



Análisis multidimensional de la viabilidad técnica, comercial, financiera y de sostenibilidad de un
sistema acuícola comunitario en Galerazamba, Colombia

Freddy Quintero Ortega

María Paula Segura Maldonado

Mónica Viviana Vargas Galeano

Universidad EAN

Facultad de Administración, Finanzas y Ciencias Económicas

Programa Maestría en Administración de Empresas

Bogotá, Colombia 14/ Mayo/ 2026

**Análisis multidimensional de la viabilidad técnica, comercial, financiera y de sostenibilidad de
un sistema acuícola comunitario en Galerazamba, Colombia.**

Freddy Quintero Ortega

María Paula Segura Maldonado

Mónica Viviana Vargas Galeano

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de:

Magíster en Administración de Empresas - MBA

Director:

Federico López Muñoz

Modalidad:

Artículo de Investigación

Universidad EAN

Facultad de Administración, Finanzas y Ciencias Económicas

Programa Maestría en Administración de Empresas

Bogotá, Colombia 14/ Mayo/ 2026

Nota de aceptación:

Firma del jurado

Firma del jurado

Firma del director del trabajo de grado

Ciudad, día/mes/año

"A DM, por darme ese empujón que necesitaba para empezar. Gracias por motivarme a estudiar y por ser el impulso detrás de este gran logro."

" A Peter Hess, por brindarme el apoyo para poder iniciar mis estudios de maestría. Muchas gracias por siempre inspirarme a crecer como profesional."

" A la Universidad EAN y el cuerpo docente del programa de la maestría en administración por la guianza y experticia en los temas de interés de este trabajo."

" A la organización Peace Corps, por abrirnos el espacio de consultoría inicial y brindarnos los parámetros y contexto inicial para poder desarrollar este trabajo investigativo".

Agradecimientos

Expresamos nuestro más sincero agradecimiento a Federico López Muñoz, docente e investigador de la Universidad EAN, por habernos motivado a llevar este proyecto un paso más allá y a reconocer su potencial. Su acompañamiento, orientación y apoyo fueron esenciales para enriquecer el desarrollo de este trabajo y fortalecer nuestra perspectiva frente a los alcances del proyecto.

De igual manera, agradecemos a nuestro tutor de la Universidad EAN, Omar Alonso Patiño, por su acompañamiento y seguimiento en el componente financiero del trabajo, así como por sus valiosos aportes durante el proceso de estructuración y consolidación de esta sección.

Asimismo, agradecemos a los tutores del programa de maestría por sus valiosas enseñanzas, orientación y aportes durante nuestro proceso de formación académica.

Resumen

La acuicultura comunitaria ha sido identificada como una estrategia con alto potencial para fortalecer la seguridad alimentaria, diversificar los medios de vida rurales y promover el desarrollo económico en territorios costeros vulnerables. A nivel mundial, la acuicultura produjo aproximadamente 94.4 millones de toneladas de organismos acuáticos en 2022, aportando más del 57% de los animales acuáticos destinados al consumo humano y consolidándose como el sector de producción de alimentos de origen animal con mayor crecimiento durante las últimas décadas (FAO, 2022). En países en desarrollo, los sistemas acuícolas de pequeña escala desempeñan además un papel relevante en la generación de empleo, ingresos y resiliencia comunitaria, particularmente en regiones donde la pesca artesanal enfrenta presiones asociadas a la sobreexplotación de recursos, la variabilidad climática y las limitadas oportunidades económicas alternativas (Belton et al., 2020; Béné et al., 2016).

En Colombia, la acuicultura ha crecido de forma sostenida en las últimas dos décadas, consolidándose como actividad relevante para el desarrollo rural y la provisión de alimentos a través de sistemas de pequeña y mediana escala. (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2021, Piza-Jerez, A.C 2024). Sin embargo, a pesar de los esfuerzos institucionales por promover el consumo de pescado y marisco, esta categoría presenta el menor consumo per cápita entre las proteínas animales en el país. Este comportamiento refleja tanto limitaciones estructurales en la oferta local como una oportunidad para proyectos que amplíen la disponibilidad y el acceso a productos pesqueros frescos en zonas con demanda insatisfecha. En particular, los territorios costeros con tradición pesquera y demanda turística creciente — como el de Galerazamba— presentan condiciones favorables para que iniciativas acuícolas comunitarias contribuyan a cerrar esta brecha (Carrera-Quintana et al., 2022). Este territorio puede también beneficiarse de actividades agrícolas y acuícolas, ya que la economía local

exhibe una alta dependencia de actividades de baja productividad, lo que se traduce en ingresos inestables y limitadas oportunidades de acumulación económica para la población residente. Al mismo tiempo, Galerazamba se inserta en un entorno de demanda potencialmente favorable para productos pesqueros y acuícolas, sustentado tanto en el consumo local como en la demanda turística estacional y en su proximidad relativa a mercados regionales de mayor escala, particularmente el área metropolitana de Cartagena de Indias.

En este contexto, la acuicultura comunitaria emerge como una alternativa capaz de articular objetivos productivos, sociales y territoriales bajo enfoques de desarrollo local sostenible.

La metodología se fundamenta en la modelación económica y financiera de proyectos productivos mediante el enfoque de flujos de caja descontados. A partir del diseño técnico del sistema, el cual está basado en cuatro estanques de cultivo semi-intensivo, se estimaron los requerimientos de inversión inicial (CAPEX), los costos operativos recurrentes (OPEX) y los ingresos potenciales derivados de la comercialización del producto. Estos elementos permitieron construir los flujos de caja proyectados y calcular indicadores financieros clásicos como el Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el periodo de recuperación de la inversión. Asimismo, se desarrolló un análisis de sensibilidad y escenarios integrados para evaluar el impacto de variables críticas como el precio de venta, la mortalidad productiva y la estructura de financiamiento del CAPEX.

El estudio demuestra que la implementación de un sistema acuícola semi-intensivo de tilapia en Galerazamba es técnicamente viable y operativamente funcional bajo condiciones comunitarias del Caribe colombiano. El modelo propuesto cuenta con un factor de conversión alimenticia FCR de 1.6, una supervivencia del 80%, una producción de 756 kg por estanque por ciclo y una producción anual estimada de 6,048 kg en régimen pleno. Estos resultados

evidencian que el sistema puede operar de manera estable, cubrir sus costos recurrentes desde el segundo año y generar un flujo operativo positivo de 2,733 USD anuales en plena capacidad.

Sin embargo, el escenario base no logra compensar completamente el costo de oportunidad del capital, evaluado con una tasa de descuento del 11.25%. Bajo estas condiciones, el proyecto presenta un Valor Actual Neto de -6,750 USD al final de un horizonte de diez años, una TIR mensual de 0.11%, equivalente a 1.33% efectivo anual, y una recuperación nominal de la inversión entre los años 9 y 10. Por tanto, el principal hallazgo no es que el proyecto sea inviable, sino que se encuentra en una condición de viabilidad financiera condicionada: funciona desde el punto de vista técnico y operativo, pero requiere ajustes productivos, comerciales o financieros para superar la brecha de capitalización inicial.

Los escenarios de sensibilidad muestran que mejoras moderadas del FCR, aumento de la supervivencia, cambio en el precio de venta pueden transformar de forma significativa el desempeño financiero del proyecto. Cuando estas mejoras se combinan con una cofinanciación institucional moderada, equivalente a entre el 11% y el 18% del CAPEX, los resultados financieros se fortalecen aún más. Estos resultados evidencian que el apoyo institucional parcial puede ser determinante para que proyectos comunitarios de pequeña escala crucen el umbral de sostenibilidad financiera.

La investigación concluye que el proyecto tiene capacidades para desarrollar procesos acuícolas técnicamente funcionales, pero que la viabilidad técnica no garantiza por sí sola la sostenibilidad económica del sistema. Uno de los principales aportes del estudio consiste en demostrar que el sistema presenta una alta capacidad de respuesta frente a ajustes relativamente moderados en variables estratégicas desarrollados en el análisis de sensibilidad

y escenarios en el proyecto. De igual forma, el caso demuestra la utilidad del concepto de umbral de viabilidad financiera, entendido como una condición en la que el proyecto presenta un VAN inicialmente negativo bajo supuestos conservadores, pero puede alcanzar sostenibilidad mediante ajustes técnicos, comerciales e institucionales razonables. De esta manera, la tesis plantea que la sostenibilidad de este tipo de iniciativas depende de la articulación entre eficiencia productiva, acceso a mercados diferenciados y cofinanciación parcial de la inversión inicial, más que del aumento aislado de la escala productiva.

Palabras clave: Acuicultura comunitaria; CAPEX; Colombia; desarrollo rural; evaluación financiera; Galerazamba; OPEX; ; semi-intensivo; viabilidad económica.

Abstract

Community-based aquaculture has been identified as a strategy with the potential to strengthen food security, diversify livelihoods, and promote economic development in rural coastal communities. However, many productive projects face difficulties in achieving financial sustainability due to constraints related to capital availability, market access, and technical capacities.

In Colombia, aquaculture has experienced steady growth over the past two decades, becoming an important activity for rural development and food provision through small- and medium-scale production systems. Despite institutional efforts to promote fish and seafood consumption, this category continues to show the lowest per capita consumption among animal protein sources in the country. This pattern reflects both structural limitations in local supply and an opportunity for initiatives aimed at increasing the availability and accessibility of fresh fishery products in areas with unmet demand. In particular, coastal territories with a strong fishing tradition and growing tourism demand, such as Galerazamba, offer favorable conditions for community-based aquaculture projects to help bridge this gap.

Furthermore, this territory could benefit significantly from the development of agricultural and aquaculture activities, as the local economy remains highly dependent on low-productivity sectors, resulting in unstable incomes and limited opportunities for capital accumulation among residents. At the same time, Galerazamba is situated within a potentially favorable market environment for fishery and aquaculture products, supported by local consumption, seasonal tourism demand, and its relative proximity to larger regional markets, particularly the metropolitan area of Cartagena de Indias.

In this context, the present study evaluates the economic feasibility of a proposed

community aquaculture system in Galerazamba, Colombia, by integrating technical, productive, and financial variables within a coherent analytical model.

The methodology is based on the economic and financial modeling of productive projects using a discounted cash flow approach. Based on the technical design of the system — consisting of four semi-intensive culture ponds — the initial investment requirements, or capital expenditures (CAPEX), recurring operating costs, or operating expenditures (OPEX), and potential revenues from product commercialization were estimated. These elements made it possible to construct projected cash flows and calculate standard financial indicators, including Net Present Value (NPV), Internal Rate of Return (IRR), and the investment payback period. In addition, sensitivity analysis and integrated scenario assessment were conducted to evaluate the impact of critical variables such as sale price, production mortality, and the financing structure of CAPEX.

The study shows that the implementation of a semi-intensive tilapia aquaculture system in Galerazamba is technically feasible and operationally functional under community-based conditions in the Colombian Caribbean region. The proposed model has a feed conversion ratio (FCR) of 1.6, a survival rate of 80%, a production output of 756 kg per pond per cycle, and an estimated annual production of 6,048 kg at full operating capacity. These results indicate that the system can operate steadily, cover its recurring costs from the second year onward, and generate a positive operating cash flow of USD 2,733 per year at full capacity.

However, the baseline scenario does not fully offset the opportunity cost of capital, evaluated using a discount rate of 11.25%. Under these conditions, the project presents a Net Present Value of USD -6,750 over a ten-year horizon, a monthly Internal Rate of Return of 0.11%, equivalent to an effective annual rate of 1.33%, and a nominal investment recovery period

between years 9 and 10. Therefore, the main finding is not that the project is unfeasible, but rather that it is in a condition of conditional financial viability: it is technically and operationally functional, but requires productive, commercial, or financial adjustments to overcome the initial capitalization gap.

The sensitivity scenarios show that moderate improvements in FCR, increased survival rates, and changes in sale price can significantly improve the financial performance of the project. When these improvements are combined with moderate institutional co-financing, equivalent to between 11% and 18% of CAPEX, the financial results are further strengthened. These findings indicate that partial institutional support can be decisive in enabling small-scale community projects to cross the threshold of financial sustainability.

The findings indicate that the project possesses the technical capacity to support functional aquaculture production systems. Nevertheless, technical feasibility by itself is insufficient to ensure the economic sustainability of the operation. A key contribution of this research is the identification of the system's considerable responsiveness to relatively modest changes in strategic variables, as evidenced by the sensitivity and scenario analyses performed during the project assessment. This highlights the potential for achieving economic viability through targeted interventions aimed at optimizing critical production, commercialization, and management parameters.

This case demonstrates the usefulness of the concept of a financial viability threshold, understood as a condition in which a project initially presents a negative NPV under conservative assumptions but can achieve sustainability through reasonable technical, commercial, and institutional adjustments. In this way, the thesis argues that the sustainability of this type of initiative depends on the articulation of productive efficiency, access to

differentiated markets, and partial co-financing of the initial investment, rather than on an isolated increase in production scale.

Keywords: CAPEX; Colombia; community-based aquaculture; economic feasibility; financial evaluation; Galerazamba; OPEX; rural development; semi-intensive.

Contenido

Lista de Tablas.....	15
Lista de Figuras	16
Introducción	17
Objetivos	23
Objetivo General.....	23
Objetivos específicos.....	24
Marco teórico	25
Metodología.....	37
Trabajo de Campo	55
Procesamiento de los datos.....	55
Análisis de Resultados	85
Propuesta de solución a la problemática	105
Discusión y Conclusiones.....	108
Conclusiones	111
Referencias bibliográficas.....	116
Anexos: Análisis multidimensional de la viabilidad técnica, comercial, financiera y de sostenibilidad de un sistema acuícola comunitario en Galerazamba, Colombia	131
Anexo A.....	132
Anexo B.....	134
Anexo C	137

Anexo D	139
Anexo E	141
Anexo F	142
Anexo G	143
Anexo H	144
Anexo I	146
Anexo J	150
Anexo K	151
Anexo L	155

Lista de Tablas

<i>Tabla 1. Conceptos Financieros Principales.....</i>	<i>41</i>
<i>Tabla 2. Estimación de la demanda local del pescado fresco de Galerazamba.....</i>	<i>57</i>
<i>Tabla 3. Estimación de la demanda turística inducida de pescado fresco.....</i>	<i>59</i>
<i>Tabla 4. Descomposición de la demanda total anual de pescado fresco</i>	<i>62</i>
<i>Tabla 5. Estructura de costos operativos del sistema (OPEX).....</i>	<i>81</i>
<i>Tabla 6. Estimación de referencia de ingresos anuales – escenario base</i>	<i>83</i>
<i>Tabla 7. Flujos de caja del proyecto para el escenario base.....</i>	<i>83</i>
<i>Tabla 8. Indicadores financieros del escenario base del sistema acuícola comunitario.....</i>	<i>89</i>
<i>Tabla 9. Escenarios integrados de desempeño financiero del sistema acuícola comunitario.....</i>	<i>93</i>

Lista de Figuras

<i>Figura 1. Producción acuícola por departamentos en Colombia (2020)</i>	<i>32</i>
<i>Figura 2. Comparación entre demanda potencial y capacidad productiva del sistema.....</i>	<i>62</i>
<i>Figura 3. Comparación multidimensional del desempeño técnico-económico de sistemas acuícolas semi- intensivos e intensivos mediante índices normalizados</i>	<i>66</i>
<i>Figura 4. Cronograma de ciclos productivos y escalonamiento de cosechas por estanque</i>	<i>68</i>
<i>Figura 5. Crecimiento Exponencial de la Tilapia.....</i>	<i>71</i>
<i>Figura 6. Flujo de caja acumulado del proyecto en el escenario base (horizonte de 10 años).....</i>	<i>88</i>
<i>Figura 7. Evolución del flujo de caja acumulado por escenario financiero (USD)</i>	<i>94</i>
<i>Figura 8. Identificación y categorización de riesgos del sistema acuícola comunitario</i>	<i>99</i>
<i>Figura 9. Evaluación multidimensional de la sostenibilidad en la acuicultura comunitaria</i>	<i>103</i>
<i>Figura 10. Oportunidades estratégicas identificadas para el sistema acuícola comunitario de Galerazamba.....</i>	<i>106</i>

Introducción

Las economías costeras de países de ingresos bajos y medios albergan comunidades rurales cuya subsistencia depende principalmente de actividades primarias como la pesca artesanal, el turismo estacional y otras formas de empleo informal asociadas al uso de recursos naturales. Aunque estas actividades contribuyen de manera significativa al ingreso local y al abastecimiento alimentario, su alta estacionalidad, limitada productividad y creciente exposición a presiones ambientales y de mercado reducen su capacidad para sostener medios de vida estables y resilientes en el tiempo (Maldonado et al., 2022; Simmance et al., 2022).

En términos de sostenibilidad de los proyectos acuícolas comunitarios, depende de condiciones que raramente se dan de forma espontánea: acceso a insumos y financiamiento, capacidades técnicas locales, gobernanza comunitaria efectiva y articulación con mercados regionales. La evidencia empírica confirma esta complejidad: en Filipinas el 47 % de los hogares no alcanza sus requerimientos energéticos pese a un consumo medio de 55 kg/persona/año de pescado (Brun et al., 2025); en Camerún, menos del 50 % de los productores ha recibido formación técnica formal y apenas el 9 % pertenece a organizaciones comunitarias (Wirajing et al., 2025); y a escala global, los beneficios resultan heterogéneos según el grado de capitalización del sistema y el destino de la producción (Belton et al., 2012; Béné et al., 2016). La ausencia de evaluaciones que integren simultáneamente las dimensiones productivas, económicas y de mercado es especialmente marcada en el contexto colombiano, donde el crecimiento del sector no ha ido acompañado de estudios rigurosos sobre sostenibilidad en comunidades costeras del Caribe.

Frente a este escenario, se identifica la acuicultura comunitaria como una estrategia de diversificación productiva orientada a fortalecer los medios de vida en comunidades costeras

rurales, mediante esquemas de producción de pequeña escala gestionados colectivamente y articulados con instituciones locales, organizaciones no gubernamentales y, en algunos casos, actores privados (Ateweberhan et al., 2018; FAO, 2020). A diferencia de la pesca de captura, estos sistemas permiten un mayor control sobre los ciclos productivos, facilitan la planificación de la producción y ofrecen mayor previsibilidad de los ingresos, lo que resulta especialmente relevante en entornos caracterizados por alta vulnerabilidad económica y ambiental (Belton et al., 2012; Little et al., 2016).

Bajo determinadas condiciones, esta estrategia ha demostrado resultados concretos. Según los estudios previamente mencionados, se muestra que la acuicultura comunitaria puede contribuir a mejorar el acceso local a proteína animal, generar ingresos complementarios y reducir la dependencia exclusiva de la pesca artesanal, fortaleciendo así la resiliencia de los hogares frente a la variabilidad climática y del mercado (Brun et al., 2025; Wirajing et al., 2025; Belton et al., 2012). Sin embargo, como revelan los datos anteriores, estos resultados no se producen de manera automática, sino que exigen condiciones técnicas, organizativas e institucionales que deben ser deliberadamente construidas y sostenidas a lo largo del tiempo.

Los resultados de la investigación también muestran que estos beneficios no son automáticos ni homogéneos. La sostenibilidad de los proyectos acuícolas comunitarios depende de múltiples factores interrelacionados, incluyendo la estructura de costos, la eficiencia productiva, la distribución interna de beneficios y la capacidad de inserción en mercados diferenciados. Un ejemplo ilustrativo de cómo la distribución interna de beneficios y la capacidad de inserción en mercados diferenciados determinan la sostenibilidad de la acuicultura comunitaria proviene del estudio de Belton et al. (2012) en Bangladesh. Los autores documentaron que, en sistemas de pequeña escala gestionados colectivamente, los beneficios económicos tendían a concentrarse en los miembros con mayor capital inicial y

acceso previo a redes comerciales, mientras que los hogares más vulnerables recibían una proporción desproporcionadamente baja de los ingresos generados, aun cuando participaban activamente en la producción. Esta asimetría interna redujo la cohesión organizativa del grupo y comprometió la continuidad del proyecto en el mediano plazo. En una dirección similar, Béné et al. (2016) señalan, a partir de una revisión global de proyectos acuícolas comunitarios, que la capacidad de acceder a mercados diferenciados —como canales turísticos, gastronómicos o de certificación— constituye uno de los factores más determinantes para mejorar tanto el nivel de ingresos como su distribución equitativa entre los miembros de la comunidad. Los sistemas que lograron diversificar sus canales de comercialización más allá del mercado local tradicional registraron mayores márgenes por kilogramo producido y una distribución de beneficios más homogénea, en contraste con aquellos que dependían exclusivamente de intermediarios locales con alto poder de negociación.

En casos documentados, proyectos técnicamente viables no logran consolidarse financieramente debido a la elevada intensidad de capital inicial, márgenes comerciales estrechos o debilidades organizativas. Esta brecha entre viabilidad técnica y viabilidad económica constituye uno de los principales desafíos estructurales para la acuicultura de pequeña escala. (Belton et al., 2012; Brun et al. 2025, Wirajing et al. 2026).

En Colombia, la acuicultura ha experimentado un crecimiento sostenido durante las últimas dos décadas, pasando de producciones cercanas a 45,000 toneladas a comienzos de los años 2000 a más de 180,000 toneladas anuales en años recientes, consolidándose como una de las actividades pecuarias de mayor dinamismo dentro del sector agroalimentario nacional (Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca [AUNAP], 2023; MADR, 2021). Sin embargo, este crecimiento ha sido territorialmente desigual, concentrándose principalmente en departamentos como Huila, Meta, Tolima y Antioquia, que en conjunto aportan más del 70% de la producción

piscícola nacional, mientras que regiones con importantes recursos hídricos y potencial de mercado, como el Caribe colombiano, mantienen niveles de desarrollo relativamente bajos. Paralelamente, el consumo aparente de pescado en Colombia se sitúa alrededor de 9 kg por habitante al año, cifra inferior al promedio mundial estimado por la FAO, superior a 20 kg per cápita, lo que evidencia oportunidades para fortalecer la producción local y ampliar la disponibilidad de proteína acuática bajo esquemas productivos sostenibles y de base comunitaria (FAO, 2022; MADR, 2021).

Dentro de este panorama, el corregimiento de Galerazamba, en el municipio de Santa Catalina (Bolívar), representa un caso pertinente para analizar las condiciones reales de implementación de un sistema acuícola comunitario. Su historia se entrelaza con actividades tradicionales como la explotación salina de Galerazamba, la agricultura y la ganadería, mientras que hoy incorpora la pesca y el turismo como motores emergentes. El departamento de Bolívar se calificó como el departamento más visitado en el Caribe, según un estudio realizado en el 2013 donde se evaluaron 135 lugares distintos en el área (Rangel-Buitrago et al., 2013), lo que coloca a Galerazamba en una posición estratégica para atraer visitantes.

Con recursos hídricos dominados por el Mar Caribe y el Embalse del Totumo, y una población de 14,948 habitantes, el municipio mantiene una identidad construida a partir de su diversidad cultural, sus corregimientos y su evolución económica (Alcaldía de Santa Catalina, s.f.).

Adicionalmente, experiencias previas impulsadas por cooperación internacional han evidenciado tanto el interés comunitario como las restricciones financieras que enfrentan este tipo de iniciativas cuando cesa el apoyo externo (Peace Corps Galerazamba, comunicación personal, 2024).

Frente a esta realidad, el presente estudio tiene como objetivo evaluar de manera integral la factibilidad técnica, comercial y financiera de un sistema acuícola comunitario en Galerazamba. Para ello, se adopta un enfoque de modelación económica y financiera basado en flujos de caja descontados, complementado con análisis de sensibilidad y construcción de escenarios integrados. Este enfoque permite identificar los umbrales críticos de sostenibilidad económica, diferenciar entre inviabilidad estructural e inviabilidad inducida por restricciones financieras específicas, y analizar el efecto combinado de variables técnicas, comerciales y de financiamiento sobre los resultados del proyecto.

En este marco, la pregunta de investigación que orienta el presente estudio es:

¿Bajo qué condiciones técnicas, comerciales y financieras un sistema acuícola comunitario semi-intensivo puede constituirse en una alternativa sostenible para el desarrollo de Galerazamba?

Esta pregunta parte de la premisa de que la sostenibilidad económica no depende exclusivamente del desempeño productivo, sino de la articulación coherente entre diseño técnico, estrategia comercial y estructura financiera.

Más allá de la evaluación de rentabilidad, el estudio busca contribuir a una comprensión más amplia de la sostenibilidad de la acuicultura comunitaria como estrategia de desarrollo territorial. En lugar de limitarse a indicadores financieros aislados, se propone una lectura multidimensional que articule desempeño productivo, resiliencia económica, inserción comercial y fortalecimiento organizativo. De esta manera, la investigación aporta evidencia empírica relevante para el diseño de políticas públicas, programas de cooperación y modelos de financiamiento orientados al desarrollo costero sostenible en contextos rurales de América Latina.

Objetivos

La experiencia de Peace Corps en Galerazamba dejó en claro una cosa: que una comunidad puede aprender a cultivar tilapia en estanques, mantener vivos los peces y cosecharlos, pero eso no resuelve la pregunta que realmente importa para el desarrollo productivo del territorio. La pregunta es cuándo, en qué condiciones y con qué estructura de costos e ingresos un sistema de esa naturaleza puede sostenerse económicamente sin depender de financiamiento externo continuado.

Esa pregunta no había sido respondida para Galerazamba, ni tampoco para comunidades costeras similares del Caribe colombiano. La literatura nacional sobre acuicultura documenta el crecimiento del sector y sus oportunidades, pero carece de evaluaciones que integren análisis de demanda local, diseño técnico del sistema productivo y modelación financiera del proyecto en un mismo ejercicio para este tipo de contexto (Carrera-Quintana et al., 2022; Leal et al., 2025). Sin ese tipo de análisis, no es posible distinguir entre lo que es técnicamente posible y lo que resulta económicamente viable en el mediano plazo.

Objetivo General

Evaluar, a nivel de prefactibilidad, la viabilidad técnica, comercial, financiera y de sostenibilidad de un sistema acuícola semi-intensivo de pequeña escala para el cultivo de tilapia roja o plateada en Galerazamba, Santa Catalina, Bolívar, identificando las condiciones técnicas, comerciales y financieras que favorecen su consolidación como una alternativa sostenible de desarrollo territorial.

Objetivos específicos

- Analizar las principales limitaciones estructurales, operativas, comerciales y financieras que inciden en la viabilidad y sostenibilidad del sistema acuícola comunitario semi-intensivo propuesto para Galerazamba, con el fin de establecer los factores críticos que condicionan su implementación y permanencia en el tiempo.
- Construir una base analítica que oriente la toma de decisiones de la comunidad de Galerazamba y de sus aliados institucionales respecto a la inversión, el dimensionamiento productivo, el manejo técnico y la estrategia de comercialización, permitiendo reducir la incertidumbre asociada a la implementación de un sistema acuícola comunitario sostenible.
- Generar evidencia empírica sobre las restricciones, oportunidades y condiciones de viabilidad que determinan el potencial de la acuicultura comunitaria como estrategia de desarrollo sostenible en el Caribe colombiano, para establecer bajo qué condiciones esta actividad puede consolidarse de manera sostenible.

Marco teórico

1. Economías costeras rurales y diversificación productiva

Las comunidades costeras rurales de países de ingresos bajos y medios suelen estructurar sus medios de vida alrededor de actividades primarias como la pesca artesanal, el turismo estacional y otras formas de trabajo informal vinculadas al aprovechamiento de recursos naturales (Maldonado et al., 2022; Simmance et al., 2022). Aunque estas actividades cumplen un papel relevante en la generación de ingresos y en el abastecimiento alimentario local, su alta estacionalidad, limitada productividad y exposición a presiones ambientales y de mercado reducen su capacidad para sostener trayectorias estables de desarrollo económico y social (Béné et al., 2016; Wirajing et al., 2025). En este sentido, la vulnerabilidad de estas comunidades no puede entenderse solo como insuficiencia de ingresos, sino también como fragilidad estructural frente a cambios climáticos, fluctuaciones del mercado y baja diversificación ocupacional.

