcentaje de proteína dependiendo de la edad de los peces, ya que esta se traducirá en la conversión biomasa / alimento que se utilizará en la producción, también es importante que se tenga unos cronogramas adecuados para la alimentación y al momento de hacer el estudio de mercado cada productor debe tener presente que dependiendo de la marca de concentrado balanceado que se utilice, pueden variar las recomendaciones, tanto de veces de alimentación, como de cantidad empleada en cada comida; finalmente, es significativo nombrar que con la

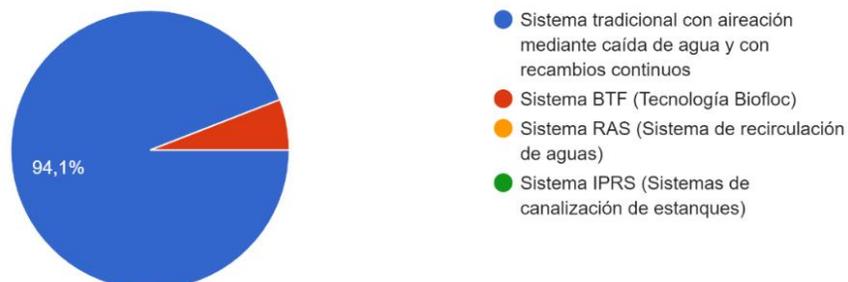
instalación del sistema Biofloc se tendrá una disminución en la alimentación, ya que, el mismo entorno tendrá la capacidad de producir alimento naturalmente para los peces.

Elementos y materiales para la toma de parámetros del sistema

Para tomar los anteriores parámetros señalados es necesario tener equipos con las condiciones que se enunciarán a continuación; para el suministro de alimento, es importante tener una balanza o un elemento homólogo que permite pesar en pequeñas cantidades, también es bueno tener un oxímetro que permita medir la cantidad de oxígeno disuelto en el agua, este puede tener incluida o no la medición de temperatura, por otro lado, se necesita un Kit multiparamétrico que permita identificar claramente la temperatura, el pH, los nitritos, los nitratos y el amonio, además para el sistema Biofloc es importante tener un Cono Sedimentador para medir los Sólidos disueltos en el agua de los peces (Rueda, 2023, p. 10).

Estos elementos son de fácil adquisición para los productores de tilapia del municipio de Pauna, ya que el municipio es un puerto de cruce que conecta los pueblos de occidente de Boyacá con la ciudad de Chiquinquirá, en donde se pueden encontrar con facilidad estos equipos necesarios para la adquisición, o también con ayuda de la globalización, los productores pueden hacer pedidos de forma online, teniendo presente que el municipio cuenta con empresas de distribución Nacional como Servientrega e Interrapidísimo, esto facilita la implementación del sistema de Biofloc porque permite tener amplia accesibilidad a los equipos necesarios para colocar en funcionamiento el sistema mencionado.

En confrontación con lo anterior se puede reconocer que el municipio está haciendo un desperdicio de recursos, ya que según lo evidenciado en las encuestas y como se ve en la figura 32, los sistemas de producción piscícola que se utilizan en el municipio la mayoría son Sistemas tradicionales con aireación mediante caída de agua y con recambios continuos, tan solo 1 productor utiliza el Sistema BTF (Tecnología Biofloc), esto es clave para identificar que el sector está poco desarrollado tecnológicamente reduciendo la productividad, y minimizando la capacidad de crecimiento, además si se utilizarán tecnologías más avanzadas se pudiera impulsar la sostenibilidad ambiental, mejorando la eficiencia en los sistemas de producción y reduciendo costos, de tal forma, que se maximice la productividad en el sector con responsabilidad ambiental y crecimiento económico (Khanjani et al., 2023, p. 11).

Figura 33*Sistemas de producción piscícolas utilizados*

Nota. La figura muestra los sistemas piscícolas más utilizados en el municipio de Pauna. Fuente: Elaborada con datos recolectados en encuesta a productores piscícolas de Pauna.

Aportes económicos, sociales y ambientales derivados de la implementación de tecnología Biofloc en el sector piscícola del municipio de Pauna, para contribuir a la productividad con miras a un mercado internacional

En el desarrollo de este capítulo se presentan los aportes económicos, sociales y medioambientales derivados de la implementación del sistema Biofloc en la piscicultura. Estos aportes se detallan en tres niveles, el primero de ellos es a nivel internacional, donde se resaltan los beneficios brindados al sector piscícola dentro de los tres marcos de la sostenibilidad. Para esto, se toman en cuenta investigaciones actualizadas que permiten reconocer los beneficios ambientales, económicos y sociales a groso modo en el entorno internacional.

En segundo nivel, se estructuran los beneficios nacionales respecto a las producciones colombianas que se han desarrollado bajo el sistema Biofloc en los departamentos de Colombia más destacados en piscicultura, detallando los beneficios que se tienen en estas empresas gracias a que se ha llevado a cabo la implementación exitosa de estos sistemas de producción.

En un tercer nivel, se describen los aportes medioambientales, económicos y sociales obtenidos por la implementación de este sistema en la empresa La Vida Piscícola, que está localizada en el municipio de Pauna – Boyacá, el cual es utilizado como objeto de estudio para la investigación. Además, esta información se consigue por medio de entrevista realizada al productor y administrador de la empresa anteriormente nombrada; en este sentido, comprendemos un panorama general y significativo de cada uno de los aportes que se generan en el sector piscícola con la implementación del sistema Biofloc.

Aportes a nivel internacional

El sistema Biofloc a nivel internacional genera beneficios económicos, sociales y ambiental. Para tener claridad de cuáles son estos beneficios que se derivan de la producción piscícola mediante sistemas Biofloc, se hace un acercamiento a investigaciones desarrolladas de forma internacional y es así que, en este ámbito, según Yu et al. (2023), se encuentra una serie de beneficios procedentes directamente de la implementación de sistemas Biofloc, los cuales comprenden varios campos de acción.

Inicialmente, se reconocen aportes significativos al medio ambiente, donde se destacan los escasos recambios de agua, que ayudan al cumplimiento de objetivos mundiales para salvaguardar el planeta, generando una disminución importante en el consumo de agua, lo que va de la mano con el cumplimiento de la Agenda 2030 de los objetivos de desarrollo sostenible con el apoyo a las metas del objetivo número 6, que va en acuerdo con el manejo eficiente de los recursos hídricos, adicionalmente la implementación de este tipo de sistemas para la producción piscícola, tiene amplia relevancia en el entorno económico y ambiental, puesto que se tiene una fuerte conexión de beneficios, como la mejora en la calidad de las aguas, que gracias a que el sistema necesita mantener controles continuos de los parámetros para que los peces no pierdan las condiciones ideales para el crecimiento, se crean ambientes sanos que ayudan a no verter a los suelos aguas contaminadas previniendo la alteración de los parámetros naturales de los entornos en los cuales se desarrolla la actividad.

Además, apoyados en que el sistema no requiere de grandes recambios de agua, se crean ambientes controlados en el sistema que disminuyen el ingreso de bacterias o patógenos ajenos, manteniendo bajo control las posibles infecciones que se pueden presentar; de esta forma se contribuye con el sistema de forma ambiental, pero también se generan aportes económicos, ya que los piscicultores van a tener menos niveles de contaminación, por lo tanto, menos gastos en medicamentos para los peces debido a que la tarea de prevención evita gastos excesivos en control y saneamiento.

Desde el mismo panorama económico con el sistema Biofloc, se puede aumentar la cantidad de producción piscícola de biomasa por metros cúbicos, esto contribuye directamente al productor a tener mayores niveles de producción dentro de los mismos estanques de agua, donde al comparar con los sistemas tradicionales, se ve una ventaja representativa en costos de manejo por kilos, además se utilizan terrenos más pequeños con mayores densidades de pescado (p.5).

Adicionalmente, y debido a la particularidad del sistema en el cual dentro del agua se desarrollan bioflóculos los cuales sirven de alimento, ayudando a reducir el costo operacional entre un 40% - 60% según lo señalado por Yu et al. (2023), esto se apoya en la existencia de una recirculación de alimento proteico dentro de los microentornos del sistema, que al mantenerse en ciclos cerrados permiten aumentar las temperaturas del agua, beneficio importante para el crecimiento de los peces, lo que mejora la productividad y, por tanto, la retribución económica al productor (p. 2).

De la misma forma, según la investigación desarrollada por Pereira et al. (2021), explica que muchos de los beneficios que aporta el Biofloc se centran, en gran medida, en la conversión de los compuestos nitrogenados en proteína bacteriana que es reutilizada por los microorganismos, para actuar como alimento para los organismos acuáticos que viven en el sistema y en el caso particular de estudio, las tilapias (p. 5).

En este sentido, la implementación de este tipo de sistemas está conectada con la responsabilidad global de mantener en condiciones estables el cambio climático al utilizar eficientemente los recursos naturales, manejar menos químicos y menos medicamentos en el cultivo. Adicionalmente, un factor importante para el sostenimiento del sector es que tiene la capacidad de realizar producciones a bajo costo, con calidades excepcionales y virtuosos márgenes de ganancia por su eficiencia y productividad (Yu et al., 2023, p. 9).

Aportes a nivel nacional en Colombia

Después de analizar los beneficios que aporta el sistema Biofloc de forma internacional, es necesario ahora aterrizar de forma más específica a los beneficios a nivel nacional para tener un panorama completo de la producción piscícola mediante la tecnología Biofloc en cada uno de los niveles. Para esto se tiene en cuenta que dentro del país existen varias empresas que desarrollan su producción bajo este sistema y mirando más en profundidad se pueden determinar algunos de los aportes que se tienen gracias a la implementación del Biofloc, estos beneficios comprenden desde lo ambiental, pasando por lo económico y finalizando con lo social como eventos en cadena.

Primeramente, los sistemas Biofloc dan la posibilidad de incrementar las densidades de producción en los cultivos, produciendo mayor cantidad de carne de pescado dentro de una misma cantidad de agua, también, se reducen los costos de manejo y de producción disminuyendo el consumo de agua (Hernández et al., 2019, p. 75).

Además de incrementar las densidades en el agua, el sistema Biofloc aporta fuentes proteicas y una adecuada cantidad de aminoácidos, lípidos, ácidos grasos saturados, insaturados y volátiles, incluso vitaminas y minerales que, debido a la alta palatabilidad de este tipo de alimento floculado producido por el sistema, se vuelve un alimento nutricional preferencial para los peces (Hernández et al., 2019, p. 84).

En este camino se tiene un variado compuesto benéfico con el Sistema Biofloc, incluso se tiene que estos sistemas aportan a la bioseguridad de los estanques, ya que por su característica de mínimos recambios de agua se disminuye la entrada de bacterias y patógenos por las aguas entrantes, que ayudan a garantizar la sanidad en los sistemas de producción (Hernández et al., 2019, p. 88).

Por otra parte, este sistema genera un apoyo económico, ya que disminuye los costos de producción por el aporte de alimento natural, que minimiza la cantidad de gastos necesarios en alimentación para los peces, además se disminuye el uso de prebióticos y probióticos, junto con ello el aumento en la producción de biomasa, genera un apoyo al productor en el entorno económico que se ve reflejado finalmente en la rentabilidad del negocio que según estudios realizados en Colombia obtienen tasas internas de retorno en este tipo de negocios superiores al 32% (Hernández et al., 2019, p. 90).

Aparte de los beneficios ambientales y económicos que se han mirado con la tecnología Biofloc a nivel nacional, se puede también evidenciar una contribución directa con el entorno social, ya que, al aumentar la producción piscícola, aumenta también el requerimiento de mano de obra, lo que permite tener un apoyo comunitario desde el mismo proyecto contribuyendo con el empleo directo del país. Adicionalmente, la producción de tilapia de calidad genera un impacto positivo en el país porque permite a los consumidores tener una mejor oferta de productos, y de la misma forma se genera un apoyo en múltiples conexiones que redundan en el incremento del PIB nacional.