Desde esta perspectiva, la diversificación productiva adquiere relevancia como estrategia para fortalecer la resiliencia de los hogares y reducir la dependencia exclusiva de actividades extractivas o temporales. Analizando el aporte de diferentes autores encontramos que, en contextos costeros, la diversificación no solo tiene implicaciones económicas, sino también alimentarias, sociales y territoriales, en la medida en que puede ampliar la base de ingresos, estabilizar el consumo y mejorar la capacidad de adaptación de las comunidades frente a escenarios de incertidumbre. Bajo esta lógica, la acuicultura comunitaria se presenta como una opción pertinente para complementar actividades tradicionales y abrir oportunidades de

desarrollo local más sostenibles. Para revisar con detalle la evidencia empírica cuantitativa sobre principales factores de la acuicultura comunitaria que se encontraron en la investigación, como se observa en el anexo A.

2. Acuicultura comunitaria como estrategia de desarrollo local

La acuicultura comunitaria puede entenderse como una modalidad de producción de organismos acuáticos desarrollada a pequeña escala, gestionada colectivamente y articulada con actores locales, institucionales o comunitarios. La FAO (2022) advierte que no hay una definición universal de acuicultura “artesanal” o “de pequeña escala”; en general se refiere a unidades productivas pequeñas, con pocos insumos, tecnología limitada, baja inversión de capital y gestión familiar o comunitaria. En el anexo L se puede ver una escala de comparación de la acuicultura industrial y la comunitaria o de pequeña escala. A diferencia de la pesca de captura, que depende de la disponibilidad cambiante del recurso natural, la acuicultura ofrece mayor control sobre los ciclos productivos, la planificación de la producción y la previsibilidad de la oferta, elementos que pueden traducirse en una mayor estabilidad económica para las comunidades rurales.

Belton (2012), Flood et al.(2022) y Carrera-Quintana et al., (2022) han descrito los beneficios potenciales de la acuicultura comunitaria como la seguridad alimentaria, acceso a proteína animal, generación de ingresos complementarios y reducción de la dependencia de la pesca artesanal.

No obstante, también evidencia que los beneficios mencionados anteriormente no surgen de manera automática. Su materialización depende de condiciones específicas relacionadas con la

escala del sistema, la calidad del manejo técnico, el acceso a insumos, la articulación con mercados y la capacidad organizativa de la comunidad. Por ello, la acuicultura comunitaria no debe interpretarse únicamente como una tecnología productiva, sino como un sistema socioeconómico cuya sostenibilidad depende de la interacción entre factores técnicos, financieros, sociales e institucionales (Belton et al., 2012; Flood et al., 2022, Carrera-Quintana et al., 2022).

3. Sostenibilidad multidimensional de los proyectos acuícolas comunitarios

Uno de los aportes centrales del estudio consiste en asumir que la viabilidad de la acuicultura comunitaria en Galerazamba es multidimensional. En esta lógica, un proyecto no puede considerarse sostenible solamente porque demuestre capacidad técnica para producir peces, sino porque logra articular de manera simultánea desempeño productivo, estabilidad financiera, apropiación social y pertinencia territorial. Esta aproximación permite superar una visión centradas exclusivamente en el rendimiento biológico del cultivo o en la rentabilidad contable de corto plazo.

La dimensión técnico-productiva alude a la capacidad del sistema para operar con parámetros adecuados de crecimiento, mortalidad, conversión alimenticia y rendimiento. La dimensión financiera remite a la posibilidad de recuperar la inversión, cubrir costos operativos y generar flujos de caja sostenibles en el tiempo. La dimensión social comprende aspectos como capacidades locales, organización comunitaria, distribución de beneficios y apropiación del proyecto por parte de la comunidad. Finalmente, la dimensión territorial se relaciona con la inserción del sistema en dinámicas locales de consumo, turismo, mercado y desarrollo rural. En conjunto, estas dimensiones permiten comprender que la sostenibilidad de la acuicultura comunitaria depende de una articulación compleja entre producción, economía y territorio. Un

ejemplo ilustrativo proviene de los sistemas acuícolas comunitarios en Bangladesh documentados por Belton et al. (2012). En la dimensión técnico-productiva, los sistemas lograban parámetros de crecimiento aceptables, pero con alta variabilidad según el nivel de capacitación técnica de cada hogar. En la dimensión financiera, los márgenes eran estrechos y sensibles al precio del alimento balanceado, comprometiendo la recuperación de la inversión inicial. En la dimensión social, menos del 10 % de los productores pertenecía a cooperativas, lo que limitaba la negociación colectiva y la distribución equitativa de beneficios. Finalmente, en la dimensión territorial, la alta proporción de producción exportada reducía la disponibilidad local de pescado asequible, debilitando el vínculo entre el sistema productivo y las necesidades alimentarias de la propia comunidad (Belton et al., 2012; Béné et al., 2016). El caso ilustra que la eficiencia técnica, por sí sola, pero no garantiza viabilidad financiera ni impacto social positivo en el territorio.

4. Factores determinantes de la viabilidad en la acuicultura comunitaria

Se identificaron varios factores críticos que condicionan la viabilidad de los proyectos acuícolas comunitarios como el acceso a financiamiento, la disponibilidad de capacidades técnicas locales, la organización y gobernanza comunitaria, la inserción en mercados, la escala productiva y la equidad en la distribución de beneficios (Li et al., 2022, Leal et al. 2025, Belton et al., 2012; Flood et al., 2022, Brun et al., 2025, Béné et al., 2016; Wirajing et al., 2025). Estos factores actúan de forma interdependiente, por lo que la debilidad en uno de ellos puede comprometer el desempeño general del sistema, aun cuando otros componentes funcionen adecuadamente.

En particular, resaltamos la existencia de una brecha entre la viabilidad técnica y la viabilidad financiera. Un sistema puede demostrar que es posible cultivar tilapia en condiciones

locales y, sin embargo, no alcanzar una escala o estructura económica suficiente para generar ingresos sostenibles. Esta brecha ha sido cuantificada en distintos contextos: en Bangladesh, más del 40 % de los hogares con sistemas técnicamente operativos no lograba cubrir sus costos operativos cuando el alimento balanceado superaba el 55 % del OPEX (Belton et al., 2012); en Camerún, menos del 38 % de los productores acuícolas superaba umbrales mínimos de ingreso sostenible pese a registrar tasas de supervivencia aceptables (Wirajing et al., 2025); y a escala global, entre el 30 % y el 50 % de los proyectos acuícolas comunitarios técnicamente viables no logra sostenibilidad financiera en el mediano plazo, principalmente por limitaciones en la comercialización (Béné et al., 2016). Esta distinción es fundamental para el análisis del caso de Galerazamba, ya que desplaza la discusión desde la simple posibilidad técnica del cultivo hacia las condiciones concretas que hacen viable su permanencia en el tiempo. En consecuencia, la evaluación de un proyecto acuícola comunitario requiere integrar criterios de eficiencia productiva con criterios de rentabilidad, comercialización y sostenibilidad institucional.

Aunque la evidencia internacional sobre acuicultura comunitaria es amplia, la literatura colombiana ha documentado, especialmente durante la última década (2015–2025), un conjunto creciente de experiencias que permiten anclar el análisis de Galerazamba en realidades y experiencias colombianas de acuicultura comunitaria: casos del interior y de zonas costeras empíricas nacionales. Estas experiencias muestran comportamientos comparables a los descritos en contextos globales, la brecha entre viabilidad técnica y viabilidad financiera, la dependencia de apoyo institucional y la relevancia de la organización comunitaria, pero con particularidades territoriales que conviene distinguir entre las zonas del interior y las zonas costeras del país.

Casos del interior del país: En el piedemonte llanero y la Orinoquia, la piscicultura de pequeña escala se ha consolidado como un complemento de la agricultura familiar. Rodríguez Sánchez (2019) analizó la sostenibilidad ambiental de sistemas de producción familiar rural con piscicultura en Castilla la Nueva (Meta), evidenciando que la continuidad de estos sistemas

depende de la gestión del recurso hídrico y de la capacidad organizativa de los hogares. En la misma región, la Universidad de los Llanos ha desarrollado alternativas de alimentación artesanal para cachama blanca dirigidas a Acuicultores de Recursos Limitados (AREL) de los municipios de Lejanías y El Dorado (Meta), reconociendo que el costo del alimento balanceado constituye la principal restricción para la rentabilidad de estos sistemas (Carvajal-Salcedo et al., 2021).

Un caso especialmente pertinente por su escala y su naturaleza comunitaria es el proyecto "Piscicultura para la paz", ejecutado por la Agencia de Desarrollo Rural en Fuentedeoro (Meta) a partir de 2024, que benefició a 650 familias firmantes del Acuerdo Final de Paz de los departamentos de Meta y Guaviare mediante sistemas de producción de tilapia roja de bajo impacto ambiental (Agencia de Desarrollo Rural, 2024). Este caso ilustra el modelo de alianza público-popular y la apuesta por la autosuficiencia económica, pero también la dependencia de financiamiento estatal inicial, una tensión central para el análisis de Galerazamba. En la Amazonia, por su parte, los estudios de la Universidad Nacional (Moreno-Núñez, 2023) señalan que, a diferencia de departamentos tecnificados como Tolima, Córdoba y Meta, la piscicultura amazónica opera como actividad de subsistencia articulada a la agricultura familiar, lo que refuerza la necesidad de estrategias de producción integrales y de mayor articulación institucional.

Casos de zonas costeras y del Caribe: En el litoral, las experiencias combinan acuicultura, seguridad alimentaria y cooperación internacional. El proyecto ACUAFASA, financiado por la cooperación española entre 2024 y 2025, instaló sistemas acuapónicos que integran piscicultura y horticultura en comunidades rurales e indígenas de La Jagua del Pilar (La Guajira), Ituango (Antioquia) y varias comunidades del Chocó, con un fuerte componente de articulación institucional y formación comunitaria previa a la entrega de los sistemas (APY Solidaridad, 2025). En el Caribe colombiano, Maldonado et al. (2022) caracterizaron los medios de vida de una comunidad pesquera de pequeña escala, mostrando el doble rol del pescado

como fuente de autoconsumo y de ingreso, mientras que Carrera-Quintana et al. (2022) documentaron, para el período 2000–2022, que el crecimiento acuícola nacional ha sido territorialmente desigual y que el Caribe mantiene rezagos estructurales pese a sus ventajas comparativas. Estos hallazgos son directamente extrapolables a Galerazamba, donde coexisten alta dependencia de actividades estacionales, demanda turística creciente y limitaciones de acceso económico al pescado.

Síntesis comparativa: Al contrastar las experiencias del interior con las costeras se observa un patrón consistente con la literatura internacional (Belton et al., 2012; Béné et al., 2016): los proyectos alcanzan viabilidad técnica con relativa facilidad, pero su sostenibilidad financiera y social depende de la estructura de costos del alimento, del acceso a mercados diferenciados y de la solidez organizativa de la comunidad. La principal diferencia territorial radica en el mercado de destino: mientras los casos del interior se orientan al autoconsumo y a mercados regionales (por ejemplo, la cachama del Meta consumida localmente y la tilapia enviada a Bogotá), los casos costeros pueden articularse con la demanda turística y gastronómica, condición que Galerazamba comparte y que constituye una oportunidad diferenciadora frente a los modelos del interior.

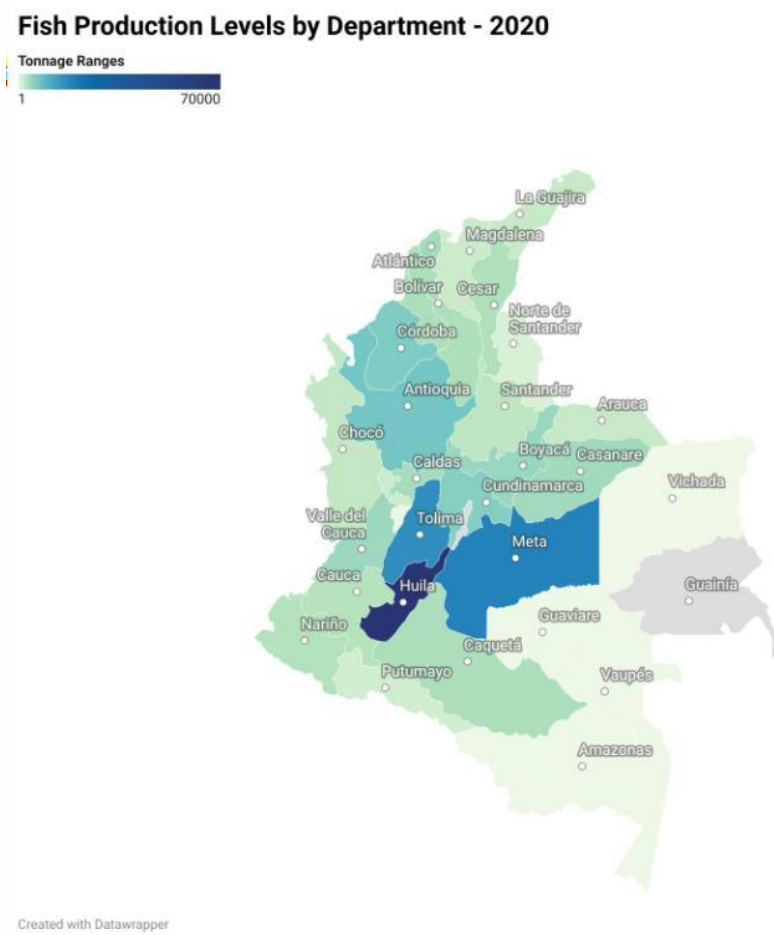
Contexto colombiano y pertinencia del caso de Galerazamba

En Colombia, los contextos costeros con tradición pesquera y demanda turística creciente como el de Galerazamba presentan condiciones favorables para que iniciativas acuícolas comunitarias contribuyan a cerrar esta brecha (Carrera-Quintana et al., 2022), aunque su expansión ha sido territorialmente desigual, con una marcada concentración productiva en determinadas regiones del país, mientras que otras presentan niveles de desarrollo significativamente más bajos. Existen regiones más consolidadas productivamente y otras, como parte del Caribe colombiano, que presentan rezagos estructurales en materia de

diversificación acuícola, como se observa en la figura 1 *Producción acuícola por departamentos en Colombia*. Mientras departamentos como Huila mantienen una posición de liderazgo en la producción de tilapia (alcanzando volúmenes que superan las 65,000 toneladas anuales), otras zonas del Caribe presentan cifras considerablemente menores (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2021). Esta heterogeneidad indica que las experiencias exitosas no pueden trasladarse mecánicamente de un territorio a otro, sino que deben adaptarse a las condiciones locales de infraestructura, mercado, capacidades humanas y apoyo institucional (Carrera-Quintana et al., 2022).

Figura 1

Producción acuícola por departamentos en Colombia (2020).



Nota: Elaboración propia creada con Datawrapper, (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2021). Esta distribución asimétrica obedece a factores como las condiciones térmicas del agua en los departamentos centrales del país, una gran extensión de terrenos planos y también refleja brechas estructurales asociadas a la disponibilidad del apoyo brindado por parte del gobierno nacional. (Carrera-Quintana et al., 2022). En este escenario, el Caribe colombiano ha sido identificado como una región con rezago estructural en términos de diversificación productiva acuícola, a pesar de contar con ventajas comparativas vinculadas a su ubicación costera y a la demanda asociada a dinámicas turísticas y alimentarias. En consecuencia, se reconoce que la replicación directa de experiencias exitosas de acuicultura desarrolladas en regiones más consolidadas resulta insuficiente, lo que refuerza la necesidad de enfoques diferenciados que consideren las particularidades territoriales, las capacidades comunitarias y las condiciones específicas del Caribe colombiano para promover trayectorias de desarrollo acuícola más equitativas y sostenibles.

En este marco, Galerazamba constituye un caso especialmente relevante. Se trata de una comunidad costera con alta dependencia de actividades económicas estacionales y de baja productividad, pero ubicada a la vez en un entorno con demanda potencial para productos pesqueros y acuícolas, tanto por consumo local como por turismo y cercanía a mercados regionales. (Pérez, 2024, Hernández, 2019). La dependencia de Galerazamba de actividades económicas estacionales y de baja productividad encuentra respaldo en evidencia institucional concreta. La economía del corregimiento descansa sobre tres pilares igualmente frágiles: la extracción artesanal de sal cuya concesión estuvo clausurada entre 2016 y 2019 cerca de 60,000 visitantes en un solo año y 300 familias se vieron afectadas por el cierre de las salinas (Alcaldía de Santa Catalina, 2024), la pesca artesanal, actividad que en Colombia se caracteriza por ingresos variables, precariedad laboral y ausencia de seguridad social (FAO, 2020) y el turismo de las Salinas Rosadas del Mar Rosa, concentrado en dos temporadas anuales: diciembre a abril y agosto a septiembre (Alcaldía de Santa Catalina, Plan de Desarrollo "Santa Catalina me Enamora", 2024-2027). Fuera de esas ventanas estacionales, la actividad turística cae de forma significativa, generando ciclos de ingreso discontinuos e impredecibles. Además, según Rangel-Buitrago (2013), a pesar de que Galerazamba se encuentra en el departamento más visitado por turistas extranjeros en la región Caribe, la región fue evaluada bajo diferentes variables, y fue calificada como un sitio poco atractivo, con

bajo valor en su paisaje, gravemente dañado debido a actividades antropogénicas indeseables. Esto puede dificultar la generación de turismo fuera de las ventanas estacionales del fenómeno del Mar Rosa.

Sin embargo, este mismo contexto genera una demanda pesquera real y cuantificable. El gasto de turistas nacionales en el departamento de Bolívar llegó en 2024 a 230,407 USD , con un crecimiento del 48.9 % frente a 2023, mientras que 855,340 turistas extranjeros visitaron el departamento ese año, un 61.3 % más que en 2019 (ProColombia, 2024). En este contexto de expansión turística departamental, la Alcaldía de Santa Catalina identificó a Galerazamba como uno de los dos corregimientos estratégicos del corredor turístico municipal, con proyección de reconocimiento nacional como destino prioritario (Plan de Desarrollo "Santa Catalina me Enamora", 2024). La Gobernación de Bolívar, en alianza con la Fundación Santo Domingo, Promigas y la ANDI, incluyó explícitamente la recuperación de las minas de sal de Galerazamba y la potenciación del Mar Rosado dentro del proyecto "Parador Turístico" del corredor norte de Bolívar (Gobernación de Bolívar, 2024). Esta apuesta institucional multiactor confirma que la demanda turística en Galerazamba no es un fenómeno espontáneo sino una tendencia respaldada por política pública territorial, lo que a su vez sustenta la demanda inducida de pescado fresco estimada en aproximadamente 4 toneladas anuales a través de establecimientos gastronómicos locales, complementaria a la demanda residencial de 16 toneladas anuales de los cerca de 2,000 habitantes del corregimiento (MADR, 2021; MinComercio, 2024).

A pesar de que el contexto turístico tiene un panorama prometedor, es importante resaltar factores medioambientales del territorio para el año 2021. Un estudio realizado en 23 playas del Caribe central colombiano evaluó dos sectores ubicados en el área de Galerazamba: Salinas de Galerazamba, caracterizada como una playa remota y expuesta, y Galerazamba,

clasificada como una playa asociada a un asentamiento poblado y protegida del oleaje directo. Esta distinción es importante, debido a que ambos sectores presentaron condiciones ambientales y niveles de contaminación considerablemente diferentes (Rangel-Buitrago et al., 2021).

Salinas de Galerazamba registró 2.457 microplásticos por kilogramo de sedimento (MPs/kg), la concentración más alta entre todas las playas analizadas. La muestra estuvo compuesta por 1.086 MPs/kg de fibras, 814 MPs/kg de fragmentos, 486 MPs/kg de espuma y 71 MPs/kg de pellets. Este sector obtuvo un Índice de Contaminación por Microplásticos — MPPI— de 43, correspondiente a una presencia muy alta, y fue clasificado con un estado ambiental malo. Por su parte, la playa de Galerazamba presentó una concentración total menor, de 843 MPs/kg, dominada principalmente por fibras, con 771 MPs/kg. Aunque obtuvo un estado ambiental considerado bueno, su MPPI fue de 15 y su presencia de microplásticos fue clasificada como alta. Estos resultados muestran una marcada variación espacial dentro de la misma zona y señalan a Salinas de Galerazamba como uno de los principales puntos críticos de acumulación de microplásticos identificados en el estudio (Rangel-Buitrago et al., 2021).

El contexto territorial completo de esta región se encuentra en el anexo B. Esta combinación de vulnerabilidad estructural, medioambiental y oportunidad territorial justifica su selección como caso de estudio. Asimismo, la experiencia previa impulsada por Peace Corps demostró una viabilidad técnica básica del cultivo, aunque insuficiente para asegurar sostenibilidad económica a escala comunitaria (Peace Corps Galerazamba, comunicación personal, 2024; Peace Corps, 2025; Peace Corps 2021). Por ello, el caso de Galerazamba permite analizar de manera precisa en qué condiciones un sistema acuícola comunitario puede evolucionar desde una experiencia demostrativa hacia un modelo económicamente viable y

territorialmente sostenible.

5. Marco conceptual del estudio

A partir de lo anterior, el estudio puede organizarse conceptualmente alrededor de varios conceptos centrales. En primer lugar, la acuicultura comunitaria se entiende como una estrategia de producción colectiva de pequeña escala orientada al fortalecimiento de medios de vida rurales. En segundo lugar, la viabilidad técnica hace referencia a la capacidad del sistema para operar productivamente bajo parámetros biológicos y de manejo aceptables. En tercer lugar, la viabilidad financiera alude a la generación de retornos suficientes para sostener la operación y recuperar la inversión. En cuarto lugar, la viabilidad comercial se relaciona con la posibilidad real de insertar la producción en mercados locales y turísticos bajo condiciones favorables de demanda. Finalmente, la sostenibilidad socioeconómica integra el efecto del proyecto sobre ingresos, capacidades locales, organización comunitaria y desarrollo territorial.

Desde esta perspectiva, la investigación parte de la premisa de que la consolidación de la acuicultura comunitaria no depende de un único factor, sino de la convergencia entre condiciones técnicas, financieras, comerciales e institucionales. El valor del estudio radica precisamente en examinar esa convergencia de forma integrada en un contexto costero rural específico.

Metodología

La presente investigación adopta un enfoque cuantitativo aplicado, orientado a evaluar la viabilidad técnica, comercial y financiera de un sistema de acuicultura comunitaria mediante herramientas de modelación económica y evaluación de proyectos. Este enfoque ha sido ampliamente utilizado en estudios agropecuarios y acuícolas porque permite integrar variables biológicas, productivas y de mercado en indicadores económicos comparables que facilitan la toma de decisiones sobre inversión, rentabilidad y sostenibilidad de largo plazo (Gittinger, 1982; Engle, 2010; Yescombe, 2014). En el contexto de la acuicultura, este tipo de análisis resulta especialmente relevante debido a la estrecha interacción existente entre desempeño productivo, estructura de costos y condiciones de mercado.

El diseño de investigación corresponde a un estudio no experimental, dado que las variables analizadas no son manipuladas directamente, sino observadas y modeladas a partir de parámetros técnicos, productivos y económicos previamente definidos. Asimismo, el estudio presenta un alcance descriptivo–correlacional, ya que caracteriza la estructura operativa y financiera del sistema acuícola y examina la relación existente entre variables como inversión inicial, costos operativos, productividad, precios de comercialización e indicadores de rentabilidad, siguiendo enfoques comúnmente utilizados en la evaluación de proyectos productivos rurales (Boardman et al., 2018).

Desde una perspectiva temporal, la investigación adopta un diseño transversal basado en la recopilación y análisis de información técnica, económica y comercial correspondiente al periodo de estudio. Los parámetros productivos, costos de inversión, costos operativos y referencias de mercado fueron integrados en un único marco analítico con el propósito de construir una representación financiera consistente del sistema productivo bajo condiciones

normales de operación.

El objetivo metodológico central consiste en integrar variables técnicas, económicas y de mercado dentro de un modelo financiero que permita evaluar la viabilidad del sistema acuícola comunitario y analizar la sensibilidad de sus resultados frente a cambios en variables críticas de operación. Esta aproximación facilita la identificación de los principales factores que condicionan la sostenibilidad económica del proyecto y proporciona elementos de apoyo para la toma de decisiones en escenarios de incertidumbre, condición ampliamente reconocida en la literatura de evaluación de inversiones agroalimentarias y acuícolas (Boardman et al., 2018; Engle, 2010).

Articulación institucional y acercamiento comunitario

El desarrollo del proyecto se realizó en articulación con iniciativas de cooperación internacional orientadas al fortalecimiento de proyectos productivos comunitarios, particularmente mediante el acompañamiento de voluntarios del programa Cuerpos de Paz (Peace Corps) donde se recopilaron los datos en el segundo periodo del año 2025. El acercamiento a esta organización permitió:

1. Comprender las dinámicas productivas y sociales de la comunidad local
2. Identificar oportunidades de desarrollo económico sostenible
3. Contextualizar el sistema acuícola dentro de estrategias de fortalecimiento comunitario
4. A través de este proceso se obtuvo información relevante sobre:
5. Condiciones productivas locales
6. Disponibilidad de recursos naturales
7. Capacidades organizativas de la comunidad
8. Oportunidades de mercado para productos acuícolas

Esta interacción permitió alinear el diseño técnico del sistema productivo con las necesidades reales del territorio, fortaleciendo la pertinencia social del proyecto y su potencial de implementación en contextos comunitarios.

Diseño metodológico mixto y abordaje de la población beneficiaria

Si bien el eje analítico del estudio es cuantitativo, centrado en la modelación económica y financiera del sistema acuícola, la naturaleza comunitaria del proyecto exige incorporar la voz de la población directamente interviniente y beneficiaria. Por ello, la investigación adopta un diseño de enfoque mixto con predominancia cuantitativa y un componente cualitativo exploratorio de carácter complementario, cuyo propósito es capturar el sentir, las expectativas y la proyección deseada de la comunidad de Galerazamba respecto a la implementación de un sistema acuícola comunitario. Esta decisión responde directamente a que tanto la pregunta de investigación como el objetivo general sitúan a la comunidad como sujeto central de la viabilidad y sostenibilidad del proyecto: un sistema acuícola comunitario no puede evaluarse únicamente por sus indicadores financieros, sino también por el grado de apropiación social y por la disposición real de sus miembros a sostenerlo en el tiempo.

Población y unidad de análisis

La población beneficiaria está constituida por los aproximadamente 2.000 habitantes del corregimiento de Galerazamba (Santa Catalina, Bolívar), con especial atención a los hogares vinculados a la pesca artesanal, la extracción de sal y el turismo del Mar Rosado, así como a los participantes de la experiencia previa impulsada por el programa Cuerpos de Paz (Peace Corps). La unidad de análisis del componente cualitativo corresponde a los actores comunitarios directamente involucrados en la experiencia demostrativa de cultivo de tilapia y a líderes locales con capacidad de decisión sobre la continuidad del proyecto.

Técnicas de recolección del sentir y la proyección de la comunidad

Durante el trabajo de campo del segundo semestre de 2025, y en articulación con los

voluntarios de Peace Corps, se aplicaron técnicas cualitativas de carácter participativo orientadas a explorar la percepción de la comunidad, entre ellas:

- **Conversatorios y entrevistas semiestructuradas** con miembros de la comunidad y líderes locales, orientadas a identificar su percepción sobre la actividad acuícola, sus temores frente al riesgo económico y su disposición a participar en un esquema colectivo.

- **Observación participante** durante las jornadas de acompañamiento técnico de la experiencia demostrativa, registrando las dinámicas de organización, cooperación y toma de decisiones al interior del grupo.

- **Indagación de la proyección deseada**, mediante preguntas orientadas al futuro que exploran cómo imagina la comunidad el proyecto en el mediano plazo (autoconsumo, generación de ingresos, vinculación al turismo gastronómico) y qué condiciones considera indispensables para sostenerlo sin dependencia externa continuada.