Aportes a nivel municipal

Para tener una visión más detallada de la investigación y de los aportes de sostenibilidad que genera la implementación de sistemas Biofloc desde la piscicultura, se realizó una entrevista al administrador de la empresa La Vida Piscícola SAS, localizada en el municipio de Pauna Boyacá, la cual dentro de su crecimiento implementó el Sistema Biofloc como elemento innovador que le permitió obtener una amplia serie de beneficios los cuales se detallan a continuación:

Primero, es importante contextualizar que esta empresa, según la información recibida en la entrevista, tuvo un crecimiento mínimo durante los años en los cuales se desarrollaba la actividad económica de forma tradicional sin implementaciones tecnológicas, y su primera adaptación

gracias a problemas presentados en la filtración de las pocetas fue una adaptación primaria a manejar los estanques con plásticos que evitaran la filtración de agua y se diera un consumo y desperdicio menor del recurso hídrico.

Después de esta adaptación, la empresa La Vida Piscícola SAS experimentó una notable mejora en varios aspectos de su operación. En primera medida, hubo una reducción de los costos relacionados con el suministro de agua, debido a que se minimizó la filtración de aguas y, por lo tanto, la pérdida de las mismas con el uso de estanques recubiertos por plásticos de geomembrana; aunque en la finca en la cual está instalada la empresa no se paga directamente servicio de agua, sí conlleva un gasto natural mayor al utilizarse una aumentada cantidad de este recurso hídrico, lo que afecte el entorno ambiental de la región, también para la limpieza de los estanques es mucho más fácil debido a que los plásticos permiten que los sólidos disueltos se deslicen y no creen bacterias en un cultivo para nuevos ciclos de producción.

En una segunda parte de la adaptación a los sistemas Biofloc, la empresa mejoró notablemente el control en las aguas de los estanques, aumentando positivamente la eficiencia en la producción y ayudando a mitigar también los riesgos asociados a la contaminación del ambiente debido a que no se filtran aguas de los estanques manteniéndose estables dentro de los mismos, sin alterar los parámetros naturales del suelo en el cual se encuentra la producción piscícola.

En una tercera etapa, la empresa, con el ingreso al programa de Fondo Emprender, se favoreció al ser apoyada financiera y técnicamente, aprendiendo a llevar manejos contables, técnicos y documentales de la empresa. De esta forma, mejoró sus aspectos administrativos y operativos, en favor del asesoramiento continuo que se recibió por parte del programa estatal y de los encargados del control para la correcta implementación de los recursos brindados desde el Fondo Emprender. Es así que se percibió una implementación exitosa de las tecnologías llevando a la práctica una empresa con características de sostenibilidad en el largo plazo.

Así como se señala anteriormente y por la información recibida en la entrevista, se puede reconocer que el programa Fondo Emprender, además de brindar apoyo financiero a la empresa, también brindó un acompañamiento técnico, generándole las posibilidades de hacer real la idea de negocio y colocarla en marcha, fortaleciendo y facilitando la compra de tecnologías avanzadas que se llevaron a cabo apuntalando un crecimiento empresarial dentro del sector de la piscicultura.

Adicionalmente, la implementación del sistema Biofloc ayuda a la empresa a aprovechar eficientemente cada uno de los nutrientes que se encuentran en el agua de los peces, contribuyendo

así a mejorar la relación de crecimiento por cantidad de alimento suministrado y esto conlleva directamente a mejorar la rentabilidad del negocio. Por otro lado, contribuye a la seguridad y sostenibilidad alimentaria de la región, permitiéndoles incluso consumir productos con menos cantidad de químicos, puesto que las aguas se tratan de forma natural para no afectar el entorno ideal del Biofloc y esta purificación no contiene agregados químicos que atenten contra la salud de los consumidores.

A continuación, se detallan los aportes medioambientales que se han dado por la implementación del sistema Biofloc en la empresa “La Vida Piscícola” ubicada en el municipio de Pauna.

Algunos de estos aportes medioambientales se remontan al impacto ambiental positivo que tiene su significado en una gestión eficiente del recurso hídrico natural, ya que por la recirculación de agua en el mismo estanque se reduce el consumo final, en cada ciclo de producción de tilapia. Al comparar este consumo con los métodos tradicionales utilizados para piscicultura, se puede ver la gran diferencia en cuanto a la cantidad de agua utilizada, ya que los métodos tradicionales necesitan de una caída constante de agua para poder oxigenar los estanques, esto ocasiona un desgaste mayor de agua.

De la misma forma, este aspecto de cuidado del recurso hídrico ayuda a la empresa a mantener una producción constante sin estar limitados por la cantidad de agua presente en los afluyentes o nacimientos, puesto que estos en época seca tienden a reducirse de forma representativa el caudal, afectando así la cantidad de peces que se pueden producir en los estanques, al necesitarse una cantidad mínima de agua con el sistema Biofloc la empresa no determina su producción por la temporada sino por capacidad de terrenos y de sistemas de oxigenación.

Desde otro punto de vista, analizando los aportes medioambientales que genera la implementación del Sistema Biofloc, es importante destacar que al existir menos recambios de agua en los ambientes controlados del sistema, no se ven influenciados de forma significativa por fuentes de entrada de aguas externas que admiten el ingreso de patógenos o bacterias a los mismos estanques, ya que esta metodología de producción ayuda a que entre una menor cantidad de agua la cual puede ser controlada fácilmente sin contaminar excesivamente el sistema, esto en comparación de los sistemas tradicionales, al tener ingreso constante de aguas externas estas

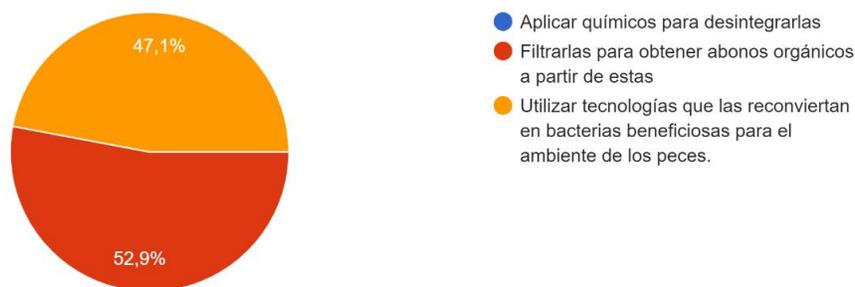
pueden venir contaminadas y pueden afectar la eficiencia del cultivo o alterar los parámetros de las aguas, afectando microorganismos que componen el sistema.

De forma concreta, los beneficios medioambientales que se derivan de la implementación del sistema Biofloc se remontan a la disminución del uso de los recursos hídricos, y también a la menor contaminación de ambientes por entradas de agua, y la conservación final del medio ambiente gracias a una preservación cuidadosa de la calidad de aguas y suelos en la región.

Adicionalmente, desde la misma línea ambiental se preguntó a los productores qué procesos estarían dispuestos a implementar para mejorar en este aspecto de sostenibilidad, minimizando así el impacto medioambiental que estas pueden ocasionar a los entornos naturales, ya que en algunos casos esta materia fecal es eliminada directamente en cuerpos de agua afectando el entorno natural de las fuentes hídricas. Por otra parte, se debe reconocer que estos residuos también pueden ser una fuente de aprovechamiento para convertirlos directamente en ingreso o beneficio adicional para los piscicultores, utilizándolos en actividades externas como la agricultura (Sipion y Soto, 2021, p. 51). Para esta línea de la investigación, se ve en la figura 33 que el 52.9% de los encuestados estaría dispuesto a filtrar estos residuos sólidos para obtener abonos orgánicos utilizables a partir de las heces producidas por los peces, siendo un registro más de los beneficios que permite la reutilización de los factores dentro de los sistemas Biofloc.

Figura 34

Manejo de heces



Nota. La figura evidencia el manejo que les dan los productores a las heces del pescado. Fuente: Elaborada con datos recolectados en encuesta a productores piscícolas de Pauna.

Desde otra línea de análisis, tenemos los aportes económicos que, según lo señalado por el entrevistado en la encuesta que se realiza al administrador de la empresa “La Vida Piscícola”,

donde señala que al implementar el sistema Biofloc le permitió hacer una transformación significativa en la forma de producción, lo que impactó directamente en la rentabilidad del negocio; y aunque los gastos e inversiones realizadas inicialmente fueran mucho más altas que si se tomara la iniciativa de hacer un proyecto de forma tradicional, si se vieron beneficios económicos como una ampliación en la granja que conlleva generar constancia en los ciclos de productividad, ya que con más estanques de producción y mayor tamaño se puede mantener ciclos bimensuales de producción, los cuales permiten cubrir costos y gastos de la empresa.

Adicionalmente, las cosechas se ampliaron significativamente generando mayores ingresos en la misma cantidad de tiempo, ya que se duplicaron la cantidad de kilos por ciclo de producción, además se disminuyeron los tiempos de 8 a 6 meses desde la siembra del alevín a la cosecha de tamaño comercial de 350 gramos por pez. También se vieron reflejados aportes económicos de un ahorro de aproximadamente del 20% de alimentación en los peces de Tilapia, puesto que este porcentaje es respaldado por alimento generado dentro del mismo sistema que comprende organismos y bacterias ricas en proteínas, minerales y vitaminas, que proveen a las tilapias una dieta saludable y balanceada, que luego es complementada en un 80% por el agregado de alimentos artificiales o concentrados. Al reunir estos aportes económicos se mejora considerablemente la rentabilidad general de la empresa.

Observando el último elemento de la sostenibilidad, el aporte social de la empresa “La Vida Piscícola” luego de la implementación del sistema Biofloc, principalmente se encuentra una mejora sustancial de la calidad de vida para la familia que está encargada de la administración de la empresa, porque al tener dentro de los estanques unos ambientes controlados los cuales permiten mantener una mayor cantidad de alimento soluble y disponible a cualquier hora de día para los peces, se ayuda a que la familia se concentre en brindar para los peces solo las tres comidas necesarias y en los horarios establecidos y a la vez los peces van teniendo la posibilidad de alimentarse libremente con comidas constantes.

Esto genera mayor libertad de tiempo para la familia, lo que le permite ocuparse en otras actividades o labores de la finca. Entonces, el sistema Biofloc permite tener no solo una buena rentabilidad y crecimiento en los peces, sino que también permite liberar a los encargados un poco más de esta labor cotidiana al tener un respaldo alimenticio dentro del mismo sistema.

Asimismo, al tener producciones constantes, más cuantiosas y escaladas, se brinda a la empresa una economía fuerte y estable, que se ve representada socialmente en el apoyo financiero

para la familia y los dueños. A la empresa, la implementación del sistema Biofloc le aporta no solo un factor de estabilidad, sino también, le aporta al fortalecimiento de los lazos familiares, mejorando así la comunicación y el tiempo de calidad que se comparte entre los miembros de la familia. Además, apoya regionalmente a que los consumidores tengan un producto de calidad, fresco y a la hora que lo necesitan, conociendo el origen del mismo, su ciclo de producción y sabiendo que es una producción que apoya integralmente a la sostenibilidad global.

Sumado a lo anterior, por la implementación del sistema Biofloc en la empresa, se mejoró la disponibilidad de agua para otros productores cercanos, ya que la empresa disminuyó su consumo normal de agua, permitiendo que los agricultores de la zona y de la región también tengan un abastecimiento constante, bien sea para implementar otros cultivos piscícolas o simplemente para desarrollar cultivos tradicionales del sector agrícola.

En este sentido, se obtiene información clave para tener una visión panorámica de los beneficios que atribuye la implementación del sistema Biofloc en cada una de sus tres dimensiones, tanto ambiental, económica y social. Mediante estos hallazgos derivados de la investigación desarrollada, se puede evidenciar que el sistema Biofloc sí aporta a las empresas para su perfeccionamiento en los cultivos piscícolas, mejorando la producción y ayudando a posicionarlas en el mercado, dado el aumento en las cantidades y calidades del producto.

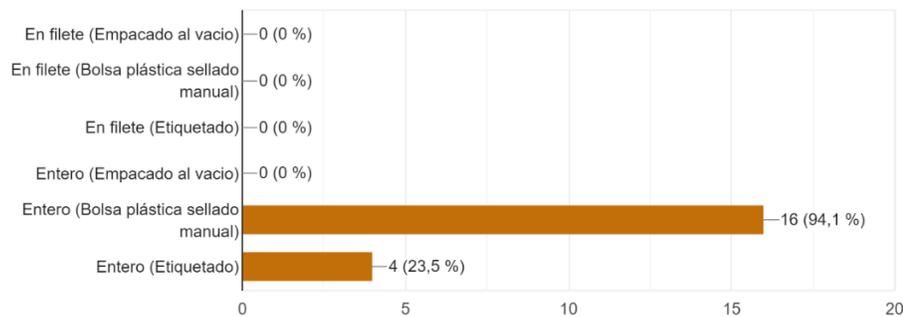
Posición internacional de la piscicultura del Municipio de Pauna

Reconociendo estos aspectos, se identificó, como se puede ver en la figura 34, que los productores piscícolas de Pauna no tienen conquistado algún mercado internacional para la producción y comercialización de tilapia, siendo esto una evidencia clara de que el mercado no se ha explorado en la totalidad y mostrando un camino extenso por el cual recorrer con la piscicultura paunense para llegar a entornos exteriores.