Sentir y proyección deseada de la comunidad: hallazgos preliminares

El acercamiento comunitario permitió identificar tres elementos centrales en el sentir de la población beneficiaria. En primer lugar, existe un interés genuino en la acuicultura como alternativa frente a la precariedad e informalidad de la pesca artesanal y a la estacionalidad del turismo, coherente con la vulnerabilidad estructural documentada del corregimiento. En segundo lugar, la experiencia previa con Peace Corps generó confianza en la viabilidad técnica del cultivo, pero también la percepción, expresada por la propia comunidad, de que las iniciativas tienden a debilitarse cuando cesa el apoyo externo. En tercer lugar, la proyección deseada de la comunidad no se limita al autoconsumo: existe la aspiración de articular la producción con la demanda gastronómica asociada al turismo del Mar Rosado, lo que coincide con la oportunidad de mercado identificada en el análisis cuantitativo. Estos hallazgos cualitativos no reemplazan la modelación financiera, sino que la contextualizan y refuerzan la pertinencia social del proyecto, asegurando que el diseño técnico y económico responda a las necesidades y expectativas reales del territorio (Manlosa, 2023; Castillo et al., 2026).

Consideraciones éticas

La participación de la comunidad fue voluntaria y se desarrolló bajo principios de consentimiento informado, respeto por el conocimiento local y devolución de resultados. La información recogida se utilizó exclusivamente con fines académicos y de fortalecimiento del proyecto comunitario, en concordancia con los lineamientos éticos de la Universidad EAN para trabajos de grado.

Conceptos clave utilizados en la investigación

Para el desarrollo del análisis financiero se utilizaron conceptos fundamentales de evaluación de proyectos productivos como se ve en la Tabla 1:

Tabla 1.
Conceptos Financieros Principales

Concepto	Ecuación	Componentes Fundamentales
CAPEX (Capital Expenditure)	$CapEx = \Delta PP\&E + Depreciación Actual$ $\Delta PP\&E =$ Cambios en propiedad, planta y equipo	.Excavación y conformación de estanques .Infraestructura hidráulica .Sistema de captación y bombeo de agua .Equipamiento productivo (aireadores, redes, básculas) .Infraestructura de apoyo .Costos de instalación y contingencias técnicas
OPEX (Operational Expenditure)	No aplica	.Alimentación de los peces .Mano de obra .Energía eléctrica .Mantenimiento de infraestructura .Insumos operativos

Nota. Elaboración propia.

CAPEX (Capital Expenditure)

El CAPEX corresponde a las inversiones iniciales necesarias para la puesta en marcha del sistema productivo, incluyendo infraestructura física, equipamiento productivo, adecuación del terreno y costos de instalación.

OPEX (Operational Expenditure)

El OPEX hace referencia a los costos operativos recurrentes necesarios para mantener la operación del sistema acuícola una vez iniciado el proceso productivo.

La literatura especializada señala que, en sistemas acuícolas semi-intensivos, el alimento balanceado representa entre el 50 % y el 65 % de los costos operativos totales, siendo el principal determinante del costo unitario de producción.

Modelos económicos y ecuaciones utilizadas

El análisis económico del proyecto se fundamenta en el enfoque de flujos de caja descontados, ampliamente reconocido como el estándar metodológico para la evaluación de proyectos productivos en contextos agrícolas, acuícolas y de desarrollo rural (Gittinger, 1982; Yescombe, 2014; Norton et al., 2021). Este enfoque permite integrar de manera consistente la inversión inicial, los costos operativos recurrentes y los ingresos esperados a lo largo del horizonte de evaluación, ajustando los flujos monetarios por el valor temporal del dinero. De esta manera, el modelo facilita la estimación de indicadores de rentabilidad que reflejan de forma más precisa la sostenibilidad económica del proyecto bajo diferentes escenarios productivos y de mercado.

A diferencia de evaluaciones simplificadas basadas exclusivamente en flujos anuales, el presente estudio modeló la operación financiera del sistema mediante períodos mensuales equivalentes a diez años de funcionamiento. Esta decisión metodológica permitió representar con mayor precisión el escalonamiento de las siembras, la secuencia de cosechas, los períodos de preparación de estanques y la distribución temporal de los costos operativos. La aproximación mensual resulta especialmente relevante en sistemas acuícolas semi-intensivos, donde los desfases entre inversión, crecimiento biológico y comercialización generan efectos acumulativos significativos sobre el VAN y la TIR. En consecuencia, los resultados financieros obtenidos reflejan no solo el balance agregado entre ingresos y costos, sino también la velocidad efectiva de recuperación del capital invertido.

La estimación del CAPEX se deriva directamente del dimensionamiento técnico del sistema productivo. Esta correspondencia entre la escala de producción proyectada, los requerimientos físicos del sistema y los flujos financieros utilizados en la evaluación es lo que asegura la consistencia interna del modelo: las decisiones técnicas, número de estanques, infraestructura hidráulica, equipamiento, quedan vinculadas directamente con los resultados financieros, sin recurrir a supuestos de inversión ajenos al modelo. En consecuencia, la inversión inicial refleja las condiciones reales de implementación de un sistema semi-intensivo de pequeña escala en un contexto comunitario.

La evaluación adopta un enfoque de costos completos: todos los componentes de inversión necesarios para la operación efectiva del sistema quedan incluidos en el CAPEX desde el inicio del modelo, sin exclusiones que pudieran sesgar los indicadores de rentabilidad hacia resultados favorables. Este criterio metodológico busca reducir posibles sesgos optimistas en la modelación financiera y garantizar que los indicadores de rentabilidad reflejen de manera fidedigna las condiciones reales de implementación del proyecto, particularmente en entornos rurales donde los costos de infraestructura, logística y equipamiento pueden ser subestimados

si no se consideran de forma integral.

El principal indicador de evaluación utilizado es el Valor Actual Neto (VAN), definido formalmente como se observa en la ecuación 1:

$$VAN = \sum_{t=0}^T \frac{FC_t}{(1+r)^t} \quad (1)$$

donde FC_t representa el flujo de caja neto en el período t , r es la tasa de descuento que refleja el costo de oportunidad del capital, y T corresponde al horizonte temporal del proyecto. Dado que el sistema presenta una dinámica operativa no uniforme durante los primeros años, derivada del escalonamiento de las cosechas, la maduración progresiva de la producción y la concentración inicial del CAPEX, los flujos de caja fueron modelados mensualmente para un horizonte equivalente a diez años de operación. Este enfoque permite representar con mayor precisión la temporalidad real del sistema productivo y evitar distorsiones asociadas a modelos anualizados simplificados, particularmente relevantes en proyectos acuícolas de pequeña escala con períodos de maduración operativa prolongados (Yescombe, 2014; Engle, 2010).

La tasa de descuento utilizada en el presente estudio corresponde a una Tasa Social de Descuento (TSD) del 11.25% efectivo anual para el año 2026 (Banco de la República de Colombia, 2026), seleccionada con base en criterios de evaluación de proyectos productivos rurales en contextos de economías emergentes y considerando el nivel de riesgo operativo asociado a sistemas acuícolas comunitarios de pequeña escala. Aunque el Departamento Nacional de Planeación (DNP) de Colombia ha recomendado tasas cercanas al 9% para proyectos públicos de carácter social para el mismo año, la literatura especializada señala que proyectos agro-productivos con exposición simultánea a riesgos biológicos, climáticos, comerciales y organizacionales requieren tasas superiores que reflejen adecuadamente la incertidumbre inherente a sus flujos de caja (Gittinger, 1982; Yescombe, 2014).

Desde la perspectiva internacional, revisiones comparativas sobre evaluación financiera en acuicultura reportan costos de capital y tasas de descuento que oscilan entre 10% y 15% para el año 2018 para proyectos desarrollados en países en desarrollo, particularmente en sistemas semi-intensivos con participación comunitaria y limitada capacidad de absorción de riesgo (Martínez- Paz et al., 2018). En este contexto, la tasa del 11.25% adoptada en el estudio busca mantener un enfoque prudente y consistente con las condiciones reales de implementación del proyecto en Galerazamba, evitando tanto la subestimación del riesgo financiero como el uso de escenarios excesivamente conservadores que distorsionen la interpretación económica del sistema.

De manera complementaria, se estimó la Tasa Interna de Retorno (TIR), definida como la tasa r que satisface la condición $VAN = 0$ para la secuencia completa de flujos de caja mensuales del proyecto. Este indicador permite evaluar el rendimiento implícito generado por el sistema productivo y compararlo con tasas de referencia utilizadas en proyectos agro-productivos y acuícolas. Asimismo, se calculó el período de recuperación de la inversión a partir de los flujos acumulados descontados y no descontados, permitiendo diferenciar entre recuperación contable y recuperación financiera efectiva. La incorporación de flujos mensuales resulta particularmente relevante en sistemas con escalonamiento operativo y desfases entre inversión, siembra y cosecha, donde las aproximaciones anuales pueden subestimar el efecto temporal del capital invertido (Yescombe, 2014; Baca Urbina, 2022).

El modelo incorpora relaciones técnicas propias de la acuicultura que las evaluaciones financieras genéricas suelen ignorar. Gracias a ello, los flujos económicos se derivan directamente de parámetros productivos observables. En particular, la producción efectiva anual (Q_e) se estima como:

$$Q_e = Q_n(1 - m)$$

donde Q_n corresponde a la producción nominal del sistema y m representa la tasa de mortalidad durante el ciclo productivo. Esta formulación permite vincular directamente el desempeño biológico del sistema con los ingresos esperados, evitando supuestos implícitos sobre la estabilidad productiva del cultivo (Boyd, 2015; FAO, 2020).

De manera análoga, el consumo total de alimento (A) se calcula como:

$$A = Q_e \times FCR$$

donde FCR corresponde al índice de conversión alimenticia. Dado que el alimento constituye el principal componente del OPEX en sistemas acuícolas semi-intensivos, esta relación resulta crítica para la estimación del costo unitario de producción y para el análisis de sensibilidad posterior. La literatura especializada destaca que pequeñas variaciones en el FCR pueden generar impactos significativos sobre la rentabilidad del sistema, particularmente en esquemas de producción a pequeña escala (Tacon & Metian, 2015; Boyd, 2015).

Para operacionalizar el enfoque metodológico adoptado, el análisis económico y financiero del proyecto se fundamenta en un conjunto de modelos y expresiones formales ampliamente utilizados en la evaluación de proyectos agro-productivos y de desarrollo rural. La aplicación explícita de estos modelos permite traducir los supuestos técnicos y comerciales del sistema acuícola en métricas económicas comparables, garantizando así la trazabilidad entre desempeño productivo, estructura de costos y resultados financieros. En el anexo C se puede ver una síntesis de los modelos empleados y su propósito analítico: el lector puede verificar que ningún indicador se apoya en estimaciones ad hoc, sino en herramientas consolidadas en la literatura especializada.

Instrumentos y herramientas de análisis

Para la estimación y análisis de la información se utilizaron diferentes herramientas metodológicas y tecnológicas:

Modelación financiera

Se construyó un modelo financiero de flujos de caja proyectados que permitió integrar la inversión inicial (CAPEX), los costos operativos (OPEX), la producción estimada, los ingresos por ventas y los indicadores financieros (VAN, TIR y periodo de recuperación); dicho modelo facilitó la evaluación de la viabilidad económica del sistema bajo distintos supuestos productivos y de mercado.

Software utilizado

Durante el desarrollo del análisis se utilizaron herramientas de software orientadas a la modelación financiera y análisis de datos:

- Microsoft® Excel versión 16.109.2 para la construcción del modelo financiero, cálculo de indicadores y simulación de escenarios.
- Herramientas de análisis estadístico y gráfico, para visualizar la evolución de costos, ingresos y flujos de caja del proyecto. Estas herramientas permitieron realizar

simulaciones económicas y evaluar la sensibilidad del sistema frente a cambios en variables estratégicas.

- DataWrapper, fue utilizado para la ejecución de la figura 1 y los mapas en el anexo B.

Selección de escenarios de análisis

Para evaluar la robustez económica del proyecto se desarrolló un análisis de escenarios, uno base y cuatro de sensibilidad, metodología ampliamente utilizada en evaluación de proyectos productivos para analizar la sensibilidad de este frente a variaciones moderadas en precios, productividad y estructura de financiamiento.

Cada escenario mantiene constante el diseño técnico del sistema productivo (número de estanques, escala de producción y tecnología utilizada), pero modifica combinaciones plausibles de variables estratégicas como:

- Precio de venta del pescado
- Tasa de mortalidad
- Estructura de financiamiento del CAPEX
- Acceso a mercados diferenciados

Este enfoque permite identificar los umbrales de viabilidad financiera del proyecto y las condiciones bajo las cuales el sistema podría alcanzar sostenibilidad económica.

Procedimiento metodológico de la investigación

El desarrollo metodológico del estudio sigue una lógica secuencial que garantiza coherencia interna y trazabilidad analítica entre las distintas etapas del análisis.

Fase 1: Caracterización del sistema productivo

La primera fase consistió en definir el sistema productivo desde el punto de vista técnico: especie cultivada, escala de producción, número de estanques, volúmenes operativos y ciclos de cultivo. Esta caracterización es la base del modelo, y es lo que permite establecer un vínculo directo entre los parámetros biológicos del sistema y los resultados económicos proyectados.

Fase 2: Estimación de inversión inicial (CAPEX)

A partir del diseño técnico se calcularon los requerimientos de infraestructura, equipamiento y capital de trabajo necesarios para iniciar el sistema productivo, considerando los precios y disponibilidad de materias primas en el mercado local para entre el año 2025 y 2026. La inclusión explícita del capital de trabajo responde a la necesidad de reflejar adecuadamente las restricciones de liquidez que caracterizan los primeros ciclos productivos en sistemas acuícolas de pequeña escala, donde los ingresos se materializan únicamente al momento de la cosecha mientras que los costos operativos se distribuyen a lo largo del ciclo productivo. Este aspecto resulta particularmente relevante en proyectos comunitarios, en los que la disponibilidad de recursos financieros suele ser limitada y el periodo inicial de operación puede representar un desafío para la sostenibilidad económica del sistema (FAO, 2020).

Fase 3: Estimación de costos operativos (OPEX)

Se estimaron los costos operativos recurrentes (OPEX), vinculándolos directamente con los parámetros técnicos definidos previamente: densidad de siembra, mortalidad esperada, índice de conversión alimenticia y duración de los ciclos productivos. Este ejercicio permitió derivar el costo unitario de producción como cociente entre OPEX total y la producción efectiva, indicador clave para evaluar la competitividad económica del sistema.

Fase 4: Estimación de ingresos

Se estimaron los ingresos a partir de la producción efectiva del sistema y de los precios de comercialización observados en los mercados regionales. Para la modelación financiera se adoptaron supuestos conservadores de precios, consistentes con las condiciones reales de comercialización del pescado fresco en mercados locales y circuitos turísticos de la región Caribe colombiana para el año 2025. La integración de costos operativos, ingresos proyectados e inversión inicial permitió construir los flujos de caja del proyecto, que constituyen el insumo directo para el cálculo de los indicadores financieros utilizados en la evaluación.

Fase 5: Construcción de flujos de caja

Se integraron los costos, ingresos e inversión inicial en un modelo de flujos de caja proyectados, base para la evaluación financiera del proyecto.

Fase 6: Análisis financiero y de sensibilidad

Finalmente, se calcularon indicadores financieros y se realizaron análisis de sensibilidad para evaluar el impacto de variaciones en variables clave sobre la viabilidad del sistema productivo.

Técnicas para el análisis de la información

El diseño técnico desarrollado busca mantener un equilibrio entre productividad biológica, simplicidad operativa y sostenibilidad financiera. Los parámetros adoptados permiten construir un escenario base coherente con las capacidades operativas de un sistema acuícola comunitario en fase inicial de consolidación. Esta coherencia entre variables técnicas, escala de producción y condiciones de mercado constituye la base sobre la cual se desarrolla la evaluación financiera, particularmente en lo relacionado con la estructura de costos operativos, los flujos de caja y la sensibilidad económica del proyecto frente a cambios en variables estratégicas.

Considerando el enfoque cuantitativo del estudio, el análisis de datos se orienta a la construcción y evaluación de modelos económicos que permiten transformar los parámetros técnicos del sistema productivo como la producción estimada, el consumo de alimento, la tasa de mortalidad y los precios de mercado en indicadores financieros comparables. De esta manera, la información recopilada se procesa mediante herramientas de modelación financiera que permiten estimar el comportamiento económico del proyecto a lo largo del horizonte temporal de evaluación.

Una de las principales técnicas utilizadas en el análisis de la información corresponde al análisis de flujos de caja descontados, ampliamente reconocido en la literatura como el método estándar para evaluar la rentabilidad económica de proyectos productivos en sectores agrícolas, acuícolas y de desarrollo rural. (Yescombe, 2014; Baca Urbina, 2022). Este enfoque

permite integrar de manera sistemática la inversión inicial, los costos operativos recurrentes y los ingresos proyectados, considerando el valor temporal del dinero.

A partir de esta técnica se construyó un modelo de flujos de caja proyectados, el cual constituye el instrumento central de análisis del estudio. Este modelo incorpora de forma explícita los principales componentes financieros del sistema productivo, incluyendo la inversión inicial requerida para la implementación del proyecto (CAPEX), los costos operativos recurrentes asociados al funcionamiento del sistema (OPEX) y los ingresos derivados de la comercialización del producto acuícola. La integración de estos elementos permite estimar el comportamiento económico del sistema a lo largo del horizonte de evaluación del proyecto.

En el marco de este modelo financiero, se calcularon diversos indicadores de rentabilidad, que permiten evaluar la viabilidad económica del sistema productivo desde diferentes perspectivas analíticas. Entre los principales indicadores utilizados se encuentran el Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el periodo de recuperación de la inversión. El VAN permite determinar si el proyecto genera o destruye valor económico al comparar el valor presente de los flujos de caja futuros con la inversión inicial requerida. Por su parte, la TIR permite estimar la rentabilidad relativa del proyecto, mientras que el periodo de recuperación permite evaluar el tiempo necesario para recuperar la inversión inicial a partir de los flujos de caja generados por la operación del sistema productivo.

De manera complementaria, el análisis incorpora técnicas de estimación de costos unitarios de producción, con el fin de evaluar la competitividad económica del sistema frente a los precios observados en el mercado. Esta técnica consiste en calcular el costo total de producción por unidad de producto, considerando los principales componentes del OPEX, tales como el alimento balanceado, la mano de obra, el consumo energético y los costos de mantenimiento. La comparación entre el costo unitario de producción y el precio de venta estimado permite determinar el margen económico potencial del sistema productivo.

Otra técnica relevante utilizada en el análisis corresponde al análisis de sensibilidad, el cual permite evaluar cómo cambios en determinadas variables estratégicas pueden afectar el desempeño financiero del proyecto. En sistemas productivos biológicos como la acuicultura, variables como la tasa de mortalidad, la eficiencia en la conversión alimenticia, el precio de venta del producto o los costos de insumos pueden generar variaciones significativas en los resultados económicos del sistema. Por esta razón, el análisis de sensibilidad se emplea para identificar cuáles de estas variables tienen mayor impacto sobre los indicadores financieros del proyecto. Para entender el impacto de variaciones en las variables medidas en el estudio, puede consultarse el anexo D.

Adicionalmente, se implementó una técnica de análisis de escenarios, con el propósito de evaluar el comportamiento del sistema bajo diferentes condiciones productivas y de mercado. Esta técnica consiste en construir varios escenarios posibles que reflejan combinaciones plausibles de variables clave del modelo financiero. En el presente estudio se analizaron distintos escenarios que consideran variaciones en variables como los precios de venta del producto, los niveles de mortalidad del sistema productivo y la estructura de financiamiento de la inversión inicial. El análisis de estos escenarios permite identificar las condiciones bajo las cuales el sistema podría alcanzar niveles de viabilidad económica.

El uso combinado de estas técnicas permite generar una evaluación integral del proyecto, ya que no solo se analizan los resultados financieros bajo condiciones base, sino también la capacidad del sistema para adaptarse a cambios en variables críticas del entorno productivo y económico. Este enfoque resulta especialmente relevante en proyectos comunitarios o rurales, donde la incertidumbre asociada a factores productivos y de mercado puede ser significativa.

En cuanto a las herramientas tecnológicas utilizadas para el procesamiento y análisis de la información, el modelo financiero fue desarrollado mediante el uso de Microsoft Excel, software ampliamente utilizado en la evaluación de proyectos debido a su capacidad para realizar

cálculos financieros, modelación de flujos de caja y simulaciones de escenarios. Esta herramienta permitió estructurar el modelo económico del proyecto, realizar los cálculos de indicadores financieros y representar gráficamente la evolución de costos, ingresos y flujos de caja a lo largo del horizonte de evaluación.

Asimismo, Excel permitió realizar análisis comparativos entre distintos escenarios financieros, facilitando la visualización del impacto que determinadas variables pueden tener sobre la rentabilidad del sistema productivo. La utilización de este tipo de herramientas informáticas contribuye a mejorar la precisión del análisis y facilita la trazabilidad entre los supuestos técnicos del modelo y los resultados financieros obtenidos.

En síntesis, las técnicas de análisis de la información utilizadas en esta investigación se basan en la integración de herramientas de evaluación financiera, modelación económica y análisis de escenarios. Este enfoque permite analizar de manera rigurosa la viabilidad económica del sistema acuícola comunitario, identificando tanto sus limitaciones financieras como las condiciones bajo las cuales podría alcanzar niveles sostenibles de rentabilidad y operación.

Trabajo de Campo

Procesamiento de los datos

La presente sección expone los hallazgos derivados del análisis de mercado, el diseño técnico del sistema acuícola y la evaluación financiera del proyecto en el corregimiento de Galerazamba. Los resultados se presentan de manera estructurada y objetiva, en concordancia con los objetivos de la investigación, integrando el procesamiento de datos, su análisis e

interpretación, y la formulación de una propuesta de solución.

Análisis de Mercado

Esta sección presenta los resultados del análisis de mercado. Se trabajó con información demográfica, patrones de consumo, dinámica turística y segmentación comercial para estimar con suficiente robustez la demanda potencial de pescado fresco en el área de influencia del proyecto, tomados en un rango de tiempo de los últimos 20 años. El análisis no se limita a describir el entorno: se estructura como un ejercicio cuantitativo y contextualizado, orientado a sustentar las decisiones estratégicas del proyecto y a evaluar su viabilidad económica bajo condiciones realistas de mercado.

Consumo local de pescado

El punto de partida del análisis corresponde a la estimación del consumo local de pescado fresco, considerando la demanda residencial potencial de la población del corregimiento de Galerazamba. Para su estimación se aplica la siguiente expresión:

$$D_L = P \times C_{pc}$$

donde D_L corresponde a la demanda local anual (kg/año), P es la población residente y C_{pc} es el consumo per cápita de pescado (kg/persona/año).

De acuerdo con datos del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, el consumo per cápita de pescado en Colombia ascendió a 9.6 kg por persona al año en 2021, registrando un crecimiento sostenido durante la última década (MADR, 2021). Este promedio nacional, sin

embargo, no captura la heterogeneidad territorial del consumo. La FAO documenta que las diferencias en el consumo de pescado son significativas al interior de los países, siendo sistemáticamente superiores en áreas costeras y ribereñas donde el pescado constituye una fuente habitual de proteína animal (FAO, 2020). En comunidades pesqueras del Caribe colombiano, la pesca artesanal de pequeña escala cumple un doble rol, autoconsumo y generación de ingresos, siendo esencial para la seguridad alimentaria tanto de los hogares pescadores como de los no pescadores (Maldonado et al., 2022).

No obstante, en contextos de alta informalidad y bajos ingresos como el de Galerazamba, el acceso económico al pescado puede ser más restrictivo que en otras zonas costeras con mayor capacidad adquisitiva. Por esta razón, se adopta un consumo per cápita conservador de 8 kg/persona/año, valor inferior al promedio nacional de 9.6 kg, que reconoce las restricciones económicas estructurales del corregimiento, pero se mantiene dentro de rangos coherentes con los patrones de consumo observados en comunidades rurales costeras de bajos ingresos del Caribe colombiano (Simman et al., 2022). La Tabla 2 resume los supuestos adoptados y el cálculo derivado.

Tabla 2.
Estimación de la demanda local de pescado fresco en Galerazamba

Variable	Valor asumido	Fuente
Población residente	~2,000 habitantes	Alcaldía de Santa Catalina (s.f.)

Consumo per cápita nacional Colombia	9.6 kg/persona/año	MADR (2021) / Min Agricultura (2021)
Consumo per cápita adoptado (ajuste conservador)	8.0 kg/persona/año	Estimación de los autores
Demanda local anual estimada	~16,000 kg (~16 t)	Cálculo derivado

Nota. El consumo per cápita adoptado se sitúa intencionalmente por debajo del promedio nacional como supuesto conservador que reconoce las restricciones de acceso económico del contexto rural. Esta estimación constituye un límite inferior de la demanda efectiva local, coherente con el perfil socioeconómico de comunidades pesqueras artesanales del Caribe colombiano (Maldonado et al., 2022; Simmance et al., 2022). Elaboración propia.

Demanda inducida por el turismo

De manera complementaria, el análisis incorpora la demanda inducida por el turismo como un componente que amplía el mercado accesible del proyecto. Pascoe et al. (2023) documentan que los encadenamientos entre turismo y sistemas alimentarios costeros tienen un impacto económico mensurable: la industria pesquera y la disponibilidad de pescado fresco local generan beneficios directos al turismo costero, siendo responsables de hasta el 19% del número total de días de visita a comunidades costeras y contribuyendo de manera significativa al gasto turístico regional. El gasto de los turistas en alimentos puede representar hasta un tercio de su presupuesto total de viaje, lo que convierte la disponibilidad de productos alimentarios frescos locales en un factor determinante tanto en la experiencia turística como en la selección del destino (Telfer & Wall, 1996; Torres, 2003).

En el caso específico de Galerazamba, este efecto inducido resulta particularmente relevante debido a la creciente visibilidad turística del Mar Rosa. La estimación del flujo de visitantes se construye a partir de las restricciones operativas documentadas del destino: acceso controlado con guía obligatorio, operación en horarios limitados y dos temporadas

principales de coloración rosada al año (diciembre–abril y agosto–septiembre). Bajo estas condiciones de operación regulada, y considerando la tendencia de recuperación del turismo en el departamento de Bolívar documentada a partir de 2022, se adopta un escenario moderado de 18,000 visitantes anuales como referencia para el modelo; esta cifra es una estimación propia de los autores, derivada de las restricciones operativas documentadas del destino y de la tendencia de recuperación del turismo en Bolívar registrada a partir de 2022 (Ministerio de Comercio, Industria y Turismo, 2024), y no corresponde a estadísticas oficiales de afluencia específica para Galerazamba, las cuales no están disponibles públicamente.

Con el fin de traducir este flujo turístico estimado en magnitudes operativas para el modelo financiero, se estimó la demanda turística inducida de pescado fresco mediante la siguiente expresión:

$$Dt = V \times E \times C \times S$$

donde:

Dt : demanda turística anual de pescado (kg/año)

V : número de visitantes anuales

E : proporción de visitantes que consumen pescado

C : consumo promedio de pescado por visitante por día

S : estancia promedio en días

Los resultados del cálculo se presentan en la Tabla 3. Los valores de estancia promedio, proporción de consumo y cantidad por día se derivan de rangos reportados en la literatura para destinos costeros de acceso diurno con perfil de turismo de naturaleza (Telfer & Wall, 1996; Torres, 2003; Pascoe et al., 2023).

Tabla 3.

Estimación de la demanda turística inducida de pescado fresco

Variable	Valor asumido
Visitantes anuales	18,000
Estancia promedio (días)	1.5
Consumo promedio de pescado (kg/visitante/día)	0.25
Porcentaje de visitantes que consumen pescado	60 %
Demanda turística anual estimada (toneladas)	4.05

Nota. Elaboración propia a partir de supuestos conservadores basados en literatura especializada sobre encadenamientos, turismo y sistemas alimentarios costeros. La cifra de visitantes anuales corresponde a una estimación moderada derivada de la capacidad operativa controlada y de la tendencia de crecimiento turístico departamental (Ministerio de Comercio, Industria y Turismo, 2024). Esta estimación no proviene de registros estadísticos oficiales de Galerazamba y debe interpretarse con la cautela metodológica correspondiente.