Figura 35*Mercado internacional*

Nota. La figura muestra que los productores piscícolas no han llegado al mercado internacional. Fuente: Elaborada con datos recolectados en encuesta a productores piscícolas de Pauna.

También, en la búsqueda de determinar las diferentes presentaciones en que se vende el pescado en Pauna, como elemento crucial para conocer las tendencias de comercialización del sector, y como se visualiza en la figura 35, la mayor parte lo comercializan en presentación “entero en bolsa plástica sellada manualmente” se habla de una mayoría con el 94,1%, esto tiene algunas explicaciones económicas y sociales, principalmente se reconoce que los productores al vender en su mayoría en veredas no necesitan que el producto tenga un proceso muy técnico para la conservación del pescado, además el público consumidor gusta de un pescado fresco con pocos procesos técnicos para su tratamiento (Urrego y Guzmán, 2021, p. 51).

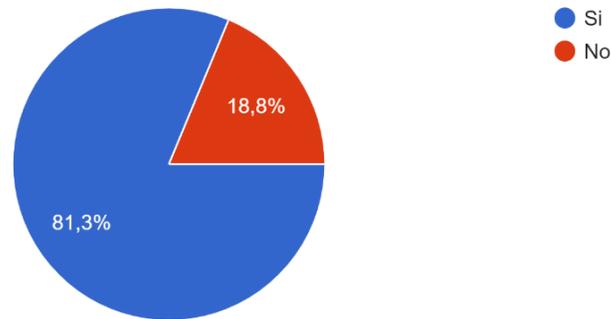
Figura 36*Presentación del producto*

Nota. La figura evidencia la forma más habitual en la que entregan el pescado los productores piscícolas. Fuente: Elaborada con datos recolectados en encuesta a productores piscícolas de Pauna.

Este punto a abordar, es uno de los más representativos e importantes para el municipio y para el sector, ya que el hecho de conocer si los productores piscícolas de Pauna – Boyacá están dispuestos a hacer transformaciones en sus productos con la finalidad de adaptarse a un mercado internacional, permite comprender sus paradigmas respecto al cambio y las expectativas que tienen en un futuro con la producción piscícola; al averiguar esto en la población de estudio se ve que el 81.3% de los productores tienen la motivación y la disposición para actualizar o transformar su producto con miras de entrar en el mercado exterior como se ve en la figura 36, generando perspectivas de crecimiento en el sector piscícola para el municipio de Pauna, ya que al generar valor agregado en el producto brinda mayor competitividad y permite evolucionar a nuevos mercados justificando precios más altos y mayores rentabilidades (Núñez y Ayazo, 2023, p. 33).

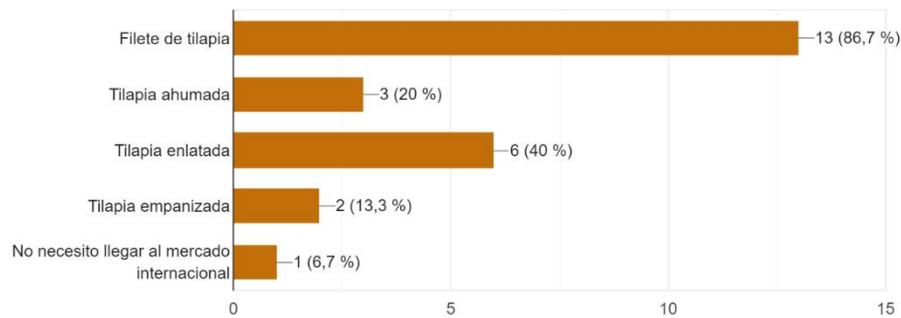
Figura 37

Interés en transformar el producto para el mercado internacional



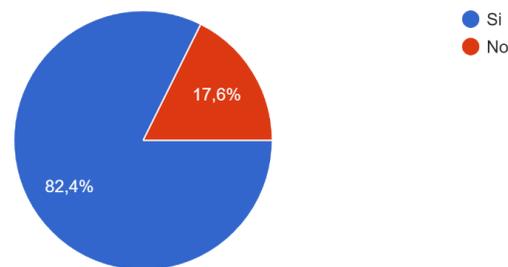
Nota. En la figura se ve el interés de los productores en transformar el producto para llegar al mercado internacional.
Fuente: Elaborada con datos recolectados en encuesta a productores piscícolas de Pauna.

Después de conocer con alegría que los productores estaban dispuestos a transformar su producto para apuntar a un mercado internacional, se dieron algunas opciones para evidenciar cuáles eran las presentaciones de pescado más cómodas o a las cuales estaban dispuestos a transformar la tilapia. El resultado de esta búsqueda arrojó, como se ve en la figura 37, que la mayoría de los productores estaban dispuestos a llevar el producto al mercado internacional mediante filetes de tilapia. Con un análisis profundo de estas repuestas, se reconoce que los productores escogen esta opción porque es una de las opciones más conocidas y más fácil de adaptar para el producto (Cerquera et al., 2021, p. 602).

Figura 38*Métodos posibles para transformar la tilapia*

Nota. La figura muestra los métodos que son más adecuados y receptivos por parte de los productores para llevar el producto al exterior. Fuente: Elaborada con datos recolectados en encuesta a productores piscícolas de Pauna.

Por otra parte, uno de los requisitos más importantes para llevar un producto piscícola al mercado internacional son los registros sanitarios de Invima y seguridad alimentaria, para obtener estos documentos es necesario que las empresas tengan dentro de su producción una ejecución de buenas prácticas acuícolas (Osorno y Vargas, 2023, p. 40), es por ello que se necesitaba conocer si los productores piscícolas de Pauna están dispuestos a implementar estas prácticas adecuadas y después de desarrollada la encuesta, como se aprecia en la figura 38, hay una respuesta positiva por parte de la mayoría de productores dejando el camino abierto a la posibilidad de llevar los productos piscícolas al exterior.