Condiciones de precios en los segmentos de mercado

La caracterización de los segmentos de mercado accesibles para el sistema productivo requiere identificar los rangos de precios vigentes en los canales de comercialización relevantes para el proyecto. En el contexto de Galerazamba, coexisten dos segmentos con estructuras de precios diferenciadas: el mercado local tradicional, orientado al consumo residencial de la comunidad, y el mercado vinculado al sector turístico y gastronómico.

De acuerdo con los boletines semanales del Sistema de Información de Precios y Abastecimiento del Sector Agropecuario (SIPSA), operado por el DANE, los valores

comerciales observados para tilapia y pescado fresco en mercados del Caribe colombiano se sitúan en rangos de 11,000 a 12,500 COP/kg para el segmento local tradicional, y de 13,000 a 16,000 COP/kg para el segmento turístico y gastronómico durante el año 2024(DANE–SIPSA, 2024; 2025).

Expresados en términos comparables para análisis internacional, y considerando una tasa de cambio de referencia de 3,800 COP/USD calculada como promedio de los últimos seis meses de 2025, estos rangos equivalen aproximadamente a 2.89–3.28 USD/kg y 3.42–4.21 USD/kg respectivamente. Para más detalles sobre rangos de precios mayoristas de pescados en Colombia, dirigirse al anexo E.

La diferenciación de precios entre ambos segmentos responde a factores como la regularidad del suministro, la presentación del producto, la calidad percibida y la capacidad de pago del canal comprador. En el segmento turístico, los establecimientos HORECA suelen valorar la disponibilidad confiable del producto por encima del precio unitario, generando una prima comercial accesible para productores locales que puedan garantizar volúmenes regulares y calidad homogénea (Ababouch et al., 2023; Torres, 2003).

Desde una perspectiva competitiva, los rangos identificados se ubican por encima del costo unitario de producción que se calculará para el sistema propuesto, generando márgenes brutos positivos en ambos segmentos. Esta relación entre costo unitario y precio de venta constituye una condición necesaria para la sostenibilidad financiera del proyecto y será explorada en detalle en la evaluación financiera. La comparación se realiza exclusivamente a nivel de primera venta del producto fresco, evitando usar como referencia el precio final al consumidor, que incorpora costos adicionales de transformación y comercialización ajenos al productor primario.

La subsección siguiente integra los componentes del consumo local y turístico en una

estimación de demanda total que permite evaluar la coherencia entre el tamaño del mercado accesible y la capacidad productiva del sistema.

Demanda total estimada y coherencia con la capacidad productiva

La integración del consumo residencial local y la demanda turística inducida permite estimar una demanda agregada total de aproximadamente 20 toneladas anuales de pescado fresco en el área de influencia directa del proyecto. La Tabla 3 descompone esta estimación por segmento de mercado.

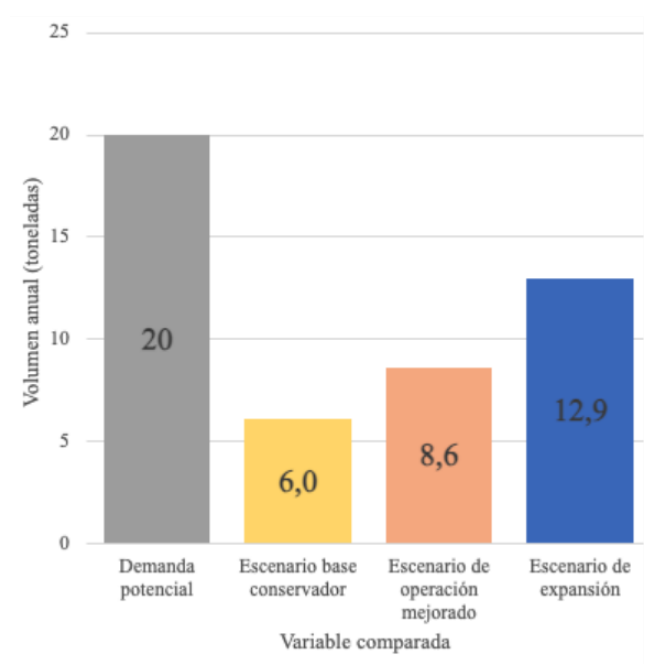
Tabla 4.
Descomposición de la demanda total anual de pescado fresco

Segmento de mercado	Demanda estimada (ton/año)	Participación (%)
Consumo local residencial	16	80 %
Turismo inducido	4	20 %
Total demanda estimada	20	100 %

Nota. Elaboración propia con base en los resultados del análisis de mercado. El consumo local residencial se estimó a partir de un consumo per cápita conservador de 8 kg/persona/año sobre una población de ~2,000 habitantes.

Con el fin de evaluar la coherencia entre el tamaño del mercado y la escala del sistema productivo propuesto, la Figura 2 compara la demanda potencial total con el rango de capacidad productiva anual del proyecto bajo sus distintos escenarios de operación.

Figura 2
Comparación entre demanda potencial y capacidad productiva del sistema



Nota. Elaboración propia con base en los resultados del análisis de mercado y los supuestos del modelo productivo. La banda de capacidad productiva refleja el rango entre el escenario base conservador (4 estanques, 3 peces/m², ~6 t/año) y el escenario de operación mejorada (4 estanques, 4 peces/m², ~8.6 t/año) y el escenario de expansión (6 estanques, operación mejorada, ~12.9 t/año).

La demanda potencial total de 20 toneladas anuales supera ampliamente la capacidad productiva del sistema en cualquiera de sus escenarios de operación. El escenario base conservador (4 estanques, ~6 t/año) cubre el 30% de la demanda total, mientras que el escenario de operación mejorada (4 estanques, ~8.6 t/año) alcanza el 43%, y el escenario de expansión a seis estanques con operación mejorada (~12.9 t/año) representaría el 64% del mercado accesible estimado. En ninguno de los escenarios el sistema productivo enfrenta restricciones de demanda, lo que elimina el riesgo de sobreoferta local y confirma que la variable limitante del proyecto no es el mercado sino la capacidad técnica y financiera del sistema para operar de manera sostenida.

Este resultado tiene una implicación estratégica relevante: la brecha entre la demanda insatisfecha (~11.4–14 t/año en el escenario base) y la producción del sistema representa al mismo tiempo una oportunidad de crecimiento gradual y una garantía de absorción comercial para la totalidad de la producción proyectada. En este contexto, la estrategia más adecuada no es expandir agresivamente la escala productiva, sino consolidar la operación bajo parámetros conservadores y avanzar progresivamente hacia la operación mejorada a medida que se fortalecen las capacidades técnicas del equipo comunitario.

Sobre la base de las condiciones de demanda identificadas, 20 toneladas anuales con un mercado local que absorberá la totalidad de la producción proyectada sin riesgo de sobreoferta, la siguiente sección presenta el diseño técnico del sistema acuícola propuesto, describiendo los parámetros biológicos, la infraestructura productiva y los supuestos operativos que sustentan los escenarios de producción utilizados en la evaluación financiera.

Diseño técnico del sistema productivo

El diseño técnico del sistema productivo constituye el eje articulador entre el análisis de mercado desarrollado previamente y la evaluación financiera. En este sentido, el diseño técnico se concibe un proceso de optimización integral bajo restricciones económicas, sociales y ambientales. Desde esta perspectiva, el sistema propuesto contempla la construcción de cuatro estanques productivos, dimensionados para operar bajo un esquema de acuicultura semi-intensiva en estanques de tierra, con ciclos escalonados que permiten una continuidad en la oferta anual, modalidad ampliamente documentada como adecuada para contextos rurales y comunitarios en regiones tropicales.

A diferencia de sistemas intensivos altamente tecnificados, los estanques de tierra semi-

intensivos permiten alcanzar volúmenes de producción comercialmente relevantes sin incurrir en niveles de inversión y complejidad operativa incompatibles con los precios identificados en los segmentos local y turístico del mercado.

Desde el punto de vista económico, la elección de estanques de tierra semi-intensivos está directamente relacionada con la necesidad de mantener una estructura de costos alineada con los rangos de precios observados en el análisis de mercado. Estudios técnicos y económicos coinciden en que este tipo de sistemas presenta una relación favorable entre inversión inicial, costos operativos y productividad, especialmente cuando se prioriza el abastecimiento de mercados locales y de proximidad (Boyd, 2015; Engle, 2010; FAO, 2020).

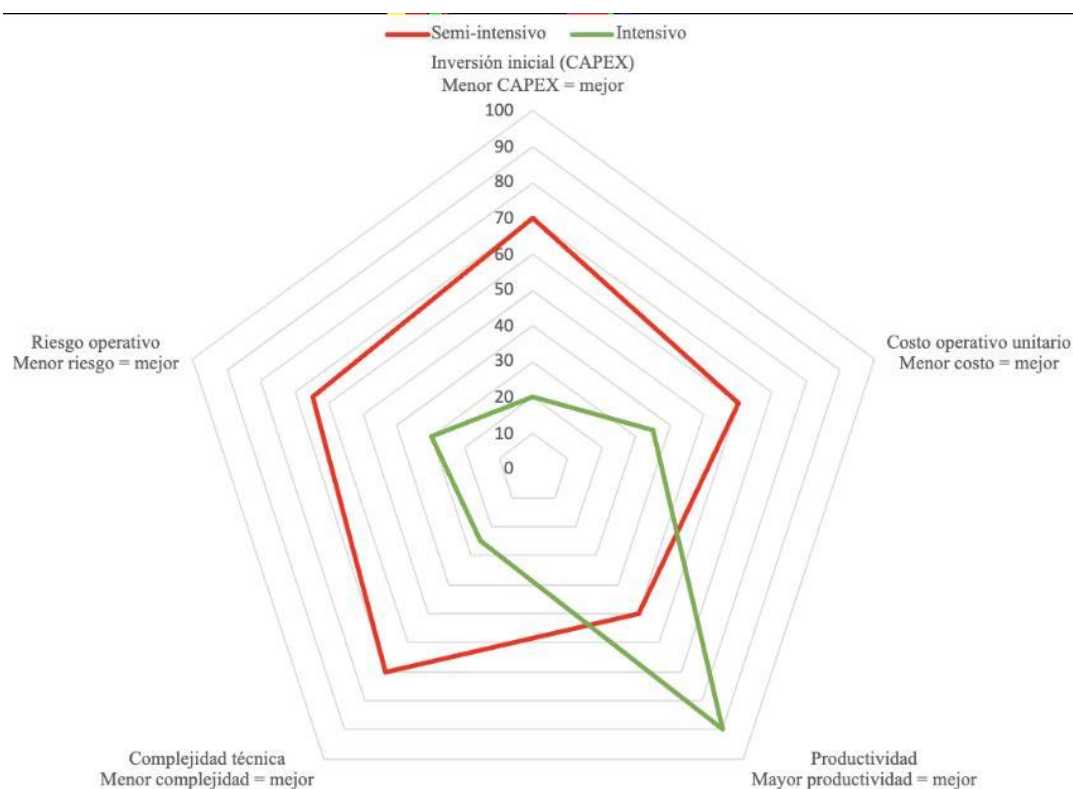
Comparación de alternativas tecnológicas de cultivo

La elección del sistema semi-intensivo en estanques de tierra se fundamenta en una comparación explícita entre alternativas tecnológicas disponibles para la acuicultura continental.

La Figura 3 presenta una comparación multidimensional de ambos sistemas mediante índices normalizados contruidos a partir de los rangos técnicos y económicos reportados en la literatura (Boyd, 2015; Tacon & Metian, 2015; FAO, 2022).

Figura 3

Comparación multidimensional del desempeño técnico-económico de sistemas acuícolas semi-intensivos e intensivos mediante índices normalizados.



Nota. Figura de elaboración propia. Los índices normalizados (escala 0–100) fueron contruidos a partir de los rangos técnicos y económicos reportados en Boyd (2015), Tacon & Metian (2015) y FAO (2022), ajustados al contexto del proyecto. En todos los ejes, valores más altos indican condiciones más favorables para la gestión comunitaria del sistema (menor costo, menor complejidad, menor riesgo, mayor adecuación).

Los resultados muestran que el sistema semi-intensivo presenta un desempeño más favorable en dimensiones como inversión inicial (CAPEX), costo operativo unitario, complejidad técnica y riesgo operativo, mientras que el sistema intensivo destaca únicamente en la dimensión de productividad por unidad de área. Este mayor rendimiento productivo se acompaña, sin embargo, de mayores requerimientos de capital y de capacidades técnicas

especializadas, lo cual incrementa la exposición financiera del proyecto y limita su viabilidad en contextos productivos comunitarios.

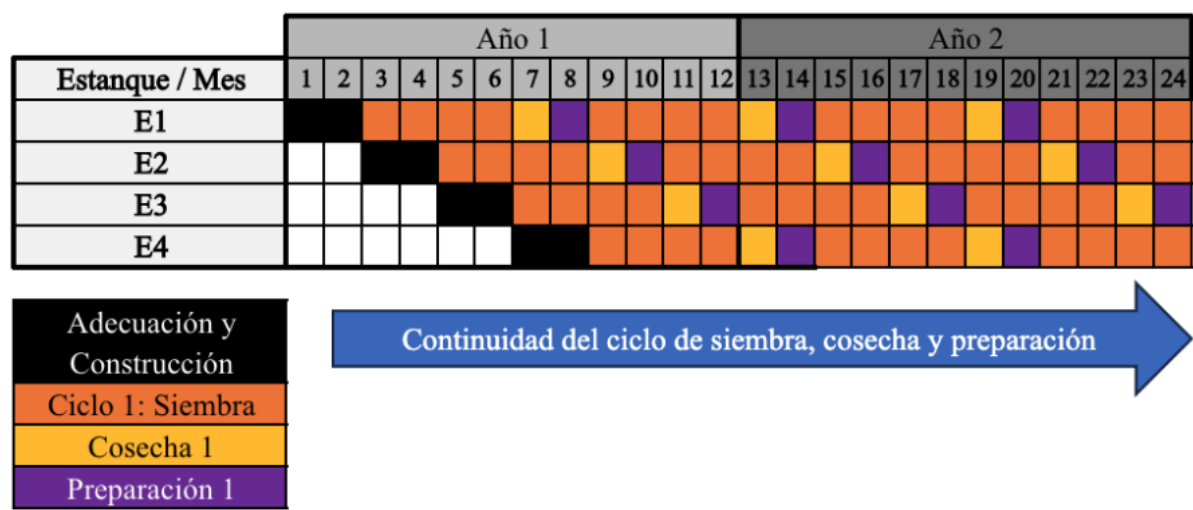
Ciclos productivos y escalonamiento de la producción

Los ciclos productivos del sistema fueron definidos bajo un esquema operativo de seis meses por estanque, integrando cuatro meses de fase de engorde, un mes destinado a cosecha y comercialización, y un mes adicional de preparación y adecuación para el siguiente ciclo. Esta estructura permite desarrollar dos ciclos productivos anuales por unidad de cultivo y permite alcanzar un peso de cosecha objetivo de 500 g por individuo bajo condiciones de cultivo semi-intensivo en estanques de tierra con temperatura estable en el Caribe colombiano. La combinación de duración y peso objetivo es técnicamente coherente: con densidades moderadas, los machos de tilapia pueden alcanzar pesos de 400–500 g en cinco a ocho meses dependiendo de la temperatura del agua, y las temperaturas del litoral Caribe, entre 27 y 32°C durante todo el año, se sitúan en el rango óptimo para el crecimiento de *Oreochromis niloticus* (Boyd, 2015; El-Sayed, 2020). El peso de cosecha de 500 g corresponde además al rango de mayor aceptación en mercados locales colombianos, donde el tamaño comercial preferido de tilapia oscila entre 350 y 500 g, lo que elimina el riesgo de producir una presentación inadecuada para el segmento de mercado objetivo (El-Sayed, 2020).

Para optimizar el uso de la infraestructura y asegurar una oferta de producción más regular, el proyecto adopta un esquema de incorporación progresiva de estanques y escalonamiento de ciclos productivos. Este enfoque permite distribuir las etapas de siembra, cosecha y preparación a lo largo del tiempo, reduciendo la concentración de la producción en un único periodo y facilitando la planificación operativa, logística y comercial del sistema.

La Figura 4 presenta el cronograma de implementación y escalonamiento productivo del sistema, considerando la construcción progresiva de los cuatro estanques y el inicio diferenciado de sus ciclos de cultivo.

Figura 4
 Cronograma de ciclos productivos y escalonamiento de cosechas por estanque.



Nota. Elaboración propia con base en ciclos productivos de 4 meses, 1 mes en cosecha y 1 mes de preparación entre de ciclos, reportados para sistemas semi-intensivos de tilapia en estanques de tierra (Boyd, 2015; El-Sayed, 2020; FAO, 2022). La operación parcial del primer año explica la diferencia entre los ingresos estabilizado y los ingresos iniciales del flujo de caja.

Durante la fase inicial del proyecto se desarrolla un proceso gradual de construcción y puesta en operación de los estanques. En este esquema, el Estanque 1 inicia su primer ciclo en el mes 3, seguido por los demás estanques en intervalos de dos meses, conforme se finalizan las obras de construcción y adecuación. Este proceso permite que las primeras cosechas se distribuyan progresivamente en el tiempo, iniciando en el mes 7 con el primer estanque y continuando con los demás en meses sucesivos. En el mes 8, se inicia un ciclo de adecuación y preparación de cosecha, etapa necesaria para iniciar el siguiente ciclo productivo.

Una vez que los cuatro estanques se encuentran operativos, el sistema entra en un régimen de rotación productiva continua, donde las diferentes unidades de cultivo se encuentran simultáneamente en distintas fases del ciclo (siembra, crecimiento, cosecha y preparación). Este escalonamiento operativo contribuye a mejorar la estabilidad de la producción anual y reduce la variabilidad en los flujos de ingreso asociados a la comercialización del pescado.

Manejo productivo y estrategia de alimentación

El diseño de los ciclos productivos adopta un enfoque conservador en términos de densidad de siembra y carga biológica, con el objetivo de reducir la probabilidad de eventos críticos durante las fases iniciales de operación. La densidad adoptada en el escenario base es de 3 peces/m², que corresponde al rango bajo-medio del sistema semi-intensivo, donde la evidencia técnica recomienda densidades de 3-4 alevines/m² para sistemas semi-intensivos en estanques de tierra. Esta decisión es coherente con el perfil de primera operación comunitaria del proyecto: a menor densidad, menor competencia por alimento y oxígeno, menor riesgo de degradación de la calidad del agua y mayor margen de error operativo para un equipo sin experiencia previa (Boyd, 2015; Saavedra Martínez, 2006).

Las prácticas de alimentación adoptadas buscan maximizar la eficiencia en la conversión del alimento balanceado bajo las condiciones del sistema. El modelo adopta un índice de conversión alimenticia (FCR) de 1.6, valor que representa un supuesto conservador para el escenario base de primera operación. Los FCR en sistemas de tilapia varían entre 1.4 y 2.5, siendo los valores más bajos asociados a sistemas bien manejados con alimento de alta

calidad Productive, mientras que los sistemas comunitarios en etapas iniciales frecuentemente presentan FCR entre 1.7 y 2.0 hasta que el equipo consolida sus prácticas de manejo (Tacon & Metian, 2015). El valor de 1.6 se sitúa en un punto intermedio realista: inferior al desempeño esperable en los primeros ciclos, pero alcanzable con alimento comercial balanceado de proteína adecuada y supervisión técnica básica. A medida que el equipo comunitario gana experiencia, la mejora del FCR hacia 1.5, documentada como estándar de referencia para sistemas semi-intensivos bien manejados (Engle, 2010), constituye uno de los principales vectores de mejora financiera del sistema, como se desarrolla en el análisis de sensibilidad.

Modelación del crecimiento y dinámica de biomasa

El manejo productivo del sistema se fundamenta en la relación entre las prácticas de alimentación, la dinámica de crecimiento biológico de la tilapia y la eficiencia en la conversión del alimento en biomasa comercializable. Para caracterizar esta dinámica, el crecimiento individual de los organismos se modeló mediante la expresión exponencial:

$$W(t) = W_i \times e^{kt}$$

donde $W(t)$ es el peso promedio del pez en el tiempo t (gramos), W_i es el peso inicial de siembra (gramos), k es la constante de crecimiento exponencial y t es el tiempo transcurrido en días.

Para el sistema propuesto se consideró un peso inicial de siembra de 15g y un peso final objetivo de 500g en un periodo de tiempo días (120 días), parámetros conscientes con sistemas semi-intensivos de tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*) en condiciones tropicales (FAO, s.f.; El-Sayed, 2020; Saavedra Martínez, 2006). A partir de estos valores, la constante de crecimiento se estima como:

$$k = \frac{\ln\left(\frac{W(t)}{W_i}\right)}{t} = \frac{\ln\left(\frac{500}{15}\right)}{120} = \frac{3.507}{120} \approx 0.0292$$

De forma equivalente, la Tasa de Crecimiento Específica (SGR) —indicador estándar en acuicultura que expresa el crecimiento relativo diario— se calcula como (Engle, 2010; El-Sayed, 2020):

$$SGR = \frac{\ln(W_f) - \ln(W_i)}{T} \times 100 = \frac{\ln(500) - \ln(15)}{120} \times 100 \approx 2.92$$

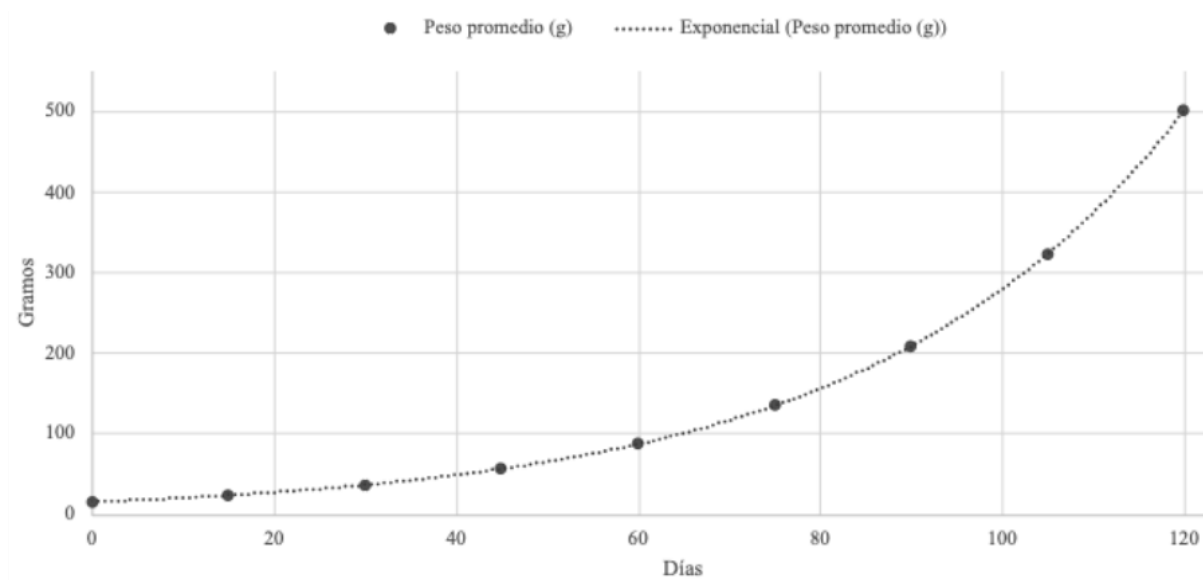
Este valor se sitúa dentro del rango documentado para tilapia en sistemas semi-intensivos tropicales, confirmando la coherencia biológica de los parámetros adoptados. Es importante señalar que el SGR y la constante son matemáticamente equivalentes, expresados en unidades diferentes (fracción por día versus porcentaje por día). Asimismo, el modelo exponencial con tasa constante constituye una simplificación que promedia la dinámica real del crecimiento, la cual tiende a desacelerarse en las etapas finales del ciclo; este supuesto, ampliamente utilizado en planificación acuícola de pequeña escala, puede sobreestimar ligeramente la tasa de crecimiento en la fase de engorde avanzado (Saavedra Martínez, 2006; El-Sayed, 2020).

Construcción y análisis de la curva de crecimiento

La curva de crecimiento fue construida generando valores discretos de peso promedio en intervalos semanales a partir de la ecuación exponencial descrita.

Figura 5

Crecimiento Exponencial de la Tilapia



Nota. Elaboración propia a partir de un modelo exponencial de crecimiento con tasa de crecimiento específica (SGR) constante. Los valores fueron estimados utilizando un peso inicial de 15 gramos, un peso final de 500 gramos y una duración de ciclo de 120 días. La constante de crecimiento se obtuvo mediante transformación logarítmica.

Los resultados del modelo de crecimiento confirman que el sistema es capaz de alcanzar el peso comercial objetivo de 500 g dentro del período de 4 meses bajo condiciones de temperatura tropical estable. La estimación del SGR proporciona la base cuantitativa para dimensionar el consumo acumulado de alimento a lo largo del ciclo, estimar los costos operativos con precisión y construir los análisis de sensibilidad sobre variables biológicas presentados en el análisis de sensibilidad.

Parámetros técnicos del sistema y estimación de la producción por unidad de cultivo

Con el fin de transparentar los supuestos técnicos utilizados en la modelación del sistema, el anexo F resume los principales parámetros productivos adoptados como referencia. Los rangos de referencia corresponden a valores reportados para sistemas semi-intensivos de tilapia (*Oreochromis niloticus*) en estanques de tierra en climas tropicales. Los valores adoptados en el

modelo se sitúan deliberadamente en el rango conservador con el fin de representar condiciones realistas de una primera operación comunitaria sin experiencia previa, minimizando el riesgo de sobreestimación de la productividad (El-Sayed, 2020; Saavedra Martínez, 2006; Engle, 2010).

Con base en los parámetros técnicos definidos en el anexo F, se estimó la producción potencial por unidad de cultivo mediante una formulación simplificada ampliamente utilizada en estudios de planificación acuícola. Esta aproximación permite relacionar directamente la superficie efectiva de cultivo, la densidad de siembra, la tasa de supervivencia y el peso final promedio de los peces, variables que en conjunto determinan el rendimiento físico del sistema productivo.

$$P = Ae \times D \times S \times W$$

donde:

P = producción por ciclo (kg)

Ae = área efectiva de cultivo (m²)

D = densidad de siembra (peces/ m²)

S = tasa de supervivencia

W = peso final promedio por pez (kg)

Aplicando los valores adoptados para el diseño del sistema, se considera un área efectiva de cultivo de 630 m² por estanque, una densidad de siembra de 3 peces/m², una tasa de supervivencia de 80 % y un peso final promedio de 0.5 kg por pez. Sustituyendo estos valores en la ecuación anterior se obtiene la producción estimada por ciclo:

$$P = 630 \times 3 \times 0.80 \times 0.5 = 756 \text{ kg}$$

lo que equivale a aproximadamente 0.756 toneladas por estanque por ciclo productivo.

Este enfoque de estimación productiva se basa en modelos bio-productivos simplificados ampliamente utilizados en la planificación de sistemas acuícolas semi-intensivos, donde el rendimiento del estanque se determina a partir de la interacción entre densidad de siembra, supervivencia y peso final del organismo cultivado. Este tipo de formulación ha sido aplicado en numerosos estudios de evaluación productiva y diseño de unidades piscícolas, particularmente en sistemas de cultivo de tilapia en estanques de tierra en regiones tropicales (Engle, 2010; FAO, 2020).

Estimación de la capacidad productiva del sistema

Considerando un ciclo productivo de 6 meses y dos ciclos por año, el escenario base conservador genera una producción anual de 1,512 kg por estanque, equivalente a 6,048 kg anuales totales para el sistema de cuatro estanques. El anexo G sintetiza la capacidad productiva bajo los distintos escenarios del proyecto. Su lectura muestra con claridad el rango entre la producción mínima del escenario base y la producción máxima del escenario de expansión.

Es importante señalar que la capacidad productiva del escenario base ilustrada en el anexo G corresponde a la operación plena del sistema, una vez que los cuatro estanques han sido construidos y se encuentran funcionando de manera simultánea. Durante los primeros años de implementación del proyecto, la producción efectiva será progresivamente menor debido a la incorporación escalonada de las unidades productivas, proceso que incluye las etapas de adecuación, construcción, siembra inicial y estabilización operativa de cada estanque.