Figura 39*Buenas prácticas acuícolas para un mercado internacional*

Nota. La figura evidencia la disposición de los piscicultores para adaptar la producción con prácticas acuícolas para garantizar la entrada en el mercado internacional. Fuente: Elaborada con datos recolectados en encuesta a productores piscícolas de Pauna.

Finalmente, se reconoce que estos aspectos le pueden permitir al sector piscícola del municipio acoplarse al mercado internacional, gestionando las implementaciones tecnológicas responsablemente con el entorno, para optimizar los recursos y mejorar los procesos de producción, lo que va alineado con mayor eficiencia y mejor rentabilidad para los productores, de la misma forma que se construye una imagen apropiada del sector satisfaciendo la demanda cada vez mayor de consumidores preocupados por la sostenibilidad mundial, y presentando así el ingreso a los mercados internacionales como una oportunidad de desarrollo del sector piscícola que genera beneficios desde el ámbito de economía circular en apoyo conjunto a los tres aspectos de la sostenibilidad mediante la instalación de los sistemas Biofloc para la producción de tilapia con energías renovables.

De esta forma, la implementación del sistema Biofloc en la producción piscícola genera beneficios significativos derivados de tecnologías innovadoras que gestionan óptimamente los recursos y maximizan la eficiencia operativa en la producción de tilapia, aportando en términos de sostenibilidad económica, ambiental y social, y promoviendo la productividad y la competitividad del sector con ciclos más cortos de producción y cosechas más abundantes en los mismos periodos de tiempo, aspectos fundamentales para la reducción de costos en los procesos, y la mejora constante de la rentabilidad de los negocios.

Conclusiones

De acuerdo con los resultados de la investigación, en el sector piscícola del municipio de Pauna Boyacá se destaca el potencial existente para la producción de peces, sin embargo, enfrenta algunos desafíos como la falta de tecnificación para el aumento de la productividad, también la falta de colaboración activa entre los mismos piscicultores que dificulta el posicionamiento de la piscicultura como actividad representativa del municipio, además hay un escaso financiamiento para ampliar los proyectos de producción, por otra parte, se reconoce la apertura de los piscicultores a la adaptación de sus productos para mercados internacionales, y la disposición para combinar actividades en pro de la mejora económica y ambiental junto con la iniciativa de aprender continuamente con este mismo propósito de mejorar como empresas y como sector.

El análisis realizado para la implementación del sistema Biofloc en el municipio de Pauna, dada la descripción de las condiciones técnicas necesarias para la implementación del sistema, se encuentra que es de fácil adaptabilidad en Pauna, ya que el municipio cuenta con las condiciones técnicas como terrenos, recursos hídricos, vías de acceso para la instalación, condiciones climatológicas de temperaturas, acceso a servicios públicos de electricidad, disponibilidad y existencia de mano de obra para el buen manejo. Además, condiciones de potencial fotovoltaico para la instalación de energías renovables que apoyen la independencia del sistema y también a la relación bioética con el medio ambiente. Asimismo, dentro del municipio y en municipios aledaños, se tiene disponibilidad de recursos importantes para la funcionalidad del sistema como fuentes de carbono, donde se destaca la melaza proveniente de la caña de azúcar, producto obtenido en abundancia en la zona occidental del departamento. También, se tiene la posibilidad de comprar con facilidad elementos para la aireación del sistema y para la medición de parámetros del agua.

Finalmente, se reconocen los beneficios que aporta la implementación del sistema Biofloc, en el ámbito ambiental principalmente se reconoce el manejo eficiente de los recursos hídricos, la reducción en la contaminación de ambientes naturales y el menor impacto ambiental por el uso de energía solar renovable que contribuye a un desarrollo integral, por la parte económica, se resalta la rentabilidad por el aumento en la cantidad y la calidad del producto, además una reducción en costos de alimentación empleada para la producción de esta especie. Adicionalmente, en los aportes sociales se evidencia mejora de la calidad de vida para los productores y la seguridad

alimentaria para los consumidores, aportando al beneficio de la región de forma económica y social.

Recomendaciones

Cabe aclarar que el municipio de Pauna presenta condiciones ideales para su instalación, sin embargo, hay dos elementos importantes que se debe potencializar en los productores piscícolas, el primero de ellos en la capacitación y formación técnica sobre aspectos profundos del sistema, lo que permitirá mejorar la producción con base en el conocimiento y práctica en la actividad, mejorando resultados económicos y ambientales también deben trabajar los productores piscícolas es la ampliación de fuentes de financiamiento para incrementar los niveles de producción y potencializar al sector, teniendo en cuenta que en el municipio se tiene diversas fuentes de financiamiento con incentivos a las producciones rurales, tales como financiamiento crediticio por el sector bancario con tasas subsidiadas de interés en los créditos, además programas accesibles como el Fondo Emprender que brinda facilidades técnicas y financieras para el desarrollo de proyectos de este sector.

Además, con las condiciones técnicas adecuadas y los avances tecnológicos implementados exitosamente en la producción piscícola, y como ejemplo a seguir para el desarrollo del sector, se deben aprovechar los recursos existentes disponibles para posicionar al municipio de Pauna Boyacá como un potencial productor piscícola que llegue a alcanzar mercados internacionales con cantidad y calidad en los productos.

También se sugiere la creación urgente de una red de asociados que les permita el intercambio de conocimientos y de recursos, promoviendo la colaboración y mejorando el posicionamiento de la actividad en el municipio.

Referencias

- Bagi, A., Poersch, L. y Ravagnan, E. (2023). *A desktop study on biofloc technology*. NORCE Climate and Environment. <https://hdl.handle.net/11250/3077105>
- Balaguera, D. y Guerrero, V. (2022). *Viabilidad de un Sistema Biofloc Para Tilapia (Oreochromis Sp) en el Municipio de Málaga, Santander*. (Trabajo de grado, Universidad Industrial de Santander). Communities & Collections. <https://noesis.uis.edu.co/handle/20.500.14071/11602>
- Cardozo, R. (2022). *Vinculación sostenible de la acuicultura en la oferta turística del distrito de Iñapari provincia de Tahuamanu región Madre de Dios 2022*. (Trabajo de grado, Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios). Repositorio Institucional UNAMAD. <https://repositorio.unamad.edu.pe/handle/20.500.14070/1010?show=full>
- Cerquera, L., Gómez, S. y Arias, B. (2021). Competitividad de las exportaciones de Tilapia en el Huila. *Revista Venezolana de Gerencia: RVG*, 26(5), 596-613. <https://doi.org/10.52080/rvgluz.26.e5.38>
- Chen, X., Zhao, L. y Liu, K. (2023). The role of specialization in increasing farmers' income: Horizontal or vertical?. *Engineering Reports*, 6(12761), 1-12. DOI 10.1002/eng2.12761
- Congreso de la República de Colombia. (1990, 15 de enero). Por la cual se dicta el Estatuto General de Pesca. [Ley 13 de 15 de enero de 1990]. DO: N° 39143. [https://www.redjurista.com/Documents/ley_13_de_1990_congreso_de_la_republica.aspx#/.](https://www.redjurista.com/Documents/ley_13_de_1990_congreso_de_la_republica.aspx#/)
- Congreso de la República de Colombia. (1993, 22 de diciembre). Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA, y se dictan otras disposiciones. [Ley 99 de 1993]. DO: N. 41146. <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/08/ley-99-1993.pdf>
- Consejo Municipal de Pauna (2015, 10 de julio). Por el cual se adopta la revisión y ajuste del esquema de ordenamiento territorial del municipio de Pauna. [Acuerdo No. 09] <http://190.90.95.148:8082/index.php/s/4FtR2NoHmJysJxo#pdfviewer>.

- Consejo Municipal para la Gestión de Riesgos de Desastres. (2012, octubre). *Estrategia de respuesta a emergencias. Pauna Boyacá octubre de 2012*. Unidad Nacional de Gestión del Riesgos. <http://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co/handle/20.500.11762/411?mode=full>
- Delgado, H. (2022). *Cultivo de tilapia (Oreochromis niloticus)*. (Trabajo de grado, Universidad Nacional San Luis Gonzaga). Repositorio Universidad Nacional San Luis Gonzaga. <https://repositorio.unica.edu.pe/server/api/core/bitstreams/9513ea8f-5f9c-49e8-850b-17b9d79530ee/content>.
- Díaz, M. (2019). *Propuestas de mejora del financiamiento, rentabilidad, control interno y tributos de las micro y pequeñas empresas nacionales sector comercio, rubro piscicultura del distrito de Callería, 2019*. (Trabajo de grado, Universidad Católica los Ángeles de Chimbote). Repositorio Institucional Universidad Católica los Ángeles de Chimbote. <https://hdl.handle.net/20.500.13032/10987>
- Farfán, T. y García, P. (2024). *Barreras existentes para el acceso a las alternativas de financiación para proyectos de emprendimiento y pequeñas empresas relacionadas con el sector agro en Colombia*. (Tesis de especialización, Universidad EAN). Repositorio Universidad EAN. <http://hdl.handle.net/10882/13377>
- Fondo para el Financiamiento del Sector Agropecuario. (2021). *Portafolio de servicios 2021*. FINAGRO. https://www.finagro.com.co/sites/default/files/03_portafolio_finagro_2021_0.pdf
- Food and Agriculture Organization. (2021). *The state of world fisheries and aquaculture—towards blue transformation; Food and Agriculture Organization of the United Nations. Communities & Collections*. <https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/cc0461en>
- Garcés, C. (2024). *Estructura de la comunidad de eucariotas del Biofloc asociada al cultivo de Penaeus vannamei Boone, 1931*. (Tesis de Maestría, Universidad Politécnica de València). Repositorio Universidad Politécnica de València. <https://riunet.upv.es/handle/10251/201797?show=full>
- Giuliani, D., Staudt, S., Marasca, S., Hermes, L., Uczay, J., Coelho, P. y Lazzari, R. (2023). Compensatory gain and oxidative response of tilapia rearing at high densities in a Biofloc system and transferred to clear water system. *Aquaculture*, 577(739984), 1-8. DOI. 10.1016/j.aquaculture.2023.739984.

- González, L. (2017). *Impacto ambiental de la acuicultura intensiva en los componentes agua y sedimento en el lago Guamuez Nariño*. (Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia). Repositorio Universidad Nacional de Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/59203>
- González, P. y Giraldo, T. (2023). *Plan de negocio para producción de tilapia roja en la subregión de Urabá. Estudio de caso finca “Hermanos Causil” ubicada en Apartadó, Antioquia, 2022*. (Trabajo de grado, Universidad Cooperativa de Colombia). Repositorio Institucional Universidad Cooperativa de Colombia. <https://repository.ucc.edu.co/server/api/core/bitstreams/fcc30142-7307-4eec-8d3e-21a445965859/content>
- Hernández, M., Londoño, V., Hernández, G. y Torres, H. (2019). Los sistemas Biofloc: una estrategia eficiente en la producción acuícola. *Revista CES Medicina Veterinaria y Zootecnia*, 14 (1) 70-99. <https://doi.org/10.21615/cesmvz.14.1.6>
- Kaminski, M., Pounds, M., McAdam, B., Bostock, J., Opiyo, A. y Little, C. (2024). Growing smaller fish for inclusive markets? Increasing stocking density and shortening the production cycle of Nile tilapia in cages on Lake Victoria. *Aquaculture*, 581(10). 1-14. DOI:10.1016/j.aquaculture.2023.740319
- Khanjani, H., Torfi, M., Sharifinia, M. y Coelho, E. (2023). Biofloc: A sustainable dietary supplement, nutritional value and functional properties. *Aquaculture*, 562(3), 1- 12. DOI:10.1016/j.aquaculture.2022.738757
- Larson, S., Hoy, S., Thay, S. y Rimmer, M. (2023). Sustainable and inclusive development of finfish mariculture in Cambodia: Perceived barriers to engagement and expansión. *Marine Policy*, 148(105439), 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2022.105439>
- Li, C., Zhang, X., Chen, Y., Zhang, S., Dai, L., Zhu, W., Chen, Y. (2023). Optimized utilization of organic carbon in aquaculture Biofloc systems: A Review. *Fishes*, 8(465), 1-14. <https://doi.org/10.3390/fishes8090465>
- Llario, F., Falco, S., Sebastián-Frasquet., Escrivá, J., Rodilla, M. y Poersch, L. (2019). The role of *Bacillus amyloliquefaciens* on *Litopenaeus vannamei* during the maturation of a Biofloc system. *Marine Ciencia and Engineering*, 7(228), 1-17. <https://doi.org/10.3390/jmse7070228>