El módulo base de cuatro estanques bajo el escenario conservador genera una producción anual aproximada de 6,048 kg de pescado fresco, volumen que representa una fracción limitada de la demanda potencial identificada para los segmentos local y turístico del área de influencia. Esta relación confirma que el proyecto no busca abastecer de manera masiva el mercado regional, sino consolidar un esquema de producción comunitaria de pequeña escala orientado a mercados de proximidad, donde la estabilidad operativa, la calidad del producto y la captura de valor territorial resultan más relevantes que la expansión acelerada del volumen producido.

El diseño técnico desarrollado busca mantener un equilibrio entre productividad biológica, simplicidad operativa y sostenibilidad financiera. Los parámetros adoptados, densidad conservadora de siembra, supervivencia del 80%, FCR de 1.6 y producción anual aproximada de 6 toneladas, permiten construir un escenario base coherente con las capacidades operativas de un sistema acuícola comunitario en fase inicial de consolidación. Esta coherencia entre variables técnicas, escala de producción y condiciones de mercado constituye la base sobre la cual se desarrolla la evaluación financiera presentada en la sección siguiente, particularmente en lo relacionado con la estructura de costos operativos, los flujos de caja y la sensibilidad económica del proyecto frente a cambios en variables estratégicas.

Evaluación financiera

El análisis se estructura a partir de la estimación del capital de inversión requerido (CAPEX), la caracterización de los costos operativos anuales (OPEX), la proyección de los ingresos esperados por segmento de mercado y la construcción de los flujos de caja del proyecto en un horizonte de evaluación de diez años. Los parámetros de producción que alimentan directamente este modelo son los establecidos en el diseño técnico del sistema productivo: una producción anual plena de 6,048 kg (8 cosechas $\times$ 756 kg/cosecha), con un costo de alimento que depende del FCR de 1.6 y del precio de 0.921 USD/kg verificado para el mercado colombiano 2024-2025. Estos valores constituyen el insumo técnico primario del modelo financiero. Los principales indicadores de rentabilidad financiera se calculan siguiendo la metodología de flujos descontados (FAO, 2020; Yescombe, 2014; Martínez-Cordero & Leung, 2004).

A partir del dimensionamiento físico del sistema descrito en la evaluación del sistema, de los requerimientos hidráulicos del cultivo y de las necesidades operativas básicas de la primera etapa de producción, se estimó que la inversión inicial necesaria para la implementación del proyecto asciende aproximadamente a 72.1 millones de pesos colombianos (COP), equivalentes a 18,965 USD considerando una tasa de cambio de referencia de 3,800 COP por dólar estadounidense, calculada como promedio de los últimos seis meses de 2025. Con el propósito de mantener una distinción metodológicamente relevante para proyectos de esta naturaleza, el CAPEX se desagrega en dos componentes: la inversión en infraestructura productiva, que comprende la construcción de estanques, la instalación hidráulica, el equipamiento básico y las obras de apoyo y el capital de trabajo inicial, destinado a cubrir los requerimientos operativos mínimos antes de la generación de los primeros ingresos por

cosecha.

La inversión en infraestructura asciende a 16,165 USD y comprende cuatro estanques de tierra de 0.07 ha cada uno, dimensionados para operar bajo un esquema semi-intensivo en el litoral Caribe colombiano. Las condiciones edáficas de la zona, suelos arcillosos de baja permeabilidad, eliminan la necesidad de revestimiento con geomembrana, lo que representa una reducción significativa de costos respecto a otros contextos geográficos colombianos, como los Llanos Orientales o el piedemonte andino. La construcción incorpora mano de obra comunitaria en las labores de conformación de bordos, nivelación y compactación de fondo.

Esta estrategia reduce el costo de construcción al sustituir la contratación externa de mano de obra especializada por trabajo organizado de los miembros de la comunidad, valorado al jornal rural vigente en el Caribe colombiano para 2025 (entre USD 16 y USD 23 por jornal, según el DANE). La reducción estimada respecto a una contratación externa equivalente se sitúa en torno al 20%, derivada de la diferencia entre el jornal rural local y el costo de la mano de obra calificada en obras civiles de pequeña escala para el período analizado; esta estimación es de los autores, con base en los precios de referencia del mercado laboral regional.

Adicionalmente, la participación comunitaria fortalece el capital social y las capacidades técnicas locales, efectos documentados en sistemas de acuicultura comunitaria de pequeña escala en países en desarrollo (Manlosa, 2023; FAO, 2020). El capital de trabajo inicial se estima en 2,800 USD, monto que cubre los recursos mínimos para la primera siembra operativa de dos estanques, alevinos y alimento de las primeras fases del ciclo, antes de la primera cosecha. La viabilidad financiera del Año 1 en su conjunto depende del acceso complementario a líneas de crédito para Acuicultores de Recursos Limitados (AREL) ofrecidas por FINAGRO,

cuya disponibilidad en el contexto colombiano ha sido señalada como un mecanismo institucional clave para proyectos comunitarios de esta escala (MADR, 2021).

Desde una perspectiva comparada, esta inversión puede considerarse moderada frente a sistemas acuícolas de mayor intensidad tecnológica. Estudios han señalado que los sistemas semi-intensivos en estanques de tierra constituyen una alternativa particularmente adecuada para proyectos acuícolas de pequeña escala, por su menor complejidad tecnológica, mayor resiliencia operativa y menores barreras de entrada en términos de capital (Boyd, 2015; FAO, 2022). El anexo H presenta el desglose detallado del CAPEX del sistema productivo.

Como se observa en el anexo H, la mayor proporción de la inversión se concentra en las obras civiles de construcción y adecuación de los cuatro estanques de tierra, que representan el 70.1% del CAPEX total. Este componente incluye limpieza del terreno, excavación mecánica de aproximadamente 3,360 m³, conformación de taludes, compactación del suelo y nivelación de fondo, y es coherente con los rangos de costo reportados para sistemas de esta naturaleza en Colombia (Boyd, 2015). El capital de trabajo representa el 14.8% de la inversión total y su adecuada dotación es crítica para evitar interrupciones operativas durante la fase de arranque, característica de los proyectos comunitarios de primera operación donde la generación de ingresos es progresiva. La infraestructura hidráulica (6.9%), el equipamiento productivo básico (5.9%) y la infraestructura de apoyo (2.4%) completan la estructura de capital, manteniendo una composición coherente con la escala y el perfil tecnológico del sistema propuesto.

Aunque la escala productiva del sistema es relativamente pequeña, la estructura de inversión inicial continúa representando una barrera financiera significativa para esquemas comunitarios de acuicultura semi-intensiva. La necesidad de construir infraestructura hidráulica básica, incorporar sistemas de aireación y garantizar condiciones mínimas de operación genera

una concentración de capital elevada respecto al volumen anual de producción proyectado.

Esta relación entre escala productiva e intensidad de inversión constituye uno de los principales factores que condicionan el desempeño financiero del escenario base y explica la sensibilidad del proyecto frente a variaciones moderadas en precios, productividad y estructura de financiamiento.

Tasa de descuento y enfoque metodológico de la evaluación

La selección de la tasa de descuento constituye uno de los parámetros metodológicos más relevantes dentro de la evaluación financiera de proyectos productivos, ya que determina el valor presente de los flujos futuros y condiciona directamente la interpretación de indicadores como el Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR). En proyectos de naturaleza comunitaria y orientación social, esta decisión requiere una aproximación metodológica que trascienda el uso exclusivo del costo de oportunidad del capital privado, incorporando elementos asociados al riesgo, al horizonte temporal y a los beneficios socioeconómicos generados por el proyecto (Gittinger, 1982; Yescombe, 2014).

En el contexto colombiano, el Departamento Nacional de Planeación (DNP) actualizó recientemente la Tasa Social de Descuento (TSD) utilizada para la evaluación socioeconómica de proyectos públicos y comunitarios, reduciéndola desde valores históricamente cercanos al 12% hacia niveles del 9% efectivo anual, como respuesta a la disminución estructural de la inflación, la reducción del riesgo país y la evolución del mercado financiero nacional (DNP, 2022). No obstante, diversos estudios de evaluación financiera aplicados a proyectos agropecuarios y acuícolas en economías emergentes muestran que las tasas efectivas utilizadas suelen ubicarse en rangos intermedios entre el costo social del capital y el costo

privado de financiamiento, particularmente en iniciativas expuestas a riesgos operativos, climáticos y comerciales moderados (Martínez-Paz et al., 2018; OECD, 2021).

Con base en este criterio, el presente estudio adopta una tasa de descuento del 11,25% efectivo anual (Banco de la República de Colombia, 2026), valor que busca representar un escenario metodológicamente conservador pero coherente con las condiciones reales de implementación del sistema acuícola comunitario analizado. Esta tasa incorpora simultáneamente el carácter comunitario y social del proyecto, la incertidumbre inherente a sistemas acuícolas semi- intensivos de pequeña escala y las restricciones de acceso a capital que normalmente enfrentan iniciativas rurales en contextos costeros del Caribe colombiano. De esta manera, la tasa seleccionada se ubica por encima de la TSD oficial utilizada en proyectos públicos, pero ligeramente cercana a los costos promedio de capital reportados para proyectos acuícolas en países en desarrollo, estimados alrededor del 10–12% anual en la literatura especializada (Martínez-Paz et al., 2018).

La adopción de esta tasa se fundamenta además en el reconocimiento de que la acuicultura comunitaria genera beneficios que exceden los flujos financieros privados, incluyendo la diversificación de los medios de vida, el fortalecimiento de la seguridad alimentaria local y la reducción de la dependencia de actividades extractivas estacionales (Belton et al., 2012; Béné et al., 2016). En consecuencia, el uso de una tasa intermedia permite mantener un equilibrio metodológico entre una evaluación financiera rigurosa y una aproximación consistente con la naturaleza territorial y comunitaria del proyecto. La sensibilidad del VAN frente a variaciones en la tasa de descuento se analiza posteriormente como parte de los escenarios alternativos de evaluación financiera.

Estructura de costos operativos y costo unitario de producción (OPEX)

En sistemas acuícolas semi-intensivos, estos costos constituyen el principal determinante de la sostenibilidad económica del cultivo a mediano y largo plazo, dado que se repiten en cada ciclo productivo a lo largo de toda la vida útil del sistema. El CAPEX se desembolsa una sola vez, al inicio del proyecto. Los costos operativos, en cambio, se acumulan ciclo a ciclo durante toda la vida útil del sistema, y por eso pequeñas variaciones en su estructura tienen efectos desproporcionados sobre la rentabilidad de largo plazo (FAO, 2020; Little et al., 2016).

Se estimó la estructura de costos operativos recurrentes (OPEX) del sistema. Los costos anuales en plena operación ascienden a 16,379 USD, concentrándose principalmente en alimento balanceado, mano de obra y energía, como se presenta en la Tabla 5.

Tabla 5.

Estructura de costos operativos del sistema (OPEX)

Concepto	Cálculo de referencia	Costo anual (USD)	Participación (%)
Alimento balanceado	6,048 kg × FCR 1.6 × 0.921 USD/kg	8,913	54
Mano de obra	Alimentación, monitoreo, cosecha	3,400	21
Energía	Bombas y aireadores	1,650	10
Alevinos	8 siembras × 1,890 alevines × 0.047 USD	716	4
Mantenimiento	Infraestructura e hidráulica	900	5
Otros costos operativos	Monitoreo, insumos menores, preparación	800	5

Total OPEX	Régimen pleno: 8 cosechas / 6,048 kg por año	16,379	100
------------	--	--------	-----

Nota. Elaboración propia con base en los parámetros técnicos del sistema productivo, precios de mercado de insumos acuícolas en Colombia para el período 2024–2025 y literatura especializada sobre estructuras de costos en acuicultura continental (FAO, 2020; Tacon & Metian, 2015; MADR, 2021). El costo del alimento balanceado se estimó mediante un precio ponderado entre las etapas de levante y engorde, utilizando referencias comerciales disponibles para el mercado colombiano durante el período de análisis. El detalle de los supuestos técnicos y económicos utilizados para la estimación de cada componente del OPEX se presenta en el Anexo I.

El detalle metodológico de los supuestos técnicos y económicos utilizados para estimar cada componente del OPEX se presenta en el Anexo I. A partir de esta estructura de costos, el sistema alcanza un costo unitario de producción de 2.71 USD/kg, calculado como la relación entre el OPEX anual estabilizado y la producción anual estimada de 6,048 kg. Este valor se encuentra dentro del rango de 2.20 a 3.00 USD/kg reportado para sistemas semi-intensivos de tilapia en América Latina (Engle, 2010; FAO, 2022), lo que confirma la consistencia técnica de los supuestos adoptados.

Considerando un precio promedio de venta de 3.16 USD/kg, el sistema genera un margen operativo bruto aproximado de 0.45 USD/kg una vez alcanzada la operación estabilizada. Este resultado indica que la producción es capaz de cubrir sus costos operativos recurrentes; sin embargo, como se analiza en las secciones siguientes, la rentabilidad global del proyecto continúa condicionada por la recuperación de la inversión inicial y por la estructura financiera asociada al CAPEX.

Ingresos por segmento de mercado

La Tabla 6 presenta la estimación referencial de ingresos anuales en plena operación, distribuidos entre los dos segmentos de comercialización identificados: el mercado local tradicional (70 % de la producción) y el mercado turístico y gastronómico (30 %).

Tabla 6.

Estimación referencial de ingresos anuales – escenario base

Segmento de mercado	Producción estimada (kg/año)	Precio promedio (USD/kg)	Ingresos (USD/año)
Mercado local tradicional	4,234	3.03	12,829
Mercado turístico	1,814	3.46	6,276
Total anual	6,048	3.16	19,112

Nota. Elaboración propia con base en las estimaciones de producción del sistema productivo y los rangos de precios observados en mercados regionales de tilapia fresca en el Caribe colombiano (DANE-SIPSA, 2024; 2025). El precio promedio ponderado de 3.16 USD/kg resulta de la combinación de ambos segmentos en la proporción indicada, a una TRM de referencia de 3,800 COP/USD.

El ingreso anual total de 19,112 USD en plena operación cubre el OPEX anual de 16,379 USD, generando un flujo operativo positivo de 2,733 USD anuales. La producción anual de 6,048 kg representa el 30% de la demanda total estimada del área de influencia de 20 toneladas anuales, lo que confirma que la totalidad de la producción proyectada puede ser absorbida por el mercado local sin riesgo de sobreoferta, eliminando la restricción comercial como variable limitante del proyecto.

Flujos de caja del proyecto

Finalmente, se construyeron los flujos de caja del proyecto, integrando costos e ingresos proyectados para un horizonte de diez años, lo que permitió calcular los indicadores financieros y realizar el análisis de sensibilidad. La tabla 6 presenta los flujos de caja del escenario base.

Tabla 7.

Flujos de caja del proyecto para el escenario base (USD)

Año	Ingreso	Costos operativos	Flujo operativo	Inversión CAPEX	Flujo de caja neto
1	7,167	10,237	-3,070	-18,965	-22,035
2	19,112	16,379	2,733	0	2,733
3	19,112	16,379	2,733	0	2,733
4	19,112	16,379	2,733	0	2,733
5	19,112	16,379	2,733	-1,264	1,469
6	19,112	16,379	2,733	0	2,733
7	19,112	16,379	2,733	0	2,733
8	19,112	16,379	2,733	0	2,733
9	19,112	16,379	2,733	0	2,733
10	19,112	16,379	2,733	0	2,733

Nota. Elaboración propia. El Año 1 comprende el inicio escalonado del proyecto, periodo en el cual se ejecuta la inversión inicial en CAPEX (18,965 USD). Debido a este arranque gradual y al desarrollo de solo tres cosechas equivalentes, todos los valores operativos de este periodo son proporcionales: los ingresos (7,167 USD) corresponden exactamente a tres octavos del ingreso anual estabilizado, mientras que los costos operativos (10,237 USD) representan cinco octavos del costo de régimen. A partir del Año 2, el proyecto opera a plena capacidad, alcanzando la producción total estabilizada con ingresos de 19,112 USD y costos de 16,379 USD. La inversión en el Año 5 (1,264 USD) corresponde a la reposición parcial de equipos por desgaste.

Análisis de Resultados

Los resultados obtenidos permiten identificar patrones relevantes en términos de viabilidad técnica, comercial y financiera del sistema acuícola propuesto. El análisis articula las tres dimensiones evaluadas para generar una lectura integrada de los hallazgos y sus implicaciones para la sostenibilidad del sistema.

Análisis del componente de mercado

Los datos de la Tabla 3 evidencian una demanda suficiente para absorber la producción del sistema en todos los escenarios analizados. La demanda total estimada de 20 toneladas anuales supera en un 212 % la producción del escenario base (6.0 t/año) y en un 133 % la del escenario mejorado (8.6 t/año), confirmando la ausencia de riesgo de sobreoferta y reforzando la viabilidad comercial del proyecto.

La participación predominante del consumo local (80 %) ofrece un mercado estable y predecible, mientras que la demanda turística (20 %) representa un componente diferenciado con precios superiores. El diferencial entre el segmento turístico y el precio base oscila entre 0.26 y 1.05 USD/kg, lo que representa una prima comercial accesible mediante canales de comercialización diferenciados sin inversión adicional en infraestructura. Los resultados indican que el turismo genera una demanda adicional cercana a 4 toneladas anuales de pescado fresco, canalizada principalmente a través de restaurantes y establecimientos gastronómicos locales que demandan suministro regular y calidad homogénea. Este volumen resulta significativo en relación con la escala del sistema productivo propuesto, reforzando el papel del turismo como un componente complementario y estabilizador del mercado (Pascoe et al., 2023;

Torres, 2003).

El precio base adoptado en el modelo financiero (3.16 USD/kg) se ubica por debajo del piso del mercado mayorista de tilapia en Colombia (3.42 USD/kg), según datos SIPSA-DANE (2024-2025). Esta brecha confirma que el escenario base es genuinamente conservador y que la mejora en los indicadores financieros no requiere condiciones optimistas, sino simplemente acceso a los canales de comercialización locales y turísticos ya existentes en el área de influencia del proyecto.

Análisis del componente técnico-productivo

Los parámetros técnicos del sistema son consistentes con los estándares reportados para esquemas semi-intensivos de tilapia en climas tropicales: FCR de 1.6, mortalidad del 15 % y producción de 6,048 kg/año (El-Sayed, 2020; Boyd, 2015). Estos valores reflejan un desempeño productivo sólido para una primera operación comunitaria bajo densidad conservadora de 3 peces/m². El análisis de sensibilidad al FCR revela que la eficiencia de conversión alimenticia es el vector de mejora interna más poderoso y directamente controlable por el equipo comunitario. La diferencia entre FCR 1.6 (escenario base) y FCR 1.5, alcanzable en el tercer ciclo sin inversión adicional, revierte el VAN desde valores negativos a positivos.

El aumento de densidad de siembra de 3 a 4 peces/m² incrementa la producción anual de 6.0 a 8.6 toneladas sin requerir expansión de infraestructura, elevando la cobertura de la demanda del 30 % al 43 %. Esta mejora es alcanzable en el tercer o cuarto año de operación, una vez consolidadas las prácticas de manejo básico del agua y la alimentación (Boyd, 2015;

El-Sayed, 2020).

Es importante señalar que la capacidad productiva del escenario base ilustrada en el anexo G corresponde a la operación plena del sistema, una vez que los cuatro estanques han sido construidos y se encuentran funcionando de manera simultánea. Durante los primeros años de implementación del proyecto, la producción efectiva será progresivamente menor debido a la incorporación escalonada de las unidades productivas, proceso que incluye las etapas de adecuación, construcción, siembra inicial y estabilización operativa de cada estanque.

El módulo base de cuatro estanques bajo el escenario base genera una producción anual aproximada de 6,048 kg de pescado fresco, volumen que representa una fracción limitada de la demanda potencial identificada para los segmentos local y turístico del área de influencia. Esta relación confirma que el proyecto no busca abastecer de manera masiva el mercado regional, sino consolidar un esquema de producción comunitaria de pequeña escala orientado a mercados de proximidad, donde la estabilidad operativa, la calidad del producto y la captura de valor territorial resultan más relevantes que la expansión acelerada del volumen producido.

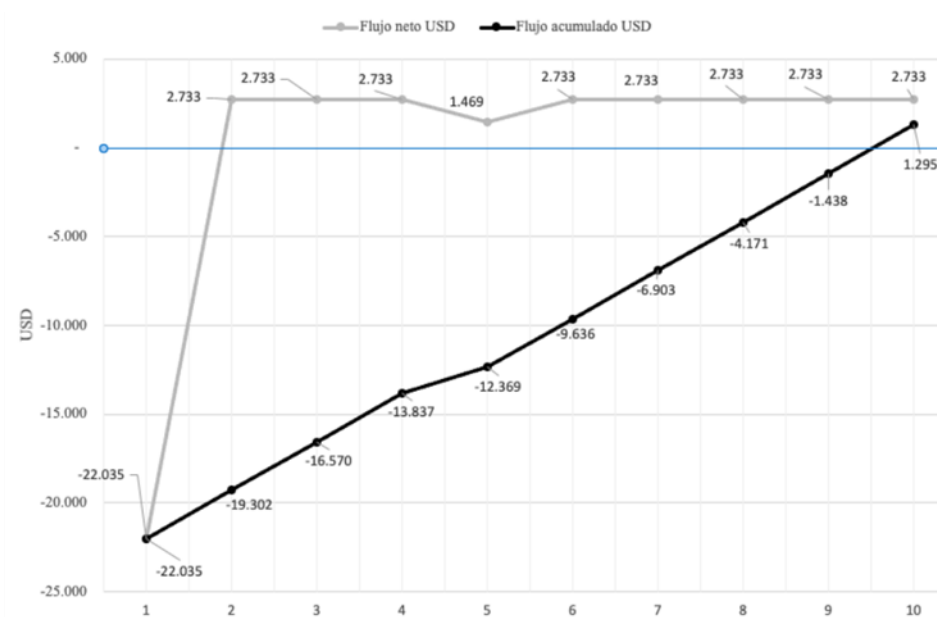
El diseño técnico desarrollado busca mantener un equilibrio entre productividad biológica, simplicidad operativa y sostenibilidad financiera. Los parámetros adoptados permiten construir un escenario base coherente con las capacidades operativas de un sistema acuícola comunitario en fase inicial de consolidación. Esta coherencia entre variables técnicas, escala de producción y condiciones de mercado constituye la base sobre la cual se desarrolla la evaluación financiera presentada en la sección siguiente, particularmente en lo relacionado con la estructura de costos operativos, los flujos de caja y la sensibilidad económica del proyecto frente a cambios en variables estratégicas.

Análisis del componente financiero

La Figura 6 ilustra la evolución del flujo de caja acumulado del proyecto durante el horizonte de evaluación de diez años bajo el escenario base.

Figura 6

Flujo de caja acumulado del proyecto en el escenario base (horizonte de 10 años).



Nota. Elaboración propia. La figura presenta la evolución del flujo de caja acumulado nominal del proyecto bajo el escenario base durante un horizonte de evaluación de diez años. El comportamiento incorpora la fase de implementación inicial, el escalonamiento productivo del Año 1 y la inversión de reposición de activos realizada en el Año 5. El cruce del umbral de recuperación nominal ocurre aproximadamente entre los años 9 y 10 de operación.

Como se observa en la Figura 6, la trayectoria del flujo de caja acumulado presenta una caída pronunciada durante la fase inicial de implementación, seguida de una recuperación gradual impulsada por los excedentes operativos generados a partir de la estabilización productiva del sistema. La disminución temporal observada en el Año 5 corresponde a la inversión de reposición de activos, mientras que el cruce del punto de equilibrio nominal ocurre aproximadamente entre los años 9 y 10 del horizonte de evaluación.

Este comportamiento es consistente con la naturaleza financiera de los sistemas acuícolas comunitarios semi-intensivos, caracterizados por una recuperación relativamente lenta de la inversión inicial debido a la elevada participación del CAPEX dentro de la estructura total de costos. No obstante, la convergencia progresiva del flujo acumulado hacia valores positivos evidencia que el sistema posee capacidad operativa suficiente para sostener financieramente la actividad en el largo plazo bajo condiciones técnicas conservadoras.

Indicadores de rentabilidad: VAN, TIR y periodo de recuperación

Bajo las condiciones conservadoras definidas para el escenario base, el sistema acuícola presenta un Valor Actual Neto (VAN) negativo aproximado de –6,750 USD al final del horizonte de evaluación. Este resultado indica que, aunque el proyecto genera flujos operativos positivos una vez estabilizada la producción, dichos excedentes no alcanzan a compensar completamente la inversión inicial y el costo de oportunidad del capital representado por la tasa de descuento utilizada. De manera consistente, la Tasa Interna de Retorno (TIR) estimada se sitúa alrededor de 0.11 % mensual, reflejando un rendimiento financiero limitado frente al nivel de riesgo asumido por el proyecto bajo condiciones conservadoras de mercado y financiamiento. La Tabla 8 resume los principales indicadores financieros obtenidos para el escenario base del sistema productivo.

Tabla 8.
Indicadores financieros del escenario base del sistema acuícola comunitario

Indicador	Valor
Horizonte de evaluación	10 años
Tasa de descuento anual	11.25 %
VAN	–6,750 USD
TIR mensual	0.11 %

Recuperación nominal acumulada	Entre años 9–10
Producción anual efectiva	≈ 6.05 t/año
Ingresos anuales estabilizados	19,112 USD
OPEX anual estabilizado	16,379 USD

Nota. Elaboración propia. Los indicadores financieros fueron calculados mediante modelación mensual de flujos de caja para un horizonte de diez años. El VAN fue estimado utilizando una tasa de descuento efectiva anual del 11.25 %, mientras que la TIR corresponde a una tasa efectiva mensual derivada de los flujos operativos proyectados. La recuperación nominal acumulada representa el momento aproximado en el cual el flujo de caja acumulado sin descuento alcanza valores positivos.

Los resultados presentados en la Tabla 8 muestran que el sistema posee capacidad para generar excedentes operativos positivos bajo condiciones estabilizadas de producción; sin embargo, estos excedentes resultan insuficientes para compensar plenamente la intensidad de capital requerida durante la fase inicial de implementación. En consecuencia, el comportamiento financiero observado no refleja una limitación técnica intrínseca del sistema productivo, sino una restricción asociada principalmente a la relación entre escala de producción, estructura de costos y magnitud relativa del CAPEX inicial.

Desde una perspectiva analítica, este comportamiento resulta consistente con lo reportado en la literatura sobre acuicultura comunitaria de pequeña escala, donde proyectos técnicamente funcionales pueden presentar indicadores financieros restringidos durante las primeras etapas de consolidación debido a la elevada concentración de inversión inicial y a la limitada capacidad de absorción de riesgo por parte de los productores rurales (Little et al., 2016; Belton et al., 2012). En este tipo de sistemas, la sostenibilidad económica depende frecuentemente de mecanismos complementarios de fortalecimiento comercial, reducción del riesgo técnico y apoyo institucional orientado a disminuir la presión financiera ejercida por el capital inicial.

También permite evidenciar una característica estructural común en proyectos acuícolas

comunitarios semi-intensivos: la existencia de sistemas técnicamente viables y operacionalmente sostenibles que, aun generando excedentes recurrentes, enfrentan limitaciones financieras derivadas de su elevada intensidad de capital y de su exposición a mercados locales de bajo margen. En consecuencia, la interpretación del VAN negativo no debe entenderse exclusivamente como evidencia de inviabilidad absoluta, sino como un indicador de la sensibilidad financiera del proyecto frente a variables estratégicas como precio de venta, supervivencia productiva, eficiencia alimenticia y estructura de financiamiento. El Anexo J sintetiza todos los indicadores financieros y su interpretación del proyecto.

Los resultados financieros del escenario base muestran que la sostenibilidad económica del sistema acuícola comunitario depende menos de la capacidad técnica de producción y más de la articulación entre estructura financiera, gestión operativa y acceso a mercados con mayor capacidad de captura de valor. Esta lectura resulta particularmente relevante para proyectos rurales de pequeña escala, donde la rentabilidad financiera suele estar condicionada por restricciones estructurales de financiamiento y comercialización más que por limitaciones estrictamente productivas.