- Minaz, M., Selcuk, Y., Sevgili, H. y Aydın, I. (2023). Biofloc technology in aquaculture: advantages and disadvantages from social and applicability perspectives. *Annals of Animal Science*. 1-27. DOI:10.2478/aoas-2023-0043
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2013, 12 de septiembre). Por el cual se modifica la estructura del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural y se determinan las funciones de sus dependencias. [Decreto de 1895 de 2013]. DO: N. 48911.
- Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2012, 21 de diciembre). Por el cual se reglamenta la tasa retributiva por la utilización directa e indirecta del agua como receptor de los vertimientos puntuales, y se toman otras determinaciones. [Decreto 2667 de 2012]. DO: 48651. <https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=51042>
- Núñez, J. y Ayazo, O. (2023). Proyecto *Tilaya para la fomentación del comercio de Tilapia en el departamento de Boyacá y Cundinamarca*. (Trabajo de Grado, Universidad Piloto de Colombia). Repositorio Unipiloto. <https://repository.unipiloto.edu.co/handle/20.500.12277/12947>
- Osorno, A. y Vargas, O. (2023). *Alianzas estratégicas en el sector productivo de la tilapia en Colombia*. (Tesis de maestría, Universidad EAFIT). Repositorio Universidad EAFIT. <http://hdl.handle.net/10784/32459>
- Pereira, S., Torres, R., Krummenauer, D., Poersch, H. y Wasielesky, J. (2021). Comparison between horizontal and vertical substrate in shrimp super-intensive culture in bioflocs system. *Revista Elsevier B.V. Aquacultural Engineering*, 96(102218), 1-7. DOI:10.1016/j.aquaeng.2021.102218
- Red de Observatorios de Boyacá. (2022). Caracterización de la Producción Agrícola del Departamento de Boyacá. *Revista Red de Observatorios de Boyacá*, 1(4), 1-75. <http://observatorios.boyaca.gov.co:8088/assets/pdf/Boletin%204-06%20julio%202023.pdf>
- Rivera, V. y Marín, C. (2022). *Diseño de un modelo de negocio para la creación de una empresa de piscicultura en el municipio de Segovia*. (Trabajo de grado, Institución Universitaria Pascual Bravo). Repositorio Institucional Pascual Bravo. https://repositorio.pascualbravo.edu.co/bitstream/pascualbravo/1852/1/Rep_IUPB_Ing_In_d_Empresa_Psicultura.pdf

- Rueda, L. (2023). *Evaluación de tres densidades de cultivo de Oreochromis niloticus (tilapia nilótica) en acuaponía en condiciones de laboratorio*. (Trabajo de grado, Universidad Nacional Agraria de la Selva). Repositorio Institucional Universidad Nacional Agraria de la Selva. <https://hdl.handle.net/20.500.14292/2375>
- Salas, D. (2023, 28 de septiembre). *Crianza de Tilapias proyectos peruanos. Proyectos peruanos / información para proyectos de inversión*. <https://proyectosperuanos.com/tilapias/>
- Serrano, J. (2020). *Plataformas de comercio electrónico e internacionalización empresarial. Internacionalización de las economías, nuevas formas, estrategias y actividades. Revista ICE (Información Comercial Española), 1(913), 167-187.* <https://revistasice.com/index.php/ICE/issue/view/756>
- Silveira, L., Rosas, V., Krummenauer, D., Poersch, L. y Wasielesky, W. (2022). Establishing the most productive stocking densities for each stage of a multi-phase shrimp culture in BFT system. *Aquaculture International*, 30(4), 1889–1903. <https://doi.org/10.1007/s10499-022-00879-7>.
- Sipion, V. y Soto, C. (2021). *Uso de fertilizante orgánico a base de lodos de piscicultura para mejorar la aptitud de los suelos agrícolas en la provincia de Oyón-Lima 2021* (Trabajo de grado, Universidad Cesar Vallejo). Repositorio Institucional de la Universidad Cesar Vallejo. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/72650>
- Solargis. (2024). *Mapas de recursos solares de Colombia*. <https://solargis.com/es/maps-and-gis-data/download/colombia>
- Souza, A., Alves, D., Cotas, J. y Pereira, L. (2022). Fish farming techniques: Current situation and trends. *Journal of Marine Science and Engineering*, 10(11), 15-98. <https://doi.org/10.3390/jmse10111598>
- Terán, M. y Ruales, D. (2019). *Estado actual de la piscicultura en el municipio del Atrato-Yuto, Chocó; perspectivas para un agronegocio rentable y sostenible*. (Tesis de Maestría, Corporación Universitaria de la Salle). Repositorio Institucional de la Universidad La Salle. <http://repository.unilasallista.edu.co/dspace/handle/10567/2588>
- Urrego, C. y Guzmán, C. (2021). *Encadenamientos entre la cadena productiva de la trucha y cadena del turismo en El Lago de Tota*. (Trabajo de Grado, Universidad Piloto de Colombia). Repositorio Institucional Unipiloto. <http://repository.unipiloto.edu.co/handle/20.500.12277/10899>

- Valdivia, M. (2022). *Producción de ensilado químico a partir de residuos de pescado para una alimentación balanceada de aves en la provincia de Ilo-Moquegua, 2022*. (Trabajo de grado, Universidad Cesar Vallejo). Repositorio Institucional de la Universidad Cesar Vallejo. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/96315>
- Yu, Y.-B., Choi, J.-H., Lee, J.-H., Jo, A.-H., Han, S.-W., Han, S.-H., Choi, H.-J., Choi, C.-Y., Kang, J.-C., Min, E. y Kim, J.-H. (2023). Biofloc Application Using Aquaponics and Vertical Aquaculture Technology in Aquaculture: Review. *Fishes* 8(543), 1-14. <https://doi.org/10.3390/fishes8110543>