Aunque el flujo de caja acumulado nominal alcanza valores positivos hacia los años 9 y 10 de operación, el VAN permanece negativo debido al efecto del descuento financiero aplicado sobre los flujos futuros. En términos prácticos, esto significa que el proyecto logra recuperar gradualmente la inversión inicial en términos contables y operativos, pero dicha recuperación no resulta suficiente para compensar plenamente el costo de oportunidad del capital representado por la tasa de descuento utilizada en la evaluación. Esta diferencia entre recuperación nominal y creación neta de valor económico es común en proyectos rurales intensivos en capital con horizontes prolongados de maduración financiera.

En este contexto, el escenario base debe interpretarse como una línea de referencia

conservadora orientada a identificar las variables críticas que condicionan el desempeño económico del sistema. Más que representar una conclusión definitiva sobre la viabilidad del proyecto, estos resultados constituyen el punto de partida para el análisis de sensibilidad desarrollado en la sección siguiente, donde se evalúa el efecto de variaciones plausibles en precio de venta, supervivencia productiva, eficiencia técnica y esquemas de cofinanciación del CAPEX sobre la sostenibilidad financiera del sistema acuícola comunitario.

Análisis de sensibilidad y escenarios integrados

El análisis se estructuró en torno a cuatro escenarios que evalúan, de forma progresiva e integrada, el efecto de variaciones en el precio de venta, la eficiencia técnica del cultivo, la supervivencia, la densidad de siembra y los esquemas de cofinanciación del CAPEX. Los dos primeros escenarios operan con la misma inversión inicial del escenario base, mientras que los dos últimos incorporan mejoras en la escala productiva y apoyo institucional moderado. Este enfoque progresivo, ampliamente recomendado en la evaluación de proyectos productivos rurales de pequeña escala, permite identificar tanto los efectos marginales de cada variable como las interacciones sinérgicas entre ellas (Gittinger, 1982; Martínez-Cordero & Leung, 2004; Yescombe, 2014).

Todos los escenarios fueron calculados mediante modelación mensual de flujos de caja para el mismo horizonte de diez años, manteniendo la tasa de descuento del 11.25% efectiva anual como referencia constante. La Tabla 9 presenta el resumen comparativo de los cuatro escenarios frente al escenario base.

Tabla 9. *Escenarios integrados de desempeño financiero del sistema acuícola comunitario*

Parámetro	Escenario Base/ Comparativo	Escenario: Retador	Escenario : Evolutivo	Escenario: Mejorado	Escenario: Optimista
Precio (USD/kg)	3.16	3.40	3.16	3.48	3.60
FCR	1.6	1.5	1.5	1.6	1.5
Supervivencia (%)	80 %	85 %	85 %	89 %	85 %
Densidad (peces/m ²)	3	3	3	4	4
Producción (kg/año)	6,048	6,426	6,426	8,971	8,568
Cofinanciación CAPEX (%)	0 %	0 %	100 %	18 %	11 %
CAPEX efectivo (USD)	18,965	18,965	0	15,365	15,965
Tasa de oportunidad	11,25 %	11,25 %	11,25 %	11,25 %	11,25 %
VAN (USD)	-6,750	+8,674	+18,400	+37,982	+43,258
TIR (% anual EA)	0.11 %	1.69 %	11.70 %	4.14 %	4.44 %
Payback (años)	10	6	2	3	3

Nota. Elaboración propia. Todos los escenarios fueron calculados mediante modelación mensual de flujos de caja para un horizonte de diez años con tasa de descuento del 11.25% EA. Las TIR anuales corresponden a la conversión de la TIR mensual mediante la expresión $(1 + \text{TIR mensual})^{12} - 1$. La producción anual incorpora dos ciclos por estanque por año. La densidad de 4 peces/m² de los Escenarios 3 y 4 se ubica dentro del rango superior documentado para sistemas semi-intensivos bien manejados (El-Sayed, 2020; Boyd, 2015). El Escenario Evolutivo; asume cofinanciación total del CAPEX —instrumento analítico que permite aislar el impacto puro de la inversión inicial sobre los indicadores financieros—.

Para profundizar en el análisis de todos los escenarios, por favor dirigirse al anexo K.

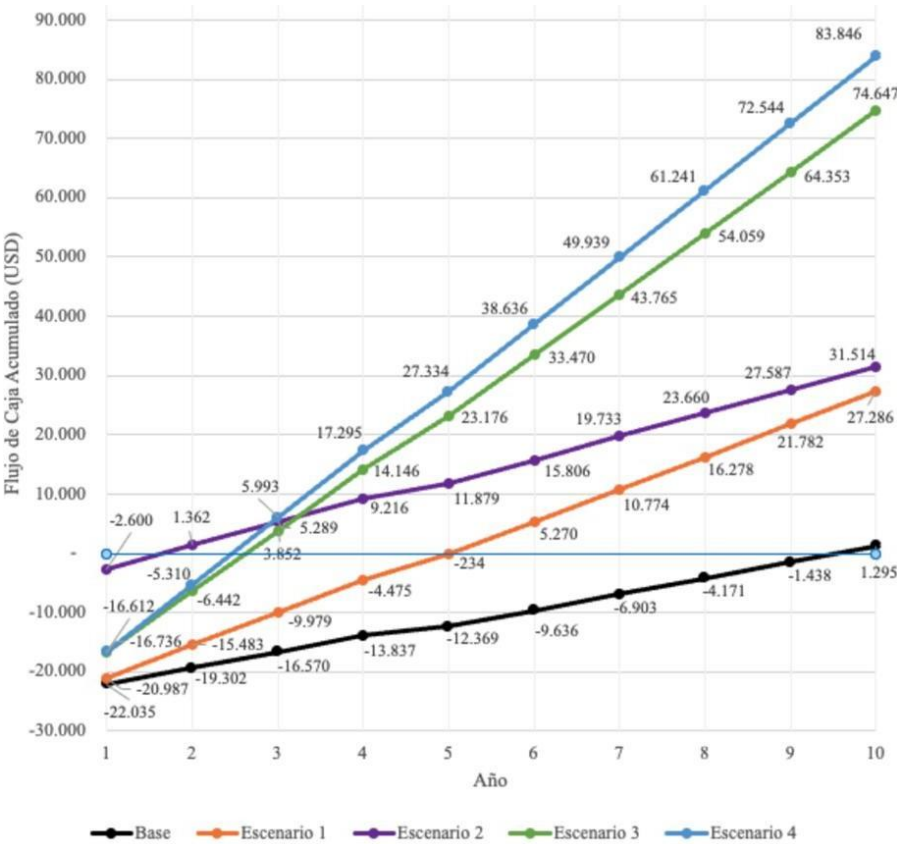
El análisis conjunto de los cuatro escenarios permite establecer una jerarquía clara de los factores determinantes de la viabilidad financiera del sistema y trazar los umbrales a partir de los cuales el proyecto transita de condiciones de inviabilidad hacia diferentes niveles de rentabilidad.

El escenario base opera con VAN de -6,750 USD bajo la tasa de oportunidad del 11.25%, resultado que no refleja inviabilidad operativa. El sistema cubre sus costos recurrentes y genera flujos positivos desde el Año 2, con la presión de la inversión inicial sobre los flujos descontados bajo una tasa que incorpora la prima de riesgo de proyectos productivos rurales colombianos. Esta distinción es metodológicamente relevante: un proyecto que genera excedentes operativos continuos, pero no recupera el costo de oportunidad del capital bajo supuestos conservadores de primera operación se encuentra, por definición, en un umbral de viabilidad condicionada, no en un déficit estructural.

Los cuatro escenarios demuestran que ese umbral puede superarse mediante combinaciones diversas y complementarias de mejoras. La Figura 7 presenta la evolución del flujo de caja acumulado para todos los escenarios durante el horizonte de diez años.

Figura 7

Evolución del flujo de caja acumulado por escenario financiero (USD)



Nota. Elaboración propia. El escenario base (línea negra) muestra recuperación nominal al final del Año 10. Los Escenarios 1 a 4 presentan payback entre 2 y 6 años. La línea horizontal en FC acumulado = 0 identifica el punto de recuperación nominal de la inversión para cada configuración.

Desde una perspectiva de política pública, los resultados tienen una lectura directa: la viabilidad del sistema acuícola de Galerazamba no depende de condiciones excepcionales ni de supuestos optimistas, sino de la articulación coherente entre tres tipos de mejora, cada una accesible con los recursos y capacidades del entorno institucional colombiano. La mejora técnica (menor FCR y mayor supervivencia) es función de la curva de aprendizaje natural del equipo comunitario. La mejora comercial, precio más alto por acceso al segmento turístico, depende de la estrategia de comercialización en un mercado cuya demanda ya está identificada. El apoyo institucional, cofinanciación parcial del CAPEX, es coherente con instrumentos existentes como los programas AREL de FINAGRO y la Agencia de Desarrollo

Rural (MADR, 2021; ADR, 2024). Ninguno de estos vectores requiere condiciones que no estén al alcance de este sistema.

La evidencia comparativa de la literatura reciente sobre sistemas acuícolas de pequeña escala en contextos de bajos ingresos confirma esta lectura: los proyectos que logran combinar mejoras técnicas progresivas con acceso moderado a financiamiento inicial y estrategias de comercialización diferenciada muestran trayectorias de rentabilidad consistentemente superiores a aquellos que dependen de un solo factor (Byabasaija et al., 2025; Dorji et al., 2025; Masi et al., 2025; Martínez-Cordero & Leung, 2004).

Con el marco de sensibilidad establecido, la sección siguiente analiza los riesgos del sistema, presenta evidencia de mercado que valida la plausibilidad de los escenarios evaluados y examina el posicionamiento del proyecto en términos de sostenibilidad multidimensional.

Análisis de riesgos y sostenibilidad multidimensional

La evaluación financiera y el análisis de sensibilidad desarrollados en las secciones anteriores permiten establecer los indicadores económicos del sistema bajo distintos supuestos de operación. Sin embargo, en proyectos productivos rurales de pequeña escala, el desempeño económico real depende de la interacción dinámica entre variables técnicas, financieras, de mercado e institucionales cuya evolución puede diferir del escenario proyectado (Gittinger, 1982; Yescombe, 2014). Esta sección integra esa perspectiva en dos componentes: una identificación sistemática de los riesgos del sistema y un análisis de sostenibilidad

multidimensional que trasciende los indicadores financieros para capturar las contribuciones del proyecto al desarrollo territorial de Galerazamba.

Identificación y categorización de riesgos del sistema

Los riesgos del sistema operan en tres dimensiones que el análisis de sensibilidad cuantificó: riesgos productivos (supervivencia, FCR), riesgos de mercado (precio de venta, acceso a canales) y riesgos financieros e institucionales (estructura de capitalización, apoyo institucional). Las tres interactúan y se refuerzan mutuamente.

La primera dimensión corresponde a los riesgos productivos, asociados a la supervivencia, la eficiencia de conversión alimenticia (FCR) y el manejo de la calidad del agua. El escenario base asume una supervivencia del 80%, que representa una primera operación conservadora. Una caída adicional de la supervivencia reduciría la producción anual y deterioraría los indicadores financieros, aunque el sistema conservaría flujos operativos positivos mientras el precio de venta supere el costo unitario de producción. El riesgo de deterioro del FCR tiene mayor magnitud potencial: niveles superiores a 1.7 llevan el costo unitario hacia el precio de venta base, comprimiendo los márgenes operativos. Este riesgo disminuye estructuralmente con la experiencia acumulada del equipo comunitario, convirtiendo el FCR en una variable que mejora con el tiempo sin inversión adicional (Tacon & Metian, 2015; Saavedra Martínez, 2006).

La segunda dimensión comprende los riesgos de mercado, relacionados con la variabilidad del precio de venta y con la capacidad del sistema para acceder a canales comerciales más estables. Este es el riesgo de mayor impacto identificado en el análisis: el escenario base opera

con un precio de 3.16 USD/kg que se sitúa por debajo del piso mayorista de tilapia en Colombia (3.42 USD/kg, DANE-SIPSA, 2024; 2025), lo que indica que el sistema tiene margen comercial hacia arriba pero no hacia abajo sin comprometer la viabilidad. La consolidación del canal turístico-gastronómico es uno de los vectores más relevantes para la sostenibilidad: la combinación de mejor precio de venta, FCR más eficiente y mayor supervivencia en el Escenario Retador; genera una mejora de VAN de 15,424 USD respecto al escenario base, con el diferencial de precio siendo el componente de mayor impacto marginal.

La tercera dimensión abarca los riesgos financieros e institucionales, vinculados a la estructura de inversión inicial y al acceso a mecanismos de apoyo que reduzcan la carga de capital asumida por la comunidad. El análisis del Escenario Evolutivo; cuantificó que la inversión inicial explica más de 9,700 USD de la brecha de VAN frente a los escenarios con apoyo institucional, constituyendo el factor de mayor eficiencia marginal dentro de todos los analizados. La literatura comparativa sobre acuicultura comunitaria confirma que la intervención institucional focalizada en la fase de capitalización inicial mejora sustancialmente la sostenibilidad de proyectos de base comunitaria en América Latina y el océano Índico occidental (Béné et al., 2016; Ateweberhan et al., 2018; Peñalosa-Martinell et al., 2025).

Los tres tipos de riesgo interactúan de forma no lineal, generando efectos acumulativos sobre los indicadores financieros (Little et al., 2016; Gittinger, 1982). El escenario base opera con VAN de -6,750 USD bajo una tasa de oportunidad que incorpora la prima de riesgo comunitario, lo que implica que, a diferencia del escenario base que opera con una brecha de 6,750 USD respecto al umbral de viabilidad, la acumulación de riesgos moderados (FCR superior a 1.7 combinado con precio por debajo de 3.03 USD/kg) podría llevar el sistema a

pérdidas operativas reales, no solo a déficits de valor presente. Esta interdependencia refuerza la importancia de diseñar estrategias de gestión que aborden simultáneamente las tres dimensiones de riesgo.

La gestión de riesgos constituye un componente fundamental en la evaluación integral de proyectos acuícolas comunitarios, dado que su desempeño depende simultáneamente de variables productivas, comerciales y financieras. La Figura 8 presenta una categorización de los principales riesgos identificados para el sistema propuesto y evidencia la relación de interdependencia existente entre estas tres dimensiones. Esta representación permite comprender que las alteraciones en una categoría de riesgo pueden generar efectos en las demás, condicionando de manera conjunta la sostenibilidad y viabilidad económica del proyecto.

Figura 8

Identificación y categorización de riesgos del sistema acuícola comunitario



Nota. Elaboración propia. La figura resume los principales riesgos identificados durante el proceso de evaluación del proyecto, agrupándolos en tres dimensiones interrelacionadas: productiva, comercial y financiera. Las flechas representan los mecanismos de influencia cruzada entre categorías, evidenciando que los riesgos no actúan de forma aislada, sino como un sistema integrado capaz de afectar simultáneamente la productividad, la rentabilidad y la sostenibilidad del proyecto. La identificación de estas interdependencias sirvió como base para el análisis de sensibilidad y la formulación de estrategias de mitigación presentadas en las secciones posteriores.

Evidencia de mercado y plausibilidad de los escenarios financieros

La comparación de los supuestos de precio del modelo financiero con evidencia empírica reciente refuerza la validez y el carácter conservador de los escenarios evaluados. De acuerdo con los boletines del Sistema de Información de Precios y Abastecimiento del Sector Agropecuario (SIPSA), operado por el DANE, durante 2024-2025 los precios mayoristas de tilapia entera en Colombia se ubicaron en rangos de 3.42 a 4.74 USD/kg en mercados de

referencia como Corabastos (Bogotá) y Medellín. En el Caribe colombiano, los precios del segmento regional oscilan entre 3.68 y 4.21 USD/kg en los mercados mayoristas de Cartagena y Barranquilla (DANE-SIPSA, 2024; 2025).

El anexo E presenta una síntesis de los rangos de precios mayoristas del SIPSA para diversas especies piscícolas, y su relación con el rango de precios del modelo financiero. Los datos confirman que el precio base de 3.16 USD/kg se sitúa por debajo del extremo inferior del rango mayorista de tilapia (3.42 USD/kg), evidenciando el carácter efectivamente conservador del supuesto adoptado. Los precios asumidos en los escenarios favorables (entre 3.40 y 3.60 USD/kg) corresponden a condiciones de comercialización directa a establecimientos turísticos o gastronómicos locales, sin necesidad de recurrir a mercados mayoristas de ciudades principales.

Los datos del anexo E confirman que el precio base de 3.16 USD/kg está por debajo del piso mayorista de tilapia en Colombia (3.42 USD/kg), y que los precios de los escenarios favorables (3.40–3.60 USD/kg) corresponden a comercialización directa en el canal turístico-gastronómico local, sin recurrir a mayoristas urbanos. Los supuestos de precio del modelo no son optimistas; son alcanzables sin modificar la estructura productiva del sistema.

Estrategia comercial y captura de valor territorial

El canal turístico-gastronómico no es una oportunidad hipotética: se identificó una demanda inducida de 4 toneladas anuales de pescado fresco en Galerazamba, volumen superior a la mitad de la producción del escenario base. Capturar, aunque sea parte de esa demanda al precio del segmento gastronómico (3.46–3.60 USD/kg), mejora los indicadores financieros sin cambiar la escala ni la infraestructura del proyecto.

Esta estrategia se alinea sobre los datos existentes de las cadenas cortas de suministro, que documenta cómo la comercialización de proximidad fortalece la rentabilidad de emprendimientos agroalimentarios de pequeña escala al reducir la intermediación y capturar mayor valor en origen (Huang et al., 2025). En sistemas acuícolas costeros, ese efecto se amplifica cuando la demanda turística ofrece precios diferenciados sin requerir certificaciones adicionales (Pascoe et al., 2023; Torres, 2003). En el contexto específico de Galerazamba, la articulación con el sector turístico del Mar Rosa representa una oportunidad concreta para capturar el diferencial de precio entre el mercado local (3.03 USD/kg) y el segmento gastronómico (3.46–3.60 USD/kg), transformando la relación entre turismo y producción acuícola en un vector activo de sostenibilidad financiera del sistema (Pascoe et al., 2023; Torres, 2003).

En el contexto de Galerazamba, donde la economía local descansa en actividades estacionales de baja productividad, la estabilización de flujos de caja que ofrece el sistema acuícola tiene un valor que va más allá de los indicadores financieros. Con flujos operativos de 2,733 USD anuales en plena operación distribuidos entre los participantes directos, el sistema aportaría un ingreso complementario que reduce la dependencia de la pesca artesanal estacional, efecto documentado en comunidades pesqueras similares del Caribe y el océano Índico (Béné et al., 2016; Maldonado et al., 2022; Simmance et al., 2022).

Implicaciones para política pública y sostenibilidad del sistema

Los resultados del estudio son especialmente relevantes en el contexto del Plan de Ordenamiento Productivo (POP) de la Acuicultura adoptado en Colombia en 2025, que estima en 1.5 billones de pesos el portafolio de programas necesarios para el desarrollo del sector, con participación del 79.1% de recursos públicos y 12.4% de cooperación internacional (UPRA,

2025). La evidencia presentada aporta datos directamente utilizables para fundamentar la asignación de esos recursos hacia proyectos comunitarios de pequeña escala en el Caribe colombiano, donde la brecha entre el rendimiento técnico del sistema y su viabilidad financiera plena puede cerrarse mediante cofinanciaciones del orden del 11% al 18% del CAPEX, montos absolutamente manejables dentro de programas como el FAG-AREL de FINAGRO o la ADR.

El análisis de sensibilidad demuestra que los cuatro escenarios evaluados transforman el VAN del proyecto desde -6,750 USD a valores entre +8,674 y +43,258 USD, con períodos de recuperación de 2 a 6 años. Este resultado señala que los mecanismos de apoyo orientados a reducir las barreras de entrada en la acuicultura comunitaria como los fondos de cofinanciación rural, líneas de crédito blando AREL, alianzas público-comunitarias con ADR o programas de cooperación internacional, pueden constituir el punto de inflexión que determina si un sistema acuícola comunitario logra consolidarse financieramente. La evidencia es consistente con experiencias documentadas en América Latina y el océano Índico occidental (Béné et al., 2016; Ateweberhan et al., 2018; ADR, 2024).

La Figura 9 sintetiza el posicionamiento del sistema en cuatro dimensiones de sostenibilidad. El desempeño técnico-productivo es sólido: los parámetros de FCR, supervivencia y producción son coherentes con los estándares semi-intensivos. La resiliencia financiera es el punto débil bajo supuestos conservadores de primera operación, aunque la trayectoria de los escenarios muestra un potencial de mejora significativo y accesible. La dimensión social es aún incipiente, pero el capital humano existente; un docente especializado, acompañamiento de Cuerpos de Paz, interés comunitario documentado, son un activo real. El mayor potencial está en la dimensión territorial: la articulación con el turismo del Mar Rosa y la proximidad a Cartagena son ventajas que no requieren inversión adicional para activarse.

Figura 9

Evaluación multidimensional de la sostenibilidad en la acuicultura comunitaria



Nota. Marco de evaluación multidimensional de elaboración propia. Las cuatro dimensiones de análisis — desempeño técnico-productivo, resiliencia financiera, equidad social y contribución al desarrollo territorial— se derivan de los resultados del presente estudio. El marco conceptual se fundamenta en los enfoques de gobernanza acuícola propuestos por Partelow et al. (2023) y en las dimensiones de sostenibilidad de la acuicultura de pequeña escala identificadas por FAO (2025).

En conjunto, los resultados permiten identificar las condiciones bajo las cuales los sistemas acuícolas comunitarios pueden evolucionar desde esquemas productivos vulnerables hacia modelos económicamente viables y territorialmente sostenibles. Esta transición depende de la articulación simultánea entre eficiencia productiva, acceso a mercados diferenciados y mecanismos adecuados de financiamiento, articulación que difícilmente ocurre de forma espontánea sin el concurso de instrumentos de política pública que reduzcan las barreras de entrada y fortalezcan las capacidades organizativas comunitarias (Partelow et al., 2023; Carrera-Quintana et al., 2022; FAO, 2025).

Propuesta de solución a la problemática

Situación actual

El corregimiento de Galerazamba presenta una economía de alta dependencia de actividades extractivas estacionales como lo son la pesca artesanal, el turismo del Mar Rosa y la extracción de sal, con ingresos inestables y limitadas oportunidades de acumulación económica. A pesar de contar con condiciones naturales favorables para la acuicultura, el territorio carece de una evaluación rigurosa de viabilidad económica y de mecanismos de financiamiento accesibles para escalar la iniciativa demostrativa de Peace Corps a un sistema productivo autosostenible.

Oportunidades identificadas

El análisis identifica tres oportunidades estructurales: (1) una demanda local insatisfecha de ~14 toneladas anuales que garantiza absorción comercial total de la producción sin riesgo de sobreoferta; (2) un canal turístico diferenciado vinculado al turismo del Mar Rosa, con precios superiores entre 3.42 y 4.21 USD/kg según datos SIPSA-DANE (2024-2025), que mejora sustancialmente los indicadores financieros cuando se captura incluso parcialmente; y (3) la disponibilidad de instrumentos institucionales de cofinanciación (FAG-AREL de FINAGRO, programa de fortalecimiento piscícola de la ADR, cooperación de Cuerpos de Paz) que pueden reducir la carga de inversión inicial y transformar el perfil financiero del proyecto (MADR, 2021; ADR, 2024).

Además de los riesgos identificados, el análisis permitió reconocer oportunidades que fortalecen la viabilidad del proyecto desde las dimensiones comercial, financiera e institucional.

Estas oportunidades no dependen de cambios estructurales en el sistema productivo, sino de condiciones ya presentes en el entorno de Galerazamba, como la existencia de una demanda local insatisfecha, el acceso a mercados turísticos con mayor disposición a pagar y la disponibilidad de programas de apoyo para iniciativas productivas rurales. La Figura 10 sintetiza las principales oportunidades identificadas y su contribución potencial al fortalecimiento de la sostenibilidad económica y operativa del sistema acuícola comunitario.

Figura 10

Oportunidades estratégicas identificadas para el sistema acuícola comunitario de Galerazamba



Nota. Elaboración propia con base en la estimación de demanda potencial desarrollada en la Sección 3, los escenarios de comercialización evaluados en la Sección 6 y la revisión de instrumentos institucionales de apoyo al desarrollo rural y acuícola en Colombia (MADR, 2021; ADR, 2024; FINAGRO, 2024; SIPSA-DANE, 2024–2025). La figura resume tres oportunidades estructurales que favorecen el desempeño del proyecto: la existencia de una demanda local superior a la capacidad productiva estimada, la posibilidad de acceder a segmentos turísticos con precios de venta más altos y la disponibilidad de mecanismos de cofinanciación y fortalecimiento técnico que pueden reducir las restricciones financieras durante la etapa de implementación y consolidación del sistema.

Propuesta de solución al problema planteado

La propuesta integra tres líneas de acción articuladas. Primera, el fortalecimiento de capacidades técnicas operativas mediante acompañamiento especializado en las primeras dos temporadas de producción, orientado a reducir el FCR de 1.6 a 1.5 y mejorar la supervivencia del 80 % al 85 %, mejoras suficientes para revertir el VAN de negativo a positivo sin ningún cambio en infraestructura. Segunda, la articulación comercial directa con establecimientos del sector turístico-gastronómico del área de influencia del Mar Rosa y la proximidad al mercado de Cartagena, priorizando el canal turístico para capturar el diferencial de precio entre 3.03 USD/kg (mercado local) y 3.46–3.60 USD/kg (segmento turístico). Tercera, la gestión de esquemas de cofinanciación institucional moderada del CAPEX del orden del 11 % al 18 % (entre 2,100 y 3,600 USD), coherentes con los programas ya disponibles en Colombia, que transforman el VAN del proyecto desde –6,750 USD hasta valores entre 37,982 y 43,258 USD (Escenarios mejorado y optimista) con períodos de recuperación de tres años.

Discusión y Conclusiones

Discusión

Esta sección interpreta los resultados obtenidos, los relaciona con la literatura preexistente y evalúa sus implicaciones analíticas, para la política pública y para futuras agendas de investigación. Se responde la pregunta central del estudio: ¿qué esquema integral permite consolidar un modelo de acuicultura comunitaria sostenible en Galerazamba, considerando sus limitaciones estructurales, sociales y productivas?

Desempeño técnico y viabilidad económica condicionada

Los números del escenario base describen un sistema que funciona: genera excedentes desde el Año 2, cubre sus costos recurrentes y produce 6,048 kg anuales dentro de rangos biológicos documentados para tilapia en el trópico (El-Sayed, 2020; Boyd, 2015). Lo que no hace es rendir lo suficiente para compensar el costo de oportunidad del capital bajo una tasa del 11.25%. Esa distinción entre viabilidad operativa y viabilidad financiera descontada es el punto de partida de esta discusión.

El sistema genera un flujo operativo positivo de 2,733 USD anuales en plena capacidad, lo cual es técnicamente suficiente para cubrir todos los costos recurrentes. El VAN es negativo no porque el sistema no sea rentable operativamente, sino porque la inversión inicial de 18,965 USD, descontada al 11.25% durante diez años, genera una carga de valor presente que los excedentes operativos no alcanzan a compensar. Esta distinción es conceptualmente importante: la inviabilidad no es de operación sino de capitalización.

Esta tensión entre eficiencia operativa y recuperación del capital es recurrente en la literatura sobre acuicultura comunitaria (Martínez-Cordero & Leung, 2004; Byabasaija et al., 2025; Belton et al., 2012; Simmance et al., 2022). A diferencia de proyectos donde la inviabilidad es estructural, como costos operativos superiores a los ingresos posibles en cualquier escenario plausible, en Galerazamba la brecha es de magnitud acotada y las condiciones para cerrarla están documentadas y son técnicamente accesibles, como se desarrolla en la subsección siguiente.

La viabilidad condicionada como hallazgo central: por qué el VAN negativo no es una sentencia

El resultado del escenario base (VAN de -6,750 USD con TIR mensual de 0.11%) no es un indicador de fracaso sino de una condición estructural específica: el sistema es financieramente autosuficiente en términos operativos desde el segundo año, pero la tasa de oportunidad del 11.25% que incorpora la prima de riesgo de proyectos productivos rurales colombianos, supera su capacidad de retorno bajo supuestos de primera operación. Este resultado tiene tres implicaciones analíticas directas.

En primer lugar, el VAN de -6,750 USD cuantifica la brecha entre el retorno del proyecto y el costo de oportunidad del capital bajo condiciones conservadoras, no la magnitud de un déficit operativo. La diferencia entre el VAN del escenario base y el del Escenario Retador (15,424 USD) se explica por la combinación de mejoras técnicas alcanzables en los primeros ciclos, sin ningún cambio en la estructura del proyecto.

En segundo lugar, el análisis de sensibilidad demuestra que los vectores de mejora necesarios son técnicamente accesibles: la consolidación del FCR de 1.6 a 1.5, esperable en el tercer o cuarto ciclo productivo, y el acceso al segmento turístico ya identificado en el análisis de mercado son suficientes para llevar el VAN de -6,750 a +8,674 USD, sin modificar la escala del proyecto ni requerir inversión adicional. Esta sensibilidad revela que la curva de aprendizaje del sistema, tanto técnica como comercial, conduce de manera progresiva hacia la viabilidad financiera a medida que el equipo comunitario acumula experiencia (Tacon & Metian, 2015; Saavedra Martínez, 2006).

En tercer lugar, la comparación entre la TIR anual del 1.33% y las tasas de captación de ahorro formal disponibles para comunidades rurales en Colombia, típicamente entre el 5% y 7% EA, muestra que bajo el escenario base el proyecto no resulta competitivo como asignación del capital comunitario frente a alternativas sin riesgo. Sin embargo, ya el Escenario Retador (con TIR anual del 22.3%) supera ampliamente esa referencia. Este contraste refuerza la importancia de la gestión técnica y comercial para la adopción del proyecto por parte de la comunidad (Gittinger, 1982; Norton et al., 2021).

Implicaciones para política pública y desarrollo territorial

En el contexto del Plan de Ordenamiento Productivo de la Acuicultura colombiana (UPRA, 2025), los resultados de este estudio aportan una señal clara: los instrumentos orientados exclusivamente a aumentar la productividad son insuficientes. La sostenibilidad económica de la acuicultura comunitaria requiere políticas que reconozcan la naturaleza híbrida de estos sistemas, situados en la intersección entre producción de alimentos, economía popular y gestión territorial, y que actúen simultáneamente sobre eficiencia técnica, acceso a mercados

y estructura de capitalización (Peñalosa-Martinell et al., 2025; Olagunju et al., 2025; Carrera-Quintana et al., 2022).

Los resultados identifican tres líneas de acción articuladas para el desarrollo acuícola comunitario en el Caribe colombiano: el fortalecimiento de capacidades técnicas operativas para acelerar la mejora del FCR y la supervivencia en los primeros ciclos; la facilitación del acceso a canales de comercialización turísticos y gastronómicos locales mediante articulación institucional; y la implementación de esquemas de cofinanciación moderada del CAPEX del 11% al 18% que reduzcan la carga financiera inicial sin crear dependencia estructural de subsidios permanentes. Los resultados muestran que la combinación de estas tres líneas lleva el VAN de -6,750 USD a valores entre 37,982 y 43,258 USD, con períodos de recuperación de 3 años: una transformación del perfil financiero que no requiere modificar la escala del sistema.

Conclusiones

Los resultados del estudio muestran que la acuicultura comunitaria en Galerazamba posee condiciones técnicas suficientes para sostener un sistema productivo semi-intensivo de pequeña escala bajo parámetros operativos consistentes con la literatura especializada. La combinación de una supervivencia del 80 %, un FCR de 1.6 y una producción promedio de 756 kg por estanque/ciclo evidencia que el sistema puede alcanzar niveles de desempeño biológico compatibles con esquemas comerciales rurales de baja y mediana escala. Desde esta perspectiva, el proyecto demuestra que existen capacidades reales para desarrollar procesos acuícolas técnicamente funcionales en contextos costeros comunitarios del Caribe colombiano.

Sin embargo, el análisis financiero confirma que la viabilidad técnica no garantiza, por sí sola, la sostenibilidad económica del sistema. Bajo el escenario base evaluado, el proyecto genera flujos operativos positivos una vez estabilizada la producción, pero dichos excedentes resultan insuficientes para compensar completamente la inversión inicial y el costo de oportunidad del capital dentro del horizonte de evaluación analizado. El VAN negativo estimado y la limitada TIR obtenida reflejan que la principal restricción del sistema no se encuentra asociada al desempeño productivo cotidiano, sino a la elevada intensidad de capital requerida durante la fase inicial de implementación y a la limitada capacidad de captura de valor en mercados locales de bajo margen.

En este sentido, uno de los principales aportes del estudio consiste en demostrar que la inviabilidad financiera observada en el escenario base no debe interpretarse como una limitación estructural irreversible del modelo acuícola comunitario. Por el contrario, los análisis de sensibilidad y escenarios desarrollados evidencian que el sistema presenta una alta capacidad de respuesta frente a ajustes relativamente moderados en variables estratégicas como el precio de venta, la supervivencia productiva y los esquemas de cofinanciación del CAPEX. La mejora progresiva de estas variables permite transformar de manera significativa el comportamiento financiero del proyecto sin necesidad de modificar la escala productiva ni incorporar supuestos tecnológicos extremos.

Los resultados también muestran que el acceso a mercados diferenciados constituye uno de los factores más determinantes para la sostenibilidad económica del sistema. La posibilidad de articular parte de la producción con segmentos turísticos, gastronómicos o regionales con mayor disposición a pagar genera impactos financieros considerablemente más relevantes que

el simple incremento del volumen producido. Esta conclusión adquiere especial importancia en contextos rurales y comunitarios, donde las limitaciones de capital, infraestructura y capacidad organizativa reducen la viabilidad de estrategias basadas exclusivamente en expansión de escala y maximización de volumen.

De manera complementaria, el estudio confirma la relevancia de los mecanismos híbridos de financiamiento para proyectos acuícolas comunitarios. La elevada participación del CAPEX dentro de la estructura total de costos convierte a la cofinanciación institucional en un elemento crítico para reducir la presión financiera durante los primeros años de operación. Los escenarios evaluados muestran que esquemas parciales de apoyo a la inversión inicial permiten mejorar sustancialmente los indicadores de rentabilidad y reducir la vulnerabilidad financiera del sistema frente a desviaciones técnicas o comerciales. En consecuencia, la sostenibilidad de este tipo de iniciativas depende en gran medida de la articulación entre capacidades productivas locales y mecanismos externos de fortalecimiento financiero y acompañamiento institucional.

Desde una perspectiva territorial, los hallazgos sugieren que la acuicultura comunitaria debe analizarse más allá de su desempeño estrictamente financiero. Aunque los indicadores económicos tradicionales constituyen herramientas fundamentales para evaluar la viabilidad del sistema, el proyecto también genera beneficios asociados a la diversificación de medios de vida, el fortalecimiento organizativo, la reducción de la dependencia de actividades extractivas y la consolidación de capacidades locales de producción alimentaria. Estos elementos adquieren una relevancia particular en territorios costeros vulnerables, donde la resiliencia económica y

social depende crecientemente de estrategias productivas diversificadas y territorialmente integradas.

Asimismo, el estudio aporta evidencia útil para el diseño de políticas públicas orientadas al fortalecimiento de la acuicultura de pequeña escala en Colombia. Los resultados muestran que los enfoques centrados exclusivamente en aumentar la producción o expandir infraestructura pueden resultar insuficientes si no se acompañan de instrumentos orientados a facilitar acceso a mercados, reducir barreras financieras iniciales y fortalecer capacidades organizativas comunitarias. En este contexto, la acuicultura comunitaria emerge como una actividad que requiere estrategias integrales de desarrollo rural y costero, capaces de articular dimensiones productivas, financieras, sociales y territoriales de manera simultánea.

Finalmente, el artículo evidencia la importancia de abordar la evaluación de proyectos acuícolas comunitarios desde enfoques sistémicos e integrados. Más que depender de una única variable crítica, la sostenibilidad del sistema analizado surge de la interacción dinámica entre desempeño técnico, estructura financiera, gobernanza comunitaria y articulación comercial. Esta lectura permite superar visiones simplificadas de viabilidad basadas únicamente en indicadores financieros aislados y aporta una aproximación más realista a las condiciones bajo las cuales la acuicultura comunitaria puede consolidarse como una alternativa viable de desarrollo económico local en contextos rurales costeros.

Cinco aspectos limitan la extrapolación de las conclusiones a otros contextos y deben considerarse al interpretar los resultados. Primero, el modelo mantiene los componentes del OPEX distintos al alimento como costos fijos en el corto plazo, lo que puede representar el riesgo productivo de forma ligeramente más pesimista que en la operación real. Segundo, el análisis trabaja en términos reales sin incorporar la inflación diferenciada de insumos y precios; en el contexto colombiano, con inflación del 5.10 % al cierre de 2025 (DANE, 2026), esto puede afectar la precisión de los flujos proyectados en los años finales. Tercero, la estimación de la demanda turística inducida (4 toneladas adicionales anuales) se basa en un modelo propio sin estadísticas primarias sistemáticas de Galerazamba. Cuarto, la tasa de descuento del 9 % no incorpora una prima explícita por riesgo específico del proyecto; tasas ajustadas del 11 % al 12 % producirían VAN más negativos en el escenario base. Quinto, el estudio se basa en un único caso, lo que limita la generalización directa a otros corregimientos costeros del Caribe colombiano.

Referencias bibliográficas

Ababouch, L., Nguyen, K. A. T., de Souza, M. C., & Fernandez-Polanco, J. (2023). Value chains and market access for aquaculture products. *JOURNAL OF THE WORLD AQUACULTURE SOCIETY*, 54(2, SI), 527–553. <https://doi.org/10.1111/jwas.12964>

Agencia de Desarrollo Rural. (2024). Piscicultura para la paz: proyecto productivo para 650 familias firmantes de paz en el Meta. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. <https://www.adr.gov.co/piscicultura-para-la-paz-proyecto-productivo-para-650-familias-firmantes-de-paz-en-el-meta/>

Aguilar-Manjarrez, J., Soto, D., & Brummett, R. (2017). *Aquaculture zoning, site selection and area management under the ecosystem approach to aquaculture: A handbook*. Food and Agriculture Organization of the United Nations & World Bank. <https://documents1.worldbank.org/curated/en/412061490106923079/pdf/ACS18071-REVISED-v1-75pgs-a-i6834e.pdf>

Alcaldía de Santa Catalina. (s.f.). *Nuestro municipio*. <https://www.santacatalinabolivar.gov.co/municipio/nuestro-municipio>

Alcaldía de Santa Catalina. (2024). *Plan de Desarrollo Municipal "Santa Catalina me Enamora" 2024-2027*. Municipio de Santa Catalina, Bolívar, Colombia. <https://www.santacatalina-bolivar.gov.co/noticias/aprobado-plan-de-desarrollo-santa-catalina-me-enamora>

APY Solidaridad. (2025). ACUAFASA: el proyecto que siembra soberanía alimentaria en Colombia a través de la acuaponía. Fundación APY-Solidaridad en Acción. <https://apysolidaridad.org/acuafasa-proyecto-siembra-soberania-alimentaria-colombia-acuaponia/> Ateweberhan, M., Hudson, J., Rougier,

A., Jiddawi, N. S., Msuya, F. E., Stead, S. M., & Harris, A. (2018). Community based aquaculture in the western Indian Ocean: challenges and opportunities for developing sustainable coastal livelihoods. *ECOLOGY AND SOCIETY*, 23(4). <https://doi.org/10.5751/ES-10411-230417>

Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca. (2023). *Boletín estadístico pesquero y acuícola de Colombia 2023*. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural.
<http://sepec.aunap.gov.co/Home/BoletinesEstadisticos>

Baca Urbina, G. (2022). Evaluación de proyectos (9a edición). McGraw-Hill interamericana.
https://bibliotecaean.primo.exlibrisgroup.com/permalink/57EAN_INST/2i6qa6/alma991204001608161

BBVA Research. (2026). Colombia | La inflación cerró 2025 en 5,10%, prácticamente sin cambios frente al año anterior [Informe de investigación económica].
<https://www.bbvarsearch.com/publicaciones/colombia-la-inflacion-cerro-2025-en-510-practicamente-sin-cambios-frente-a-2024/>

Belton, B., Little, D. C., Zhang, W., Edwards, P., Skladany, M., & Thilsted, S. H. (2020). Aquaculture, employment, poverty, food security and well-being in low- and middle-income countries. *Fish and Fisheries*, 21(4), 598–611.
https://www.researchgate.net/publication/271443256_Aquaculture_employment_poverty_food_security_and_well-being_in_Bangladesh_A_comparative_study

Belton, B., Haque, Md. M., & Little, D. C. (2012). Does Size Matter? Reassessing the Relationship between Aquaculture and Poverty in Bangladesh. *The Journal of Development Studies*, 48(7), 904–922. <https://doi.org/10.1080/00220388.2011.638049>

Béné, C., Arthur, R., Norbury, H., Allison, E. H., Beveridge, M., Bush, S., Campling, L., Leschen, W., Little, D., Squires, D., Thilsted, S. H., Troell, M., & Williams, M. (2016). Contribution of Fisheries and Aquaculture to Food Security and Poverty Reduction: Assessing the Current Evidence. *World Development*, 79, 177–196.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2015.11.007>

Boardman, A. E., Greenberg, D. H., Vining, A. R., & Weimer, D. L. (2018). *Cost-Benefit Analysis: Concepts and Practice* (5th ed.). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781108235594>

Boyd, C. E. (2015). *Water quality: An introduction*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-17446-4>

Boyd, C. E., McNevin, A. A., Davis, R. P., Godumala, R., Mohan, A. B. C., & Tucker, C. S. (2020). Resource use in small-scale aquaculture. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, 28(4), 567–583. <https://doi.org/10.1080/23308249.2020.1759858>

Brun, V., Celis, A. I. J., Dubrana, C., Saludsod, Ma. M., Creencia, L. A., Gajardo, L. J. A., Gill, D. A., Madarcos, J. R. v, Madarcos, K. G., Ventilacion, T. A., & Claudet, J. (2025). From ocean to markets: fish exports threaten nutrition security in coastal communities. *Communications Earth & Environment*, 6(1), 892. <https://doi.org/10.1038/s43247-025-02820-1>

Byabasaija, S., Limuwa, M., & Semyalo, R. (2025). Optimizing small-scale aquaculture systems in the Lake Victoria Basin Uganda through analysis of profitability drivers. *Discover Sustainability*, 6(1). <https://doi.org/10.1007/s43621-025-01706-8>

Carrera-Quintana, S. C., Gentile, P., & Girón-Hernández, J. (2022). An overview on the aquaculture development in Colombia: Current status, opportunities and challenges. *Aquaculture*, 561, 738583. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.738583>

Carvajal-Salcedo, D., Cruz-Casallas, P. E., & Velasco-Santamaría, Y. M. (2021). Manual práctico de manufacturación artesanal de dietas acuícolas alternativas para cachama blanca (*Piaractus brachypomus*) dirigido a acuicultores de recursos limitados de los municipios de Lejanías y El Dorado, Meta. Universidad de los Llanos.

[https://repositorio.unillanos.edu.co/entities/publication/0d97a586-7748-4615-9d98-](https://repositorio.unillanos.edu.co/entities/publication/0d97a586-7748-4615-9d98-9eb61f231c7c)

[9eb61f231c7c](https://repositorio.unillanos.edu.co/entities/publication/0d97a586-7748-4615-9d98-9eb61f231c7c)Castillo, L.S., Knott, C., Quintana, A.C.E. *et al.* Community-centered approaches to aquaculture in small-scale fisheries. *Ambio* **55**, 1304–1321 (2026). <https://doi.org/10.1007/s13280-025-02302-w>

Departamento Administrativo Nacional de Estadística. (2018). Censo Nacional de Población y Vivienda. DANE. <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/censo-nacional-de-poblacion-y-vivienda-2018>

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). (2025). Índice de precios al consumidor, cuentas departamentales y pobreza multidimensional. DANE. <https://www.dane.gov.co>

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). (2024). Sistema de Información de Precios y Abastecimiento del Sector Agropecuario (SIPSA): Boletines semanales de precios mayoristas. <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/agropecuario/sipsa>

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). (2025). Sistema de Información

de Precios y Abastecimiento del Sector Agropecuario (SIPSA): Boletines semanales de precios mayoristas. <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/agropecuario/sipsa>

Departamento Administrativo Nacional de Estadística. (2026). Comunicado de prensa: Índice de Precios al Consumidor, Diciembre de 2025. DANE.
<https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/precios-y-costos/indice-de-precios-al-consumidor-ipc>

Departamento Administrativo Nacional de Estadística. (s. f.). Demografía y población. DANE.
<https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion>

Departamento Nacional de Planeación. (2022). Adopción de la Tasa Social de Descuento para la evaluación de proyectos de inversión pública. DNP.
<https://www.dnp.gov.co/publicaciones/Revista-Juridica/Paginas/Adopci%C3%B3n-de-la-Tasa-Social-de-Descuento-para-la-evaluaci%C3%B3n-de-proyectos-de-inversi%C3%B3n.aspx>

Dorji, N., Yamazaki, S., & Thinley, P. (2025). Commercialization and productivity: Evidence from small-scale aquaculture in Bhutan. *Aquaculture*, 596, 741794.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2024.741794>

El-Sayed, A. F. M. (2020). *Tilapia culture* (2nd ed.). Academic Press.
https://www.researchgate.net/profile/Abdel-El-Sayed/publication/287293649_Tilapia_Culture/links/5692200208aee91f69a606af/Tilapia-Culture.pdf

Engle, C. R. (2010). *Aquaculture Economics and Financing: Management and Analysis*. Wiley-Blackwell. <https://www2.hcmuaf.edu.vn/data/nmduc/Aquaculture%20Economics%20and%20Financing%20-%20Management%20and%20Analysis.pdf>

FAO. (2025). *Guidelines for Sustainable Aquaculture*. Rome. <https://doi.org/10.4060/cd3785en>

FAO. (s. f.). Tablas de la tilapia del Nilo: Tabla 28. Tabla de alimentación para tilapia utilizando alimento formulado en sistemas de cultivo intensivo. https://www.fao.org/fileadmin/user_upload/affris/docs/NileTilapiaSpanishTables/NileTilapiaTabSp28.pdf

FAO. (2020). *Retos de la pesca artesanal y el derecho a la alimentación en Colombia*. Programa España-FAO para América Latina y el Caribe. <https://www.fao.org/in-action/programa-espana-fao/noticias/ver/es/c/1309011/>

FAO. (2020). *The State of World Fisheries and Aquaculture 2020. Sustainability in action*. Rome. <https://doi.org/10.4060/ca9229en>

FAO. (2022). *The State of World Fisheries and Aquaculture 2022: Towards Blue Transformation*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://doi.org/10.4060/cc0461en>

Gittinger, J. P. (1982). *Economic analysis of agricultural projects* (2nd ed.). Johns Hopkins University Press.

Gobernación de Bolívar. (s.f.). Mapa y territorios.

<https://www.bolivar.gov.co/web/seccion/bolivar/mapa-y-territorios/>

Gobernación de Bolívar. (2024, enero 17). *Gobernación de Bolívar y el sector privado impulsarán el turismo en Santa Catalina*. Noticias 625. <https://noticias625.co/gobernacion-de-bolivar-y-el-sector-privado-impulsaran-el-turismo-en-santa-catalina/>

Hernández Román, R. A. (2019). Turismo como fuente de atenuación de la pobreza en Galerazamba, corregimiento de Santa Catalina, Bolívar.

<https://doi.org/10.57998/bdigital.handle.001.2054>

Hilliard, H. (2021). Reviving sustainable aquaculture in the Philippines. Peace Corps.

<https://www.peacecorps.gov/connect/blog/reviving-sustainable-aquaculture-philippines/>

Huang, W.-J., & Chen, D.-J. (2025). The conditions enabling short food supply chains as strategies for rural development: A smallholders' perspective. *Agricultural and Food Economics*, 13, 90. <https://doi.org/10.1186/s40100-025-00395-1>

Italcol S.A. (2025). Línea acuicultura: alimentos para mojarra y tilapia.

<https://italcol.com/categoria-producto/acuicultura/>

Lamprea-Barragán, T. C., Ospina-Cartagena, V., Hernández-Díaz, G. A., & Rivera-Moreno, A. (2020). Una medida de los efectos potenciales del Covid-19 en el empleo: el caso de la política de aislamiento preventivo obligatorio en Colombia (Documento No. 508). Departamento Nacional de Planeación, Dirección de Estudios Económicos. <https://www.dnp.gov.co/estudios->

[ypublicaciones/estudios-economicos/Paginas/archivos-de-economia.aspx](http://publicaciones/estudios-economicos/Paginas/archivos-de-economia.aspx)

Leal, L. A., Ángel-Ospina, A. C., Ramos, J. A. L., & Machuca-Martínez, F. (2025). Aquaculture sector in Colombia: Uncovering sustainability, transformative potential, and trends through bibliometric and patent analysis. *Aquaculture*, 598, 742068.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2024.742068>

Maldonado, J. H., Moreno-Sánchez, R. del P., Vargas-Morales, M. E., & Leguízamo, E. (2022). Livelihoods characterization of a small-scale fishing community in the Colombian Caribbean. *Marine and Fishery Sciences (MAFIS)*, 35(2), 181–210.

<https://doi.org/10.47193/mafis.3522022010504>

M. Masi, E.S. Marrocco, G. Fusco, F. Adinolfi, Y. Vecchio, The economic sustainability of Italian aquaculture farms: Who has the potential to start the blue transition?, *Marine Policy*, Volume 171, 2025, 106478, ISSN 0308-597X, <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2024.106478>.

(<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308597X24004780>)

Manlosa, A. O. (2023). Social capital strengthens agency among fish farmers: Small-scale aquaculture in Bulacan, Philippines. *Frontiers in Aquaculture*, 2, 1106416.

<https://doi.org/10.3389/faquc.2023.1106416>

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2021). *Acuicultura en Colombia: Cadena de la Acuicultura*. Dirección de Cadenas Pecuarias, Pesqueras y Acuícolas. <https://sioc.minagricultura.gov.co/Acuicultura/Documentos/2021-03-31%20Cifras%20Sectoriales.pdf>

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2021). *Cifras sectoriales de la acuicultura en*

Colombia 2020 (Informe sectorial). <https://sioc.minagricultura.gov.co/Acuicultura/Documentos/2021-06-30%20Cifras%20Sectoriales.pdf>

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2021). Costos de producción tilapia y trucha. Sistema de Información de Oferta Agropecuaria (SIOC).

<https://sioc.minagricultura.gov.co/DocumentosContexto/A1311-COSTOS%20TRUCHA%20Y%20TILAPIA.pdf>

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2021). *Plan de ordenamiento productivo de la cadena de la acuicultura en Colombia*. Sistema de Información de Gestión de Cadenas Productivas (SIOC).

<https://sioc.minagricultura.gov.co/Acuicultura/Documentos/2021-06-30%20Cifras%20Sectoriales.pdf>

Ministerio de Comercio, Industria y Turismo. (2024). *Colombia registró un aumento en la llegada de turistas extranjeros durante el primer semestre de 2024*.

<https://www.mincit.gov.co/prensa/noticias/turismo/aumento-en-la-llegada-de-turistas-extranjeros-2024>

Ministerio de Comercio, Industria y Turismo. (2024). Informe de turismo: Llegada de visitantes extranjeros por departamento, enero-marzo 2024. Oficina de Estudios Económicos.

<https://www.mincit.gov.co/estudios-economicos/estadisticas-e-informes/informes-de-turismo>

Maldonado, J. H., Moreno-Sánchez, R. del P., Vargas-Morales, M. E., & Leguízamo, E. (2022). Livelihoods characterization of a small-scale fishing community in the Colombian Caribbean. *Marine and Fishery Sciences (MAFIS)*, 35(2), 181–210. <https://doi.org/10.47193/mafis.3522022010504>

Manlosa, A. O. (2023). Social capital strengthens agency among fish farmers: Small scale aquaculture in Bulacan, Philippines. *Frontiers in Aquaculture*, 2, 1106416.

<https://doi.org/10.3389/faquc.2023.1106416>

Martínez-Cordero, F. J., & Leung, P. (2004). Sustainable aquaculture and producer performance: Measurement of efficiency and productivity growth of shrimp farms in northwest Mexico. *Aquaculture*, 233(1–4), 499–523. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2003.10.020>

Martínez-Paz, J. M., Banos, J. F., & Banos, M. (2018). Reviewing capital cost estimations in aquaculture. *Aquaculture Economics & Management*, 22(1), 1–21.

<https://doi.org/10.1080/13657305.2017.1300839>

Masi, M., Marrocco, E. S., Fusco, G., Adinolfi, F., & Vecchio, Y. (2025). The economic sustainability of Italian aquaculture farms: Who has the potential to start the blue

<https://doi.org/10.3390/fishes8030138>

Moreno-Núñez, P. (2023). Dinámicas de la piscicultura de recursos limitados en la Amazonia colombiana: retos de articulación y tecnificación en Leticia [Estudios amazónicos]. Universidad Nacional de Colombia, Sede Amazonia. <https://agenciadenoticias.unal.edu.co/detalle/a-mayor-articulacion-mas-oportunidades-para-piscicultura-amazonense>

Norton, G. W., Alwang, J., & Masters, W. A. (2021). Economics of agricultural development: World food systems and resource use (4th ed.). Routledge. <https://www.routledge.com/Economics-of-Agricultural-Development-World-Food-Systems-and-Resource-Use/Norton-Alwang-Masters/p/book/9780367321482>

Oficina de Estudios Económicos, Ministerio de Comercio, Industria y Turismo. (2025). Perfiles económicos departamentales: Departamento de Bolívar. <https://www.mincit.gov.co/CMSPages/GetFile.aspx?guid=695d114c-b233-479a-8e74->

[ca608f79012a](#)

Olagunju, O. F., Kristofersson, D., Kristjánsson, T., & Tómasson, T. (2025). Policy options for profitable and sustainable aquaculture. *Aquaculture*, 610, 742880.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2025.742880>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2022). *Pesca y acuicultura artesanales*. <https://www.fao.org/voluntary-guidelines-small-scale-fisheries/home/artisanal-fisheries-and-aquaculture/es>

Partelow, S., Asif, F., Béné, C., Bush, S., Manlosa, A. O., Nagel, B., Schlüter, A., Chadag, V. M., Choudhury, A., Cole, S. M., Cottrell, R. S., Gelcich, S., Gentry, R., Gephart, J. A., Glaser, M., Johnson, T. R., Jonell, M., Krause, G., Kunzmann, A., ... Turchini, G. M. (2023). Aquaculture governance: five engagement arenas for sustainability transformation. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 65, 101379. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cosust.2023.101379>

Pascoe, S., Paredes, S., & Cogan, L. (2023). The indirect economic contribution of fisheries to coastal communities through tourism. *Fishes*, 8(3), 138. Little, D. C., Newton, R. W., & Beveridge, M. C. M. (2016). Aquaculture: a rapidly growing and significant source of sustainable food? Status, transitions and potential. *Proceedings of the Nutrition Society*, 75(3), 274–286. <https://doi.org/10.1017/S0029665116000665>

Peace Corps. (2025). About Colombia. <https://www.peacecorps.gov/colombia/about/>

Peace Corps. (s.f.). Projects in Zambia. <https://www.peacecorps.gov/zambia/projects/>

Peace Corps. (2025b). About Zambia. <https://www.peacecorps.gov/zambia/about/>

Peace Corps & Rare. (2021). Scaling up sustainable fisheries through the Rare–Peace Corps partnership. Rare. <https://rare.org/story/scaling-up-sustainable-fisheries-through-rare-peace-corps-partnership/>

Peñalosa-Martinell, D., Vergara-Solana, F. J., & Villarreal Colmenares, H. (2025). Analysis of the impact of aquaculture subsidies on production, the case of Mexico. *NPJ Ocean Sustainability*, 4(1). <https://doi.org/10.1038/s44183-025-00123-8>

Pérez, A.I.M. (2024). "They Are Taking the Sea from us" - Maritime Extractivism, Dispossession and Resistance in Rural and Ethnic Communities of the Colombian Caribbean. *Latin American Perspectives*, 51(3), 111–130. <https://doi.org/10.1177/0094582X241283771>

Piza-Jerez, A.C. (2024). Aquaculture in Colombia: Current affairs in 2024. *World Aquaculture Society*. https://www.was.org/article/Aquaculture_in_Colombia_Current_Affairs_in_2024.aspx

ProColombia. (2025, diciembre 22). *Cinco territorios emergentes están transformando el turismo en Colombia*. <https://procolombia.co/sala-de-prensa/noticias/cinco-territorios-emergentes-estan-transformando-el-turismo-en-colombia>

Rangel-Buitrago, N., Correa, I. D., Anfuso, G., Ergin, A., & Williams, A. T. (2013). Assessing and managing scenery of the Caribbean Coast of Colombia. *Tourism Management*, 35, 41–58. <https://doi.org/10.1016/j.tourman.2012.05.008>

Rangel-Buitrago, N., Arroyo-Olarte, H., Trilleras, J., Arana, V. A., Mantilla-Barbosa, E., Gracia, C. A.,

Velez Mendoza, A., Neal, W. J., Williams, A. T., & Micallef, A. (2021). Microplastics pollution on Colombian Central Caribbean beaches. *Marine Pollution Bulletin*, 170, 112685. ISSN 0025-326X, <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112685>.

Rodríguez Sánchez, S. (2019). Sostenibilidad ambiental en los sistemas de producción familiar rural con piscicultura, en el municipio de Castilla la Nueva, departamento del Meta [Trabajo de grado, Universidad Nacional Abierta y a Distancia]. Repositorio Institucional UNAD. <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/28327/1022353615.pdf>

Saavedra Martínez, M. A. (2006). *Manejo del cultivo de tilapia*. Centro de Investigaciones de Ecosistemas Acuáticos (CIDEA-UCA). <https://www.crc.uri.edu/download/MANEJO-DEL-CULTIVO-DE-TILAPIA-CIDEA.pdf>

Santos, E. (2024). Regional Dynamic and Economic Sustainability of Mariculture Firms in Portugal: A Financial Performance Analysis. *WATER*, 16(12). <https://doi.org/10.3390/w16121655>

Simmanee, F. A., Nico, G., Funge-Smith, S., Basurto, X., Franz, N., Teoh, S. J., Byrd, K. A., Kolding, J., Ahern, M., Cohen, P. J., Nankwenya, B., Gondwe, E., Virdin, J., Chimatiro, S., Nagoli, J., Kaunda, E., Thilsted, S. H., & Mills, D. J. (2022). Proximity to small-scale inland and coastal fisheries is associated with improved income and food security. *Communications Earth & Environment*, 3(1), 174. <https://doi.org/10.1038/s43247-022-00496-5>

Solla. (2025). Nutrición acuícola y alimentos balanceados para peces. <https://www.solla.com>

Subsecretaría de Pesca y Acuicultura Chile. (Subpesca). (s. f.). *Acuicultura de pequeña*

escala. <https://www.subpesca.cl/portal/sitio/Actividades-Reguladas/Acuicultura/92466:Acuicultura-de-Pequeña-Escala>

Unidad de Planificación Rural Agropecuaria. (2023). Zonificación de aptitud para la acuicultura de especies de consumo humano en Colombia: trucha, cachama, tilapia, especies nativas y camarón blanco (escala 1:100.000). UPRA–Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural.

<https://upra.gov.co/es-co/sala-de-prensa/noticias/la-acuicultura-y-la-pesca-en-colombia-son-fuente-de-vida>

Tacon, A. G. J., & Metian, M. (2015). Feed Matters: Satisfying the Feed Demand of Aquaculture. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, 23(1), 1–10.

<https://doi.org/10.1080/23308249.2014.987209>

Telfer, D. J., & Wall, G. (1996). Linkages between tourism and food production. *Annals of Tourism Research*, 23(3), 635–653. [https://doi.org/10.1016/0160-7383\(95\)00087-9](https://doi.org/10.1016/0160-7383(95)00087-9)

Torres, R. M. (2003). Linkages between tourism and agriculture in Mexico. *Annals of Tourism Research*, 30(3), 546–566. [https://doi.org/10.1016/S0160-7383\(02\)00103-2](https://doi.org/10.1016/S0160-7383(02)00103-2)

Trading Economics. (s.f.). Colombia - tasa de interés.

<https://es.tradingeconomics.com/colombia/interest-rate>

Unidad de Planificación Rural Agropecuaria. (2025). Colombia adopta el marco de política pública para el Plan de Ordenamiento Productivo (POP) de la Acuicultura para especies de consumo humano. UPRA–MinAgricultura. <https://upra.gov.co/es-co/sala-de-prensa/noticias/colombia-adopta-el-marco-de-politica-publica-para-el-plan-de-ordenamiento>

Wirajing, M. A. K., Nanfosso, R. T., Kountchou, A. M., Haruna, A., Wung, A. E., & Fondzenyuy,

W. A. S. (2025). The dynamics of fishery activities and livelihood sustainability in Cameroon: Empirical insights from the CAMFISHLIST national survey. *Ocean & Coastal Management*, 272, 108007. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2025.108007>

Wong, A., Frommel, A. Y., Sumaila, U. R., & Cheung, W. W. L. (2024). A traits-based approach to assess aquaculture's contributions to food, climate change, and biodiversity goals. *NPJ OCEAN SUSTAINABILITY*, 3(1). <https://doi.org/10.1038/s44183-024-00065-7>

Yescombe, E. R. (2014). *Principles of project finance* (2nd ed.). Academic Press. https://www.sciencedirect.com/book/monograph/9780123910585/principles-of-project-finance?utm_source#book-description



**Anexos: Análisis multidimensional de la viabilidad técnica, comercial, financiera y de
sostenibilidad de un sistema acuícola comunitario en Galerazamba, Colombia**

Freddy Quintero Ortega

María Paula Segura Maldonado

Mónica Viviana Vargas Galeano

Universidad EAN

Facultad de Administración, Finanzas y Ciencias Económicas

Programa Maestría en Administración de Empresas

Bogotá, Colombia

14/Mayo/2026

Anexo A

Evidencia empírica cuantitativa sobre principales factores de la acuicultura comunitaria.

Dimensión analítica	Indicador cuantitativo usado en la literatura	Evidencia empírica reportada	País	Fuente
Seguridad alimentaria / nutrición	Consumo per cápita de pescado (kg/persona/año)	Consumo medio ≈ 55 kg/persona/año; asociación positiva con ingesta de proteína y micronutrientes	Filipinas	Brun et al. (2025)
Adecuación nutricional	% de hogares que alcanzan requerimientos energéticos y proteicos	47% no alcanza requerimientos energéticos; consumo de pescado correlaciona positivamente con adecuación nutricional	Filipinas	Brun et al. (2025)
Generación de ingresos	Ingreso anual por actividades pesqueras / acuícolas	~38% de hogares supera 7 millones FCFA/año; fuerte heterogeneidad entre hogares	Camerún	Wirajing et al. (2025)
Diversificación de medios de vida	% de hogares con ingresos mixtos (pesca + otras actividades)	Alta dependencia del sector, pero limitada diversificación fuera de pesca/acua.	Camerún	Wirajing et al. (2025)
Capacidades técnicas locales	% de hogares con formación técnica	<50% ha recibido formación formal en acuicultura o pesca	Camerún	Wirajing et al. (2025)
Organización y gobernanza	% de hogares afiliados a cooperativas	Solo 9% pertenece a organizaciones/cooperativas	Camerún	Wirajing et al. (2025)
Escala productiva	Tamaño del sistema productivo y tipo de relación de producción	Sistemas de pequeña escala muestran impactos limitados frente a sistemas semi-capitalizados	Bangladesh	Belton et al. (2012)
Inserción en mercados	Destino de la producción (% consumo local vs exportación)	Alta proporción de exportación reduce disponibilidad local de pescado	Filipinas	Brun et al. (2025)
Equidad en beneficios	Distribución del ingreso y acceso a recursos	Evidencia mixta; beneficios no homogéneos entre hogares	Global	Béné et al. (2016)

El anexo A sintetiza los principales enfoques utilizados por la literatura empírica para operacionalizar y

cuantificar los impactos de la acuicultura comunitaria y los factores que condicionan su sostenibilidad. En particular, se identifican los indicadores más recurrentes empleados para medir resultados en consumo, ingresos y nutrición, así como las variables estructurales consideradas en los análisis comparativos entre contextos en estudios realizados en Camerún, las Filipinas y otros países en desarrollo.

Anexo B

Contexto territorial y acuícola de Galerazamba en el municipio de Santa Catalina

Ubicación del Departamento de Bolívar en Colombia

Department of Bolívar, Colombia



Nota. Elaboración propia creada con Datawrapper.

El municipio de Santa Catalina se ubica al norte del departamento de Bolívar —uno de los de mayor extensión de la región Caribe colombiana—, en la subregión del Dique Bolivarense ($10^{\circ} 36' 24''$ N, $75^{\circ} 17' 42''$ O). Su división político-administrativa comprende la cabecera municipal y cinco corregimientos: Galerazamba, Pueblo Nuevo, Loma de Arena, Hobo y Colorado (Alcaldía de Santa Catalina, s.f.; Gobernación de Bolívar, s.f.).

Inserción territorial de Galerazamba y Santa Catalina en el departamento de Bolívar

Galerazamba's Location



Nota. Elaboración propia creada con Datawrapper.

Santa Catalina de Alejandría es una comunidad con raíces que se remontan a 1744, reuniendo pobladores de diversos asentamientos cercanos. Su historia se entrelaza con actividades tradicionales como la explotación salina de Galerazamba, la agricultura y la ganadería, mientras que hoy incorpora la pesca y el turismo como motores emergentes. Con recursos hídricos dominados por el Mar Caribe y el Embalse del Totumo, y una población de 14.948 habitantes, el municipio mantiene una identidad construida a partir de su diversidad cultural, sus corregimientos y su evolución económica (Alcaldía de Santa Catalina, s.f.).

Galerazamba, que cuenta con aproximadamente 1,162 hogares según información del DANE (2018), presenta dinámicas territoriales y productivas características de los asentamientos costeros rurales de la región. Considerando un tamaño promedio de hogar estimado a partir de datos del Censo DANE (2018) para corregimientos rurales costeros del departamento de Bolívar, la población residente estimada se sitúa en torno a los 2,000 habitantes. Las actividades económicas principales del corregimiento incluyen la pesca artesanal, el turismo asociado al fenómeno natural de las Salinas Rosadas y la extracción de sal, todas ellas de carácter estacional e informal. La

economía local exhibe una alta dependencia de actividades de baja productividad, lo que se traduce en ingresos inestables y limitadas oportunidades de acumulación económica para la población residente. La ausencia de actividades productivas estables y diversificadas, combinada con la limitada cobertura de servicios institucionales de apoyo al desarrollo productivo, posiciona a Galerazamba como un caso representativo de las brechas estructurales que enfrentan las comunidades costeras rurales del Caribe colombiano (Pérez, 2024).

Anexo C

Modelos económicos y financieros aplicados en la evaluación del sistema acuícola comunitario

Modelo / indicador	Expresión formal	Propósito analítico	Fundamentación teórica
Valor Actual Neto (VAN)	$VAN = \sum_{t=0}^T \frac{FC_t}{(1+r)^t}$	Evaluar la creación o destrucción de valor económico del proyecto considerando el valor temporal del dinero	Gittinger (1982); Yescombe (2014); Norton et al. (2021)
Tasa Interna de Retorno (TIR)	$VAN = 0 \Rightarrow r = TIR$	Medir la rentabilidad relativa del proyecto frente al costo de oportunidad del capital	Yescombe (2014)
Periodo de recuperación	$\min \left\{ t: \sum_{t=0}^T FC_t \geq 0 \right\}$	Evaluar el tiempo requerido para recuperar la inversión inicial	Gittinger (1982)
Producción efectiva	$Q_e = Q_n(1 - m)$	Incorporar el efecto de la mortalidad sobre la producción real comercializable	Boyd (2015); FAO (2020)
Producción por Ciclo	$P = A_e \times D \times S \times W$	Estimar la biomasa cosechable por estanque por ciclo a partir de parámetros biológicos y físicos del sistema	Boyd (2015); El-Sayed (2020); Engle (2010)
Consumo de alimento	$A = Q_e \times FCR$	Estimar el principal determinante del OPEX	Tacon & Metian (2015)

Costo unitario de
producción

$$C_u = \frac{OPEX}{Q_e}$$

Evaluar competitividad frente a
precios de mercado

Martínez-Cordero
& Leung (2004); Eng
le (2010); Baca
Urbina (2022)

Anexo D

Esta tabla sintetiza los principales ejercicios de sensibilidad realizados, presentando las variables analizadas, los escenarios de referencia considerados, las variaciones evaluadas y su impacto estimado sobre el desempeño económico del proyecto.

Impacto de variaciones en variables clave sobre el desempeño financiero del proyecto

Variable analizada	Escenario de referencia (base)	Variación considerada	Impacto económico estimado	Interpretación analítica
Precio de venta	Mercado local (~3.03 USD/kg)	+0.43 USD/kg (acceso a segmento turístico)	Mejora sustancial del VAN y reducción del período de recuperación	Alta elasticidad del VAN frente al precio; la estrategia comercial es la variable de mayor impacto
Mortalidad	20 % (escenario base)	Aumento a 25% (supervivencia 75 %)	Reducción producción a ~5,670 kg/año; deterioro del VAN	Riesgo moderado gestionable con mejoras de bioseguridad
Densidad de siembra	3 peces/m ² (primera operación)	Aumento a 4 peces/m ² (operación mejorada)	Incremento de la producción anual de ~6.4 t a ~8.6 t	Requiere fortalecimiento de capacidades técnicas y monitoreo de calidad de agua
FCR (Eficiencia alimenticia)	1.6 (escenario base)	Mejora a 1.5 (con 2-3 ciclos de experiencia)	Reducción del costo de alimento (56% OPEX); VAN Revierte a +3,404 USD con FCR = 1.5	Vector de mejora más directo y controlable por equipo comunitario

CAPEX asumido por la comunidad	100 %	Cofinanciación del 50 %	VAN sensiblemente mejorado; punto de inflexión para la viabilidad del proyecto	Instrumento clave de política pública para reducir barrera de entrada
Combinación de variables	Escenario base	Ajustes simultáneos en precio, densidad y FCR	VAN positivo con TIR superior a la tasa social de descuento del 11.25%	Viabilidad condicionada a la gestión estratégic a progresiva del sistema

Nota. Elaboración propia de los autores a partir del modelo financiero desarrollado en este estudio. El escenario base corresponde a parámetros conservadores de primera operación comunitaria. Las variaciones presentadas reflejan mejoras alcanzables mediante capacitación técnica, diversificación comercial y apoyo institucional, y son desarrolladas con detalle en el análisis de sensibilidades.

Anexo E

Rangos de precios mayoristas de pescados en Colombia y rango asumido en el modelo financiero

Tipo de pescado	Presentación	Tipo de mercado	Mercado referencia	Rango precios (USD/kg)	Fuente
Bocachico	Entero fresco	Mayorista tradicional	Corabastos (Bogotá), Montería	2.89 – 4.47	DANE-SIPSA (2024; 2025)
Tilapia	Entera / cortes básicos	Mayorista tradicional	Corabastos (Bogotá), Medellín	3.42 – 4.74	DANE-SIPSA (2024; 2025)
Sierra	Entera congelada	Mayorista regional Caribe	Cartagena, Barranquilla, Cúcuta	3.68 – 4.21	DANE-SIPSA (2024; 2025)
Tilapia	Filete congelado	Mayorista diferenciado	Medellín, Bogotá	3.79 – 4.11	DANE-SIPSA (2024; 2025)
Trucha	Entera fresca	Mayorista premium	Corabastos (Bogotá), Medellín	6.45 – 7.63	DANE-SIPSA (2024; 2025)
Bagre	Entero fresco	Mayorista premium	Corabastos (Bogotá)	6.32 – 7.37	DANE-SIPSA (2024; 2025)

Nota. Elaboración propia. Rangos de precios mayoristas por kilogramo con base en los boletines semanales del SIPSA, operado por el DANE, para el período 2024-2025. Los valores corresponden a precios en primera venta en mercados mayoristas urbanos, que típicamente se sitúan entre un 7 % y un 15 % por encima de los precios de primera venta rural observados en el área de influencia del proyecto. La trucha y el bagre se incluyen únicamente como referencia de segmentos premium del mercado piscícola colombiano, sin comparabilidad directa con la tilapia fresca de primera venta.

Anexo F

Parámetros técnicos de referencia del sistema semi-intensivo en estanques de tierra.

Parámetro técnico	Valor adoptado en el modelo	Rango reportado en literatura	Fuente de referencia
Área total por estanque	0.07 ha	0.05 – 0.3 ha	Boyd (2015)
Área efectiva de cultivo	630 m ²	500 – 3,000 m ²	Boyd (2015)
Densidad de siembra (escenario base)	3 peces/m ²	2 – 5 peces/m ²	SEAFDEC (2009); El-Sayed (2020)
Peso inicial de siembra (alevín)	15 g	5 – 30 g	FAO (s.f.); Saavedra Martínez (2006)
Peso final de promedio de cosecha	0.5 kg/pez	0.35 – 0.6 kg	El-Sayed (2020)
Supervivencia	80%	70 – 90%	El-Sayed (2020); Saavedra Martínez (2006)
Duración del ciclo productivo (engorde, cosecha y preparación)	6 meses (180 días) en donde 4 meses es etapa de engorde	5 – 7 meses	Boyd (2015); El-Sayed (2020)
FCR (escenario base conservador)	1.6	1.4 – 2.5	Tacon & Metian (2015); Engle (2010)
Producción por estanque por ciclo	0.756 t	0.5 – 1.5 t	Cálculo derivado

Ciclos productivos por año	2	1.5 – 2.2	Boyd (2015)
Producción anual por estanque	1.5 t/año	1.0 – 3.0 t/año	Cálculo derivado

Nota. Elaboración propia a partir de los parámetros técnicos adoptados en el diseño productivo del proyecto.

Producción anual estimada del sistema según número de estanques operativos.

Escenario	Estanques operativos	Producción por estanque (kg/año)	Producción total del sistema (kg/año)	% demanda total (20 t)
Escenario base (primera operación)	4	1,512	6,048	30%
Escenario mejorado (operación consolidada)	4	2,142	8,568	43%
Escenario expansión (2 tanques más)	6	2,142	12,852	64%

Nota. Elaboración propia. El escenario base corresponde a 3 peces/m², FCR 1.6, peso final 0.5 kg, supervivencia 80%, 2 ciclos/año. El escenario mejorado corresponde a 4 peces/m², supervivencia 85% y FCR 1.5, alcanzable mediante capacitación técnica del equipo comunitario. El escenario de expansión contempla la construcción de 6 estanques bajo las condiciones del escenario mejorado. Las diferencias en producción anual por estanque entre escenarios reflejan el impacto conjunto de la densidad de siembra y el FCR, no cambios en la escala física del sistema.

Composición del CAPEX del sistema productivo acuícola

Componente de inversión	Valor estimado (USD)	Participación (%)	Justificación técnica
Construcción y adecuación de estanques (4 × 0.07 ha)	13,289	70.1	Limpieza, descapote, excavación mecánica (3,360 m³), conformación de bordos y taludes, compactación de fondo. Incorpora mano de obra comunitaria en labores de nivelación y acabado.
Infraestructura hidráulica (captación, drenaje, tuberías)	1,316	6.9	Tuberías PVC 4", válvulas, monjes de entrada y salida, bomba sumergible 1HP y accesorios hidráulicos para cuatro estanques.
Equipamiento productivo básico	1,113	5.9	Cuatro aireadores de paletas 1HP, redes de cosecha, balanza digital, kit de medición de calidad de agua (pH, OD, temperatura) y herramientas menores.
Infraestructura de apoyo y almacenamiento	447	2.4	Bodega de 12 m² para almacenamiento de alimento balanceado y herramientas, construida con materiales locales.
Capital de trabajo inicial	2,800	14.8	Recursos para cubrir los costos de la primera siembra operativa: alevinos y alimento de los primeros ciclos antes de la primera cosecha.
CAPEX total estimado	18,965	100	Equivalente a aproximadamente COP 72.1 millones a una TRM de referencia de 3,800 COP/USD.

Nota. Elaboración propia con base en el dimensionamiento técnico del sistema productivo, precios de mercado locales de insumos y construcción rural en el Caribe colombiano, y metodologías de evaluación de proyectos agro-acuícolas (Gittinger, 1982; FAO, 2022; Boyd, 2015). El costo de construcción de estanques es coherente con los rangos documentados para sistemas semi-intensivos en Colombia y América Latina tropical (Boyd, 2015; Engle, 2010).

Anexo I

Detalle de los costos operativos del sistema acuícola

Bajo los parámetros técnicos adoptados de cuatro estanques de 630 m² de área efectiva, densidad de siembra de 3 peces/m², tasa de supervivencia del 80%, peso final promedio de cosecha de 0.5 kg y dos ciclos productivos completos por estanque por año, el sistema realiza ocho cosechas anuales a partir del segundo año de operación, con una producción por cosecha de 756 kg, lo que arroja una producción anual total de 6,048 kg en régimen estabilizado. Esta producción constituye la base para la estimación de los requerimientos de insumos, mano de obra y energía considerados dentro de la estructura de costos operativos.

Principales supuestos técnicos utilizados para la estimación del OPEX

Parámetro	Valor
Número de estanques	4
Área efectiva por estanque	630 m ²
Densidad de siembra	3 peces/m ²
Supervivencia	80%
Peso promedio de cosecha	0.5 kg/pez
Producción por cosecha	756 kg
Número de cosechas anuales	8
Producción anual total	6,048 kg
FCR	1.6
Alevines requeridos por año	15,120 unidades

Nota. Elaboración propia con base en los parámetros técnicos definidos para el sistema productivo.

Alimento balanceado

El alimento balanceado constituye el principal componente del costo operativo del sistema.

Considerando una producción anual de 6,048 kg y un factor de conversión alimenticia (FCR) de 1.6, se requiere un consumo aproximado de 9,677 kg de alimento por año. Para el presente estudio se adoptó un precio promedio de 0.921 USD/kg (COP 3,500/kg), valor representativo de alimentos comerciales

para etapas de levante y engorde comercializados por proveedores presentes en la región Caribe colombiana, incluyendo líneas acuícolas de empresas como Itacol y Solla. Bajo estos supuestos, el costo anual asciende a 8,913 USD, equivalente al 54% del OPEX total. Esta participación se encuentra dentro de los rangos reportados por la literatura internacional, donde la alimentación suele representar entre el 50% y el 65% de los costos operativos de sistemas acuícolas semi-intensivos (Tacon & Metian, 2015).

Mano de obra

La operación del sistema contempla la participación de dos operarios comunitarios de dedicación parcial encargados de las actividades rutinarias de alimentación, monitoreo de calidad del agua, limpieza de estructuras, apoyo en las siembras, cosechas y preparación de estanques entre ciclos. La valoración económica de estas actividades se realizó utilizando como referencia remuneraciones rurales observadas en la región Caribe colombiana, obteniéndose un costo anual estimado de 3,400 USD.

Desagregación referencial del costo anual de mano de obra

Actividad principal	Participación estimada
Alimentación diaria	40%
Monitoreo y registro	20%
Limpieza y mantenimiento rutinario	15%
Siembras y cosechas	15%
Preparación de estanques	10%

Nota. La distribución corresponde a una estimación funcional del tiempo requerido para la operación del sistema.

Energía eléctrica

El costo energético anual se estimó en 1,650 USD y se asocia principalmente a la operación de la infraestructura hidráulica y de aireación instalada en el sistema. De acuerdo con el dimensionamiento

técnico presentado en el Anexo H, el proyecto incorpora una bomba sumergible de 1 HP para las actividades de llenado, renovación parcial de agua y manejo hidráulico, complementada por cuatro aireadores de paletas de 1 HP distribuidos entre los estanques productivos. Aunque los aireadores no operan de manera continua durante todo el ciclo, su utilización resulta necesaria en periodos de mayor biomasa y demanda de oxígeno disuelto. La estimación considera tarifas eléctricas observadas en la región Caribe colombiana durante el periodo 2024–2025, caracterizada por costos de energía superiores al promedio nacional. Bajo estos supuestos, el consumo energético anual representa aproximadamente el 10% del OPEX total del sistema.

Alevines

La producción anual proyectada requiere aproximadamente 12,096 peces cosechados. Considerando una supervivencia del 80%, el sistema demanda la siembra de cerca de 15,120 alevines por año. Utilizando un costo promedio de 0.047 USD por unidad, valor coherente con referencias técnicas y comerciales para programas de piscicultura rural en Colombia (MADR, 2021), el costo anual asociado a este insumo asciende a 716 USD.

Mantenimiento

El mantenimiento anual, estimado en 900 USD, contempla actividades preventivas y correctivas sobre la infraestructura física y los equipos descritos en el Anexo H. Este rubro incluye reparación menor de bordos y taludes, limpieza y ajuste de estructuras hidráulicas, reposición de válvulas y accesorios PVC, mantenimiento básico de la bomba sumergible y de los aireadores de paletas, así como la conservación de la bodega de almacenamiento y demás elementos auxiliares del sistema. El valor equivale aproximadamente al 4.7% del CAPEX total, porcentaje consistente con rangos comúnmente utilizados para proyectos acuícolas de pequeña escala.

Otros costos operativos

Los otros costos operativos, estimados en 800 USD anuales, corresponden principalmente a consumibles requeridos para el seguimiento técnico y sanitario del cultivo. Este rubro incluye reactivos y materiales para monitoreo de calidad de agua, cal agrícola para acondicionamiento de estanques, desinfectantes, elementos de protección personal y otros insumos menores de operación. Los equipos permanentes de monitoreo y las herramientas básicas ya se encuentran contemplados dentro del CAPEX del proyecto, por lo que este componente considera únicamente gastos recurrentes asociados a su utilización y reposición parcial.

Anexo J

Indicador	Valor	Interpretación
Horizonte de evaluación	10 años	Período utilizado para evaluar la recuperación de la inversión y la generación de valor del sistema acuícola en el mediano plazo.
Tasa de descuento	11.25 % anual	Representa el costo de oportunidad del capital y el nivel de riesgo asociado a proyectos productivos rurales semi-intensivos.
VAN	-6,750 USD	El proyecto no logra recuperar completamente la inversión inicial ni compensar el costo de oportunidad del capital bajo el escenario conservador evaluado.
TIR	0.11 % mensual	La rentabilidad financiera generada por el proyecto resulta limitada frente al nivel de riesgo y a la inversión requerida durante la fase inicial.
Recuperación nominal acumulada	Entre años 9–10	El flujo de caja acumulado sin descuento alcanza valores positivos en el largo plazo, reflejando capacidad operativa de recuperación gradual.
Producción anual efectiva	≈ 6.05 t/año	Nivel de producción estabilizado del sistema considerando supervivencia del 80 % y operación completa de los cuatro estanques.
Ingresos anuales estabilizados	19,112 USD	Valor anual esperado por comercialización de pescado bajo el precio promedio asumido en el escenario base.
OPEX anual estabilizado	16,379 USD	Costos operativos requeridos para mantener el funcionamiento del sistema bajo capacidad productiva estabilizada.
Flujo operativo anual promedio	≈ 2,733 USD	Excedente operativo generado una vez estabilizada la producción, antes de considerar efectos de descuento financiero.
Inversión inicial (CAPEX)	-18,965 USD	Capital requerido para construcción, adecuación e implementación inicial del sistema acuícola comunitario.

Nota. Elaboración propia. Los indicadores financieros fueron calculados mediante modelación mensual de flujos de caja para un horizonte de evaluación de diez años. El VAN fue estimado utilizando una tasa de descuento efectiva anual del 11.25 %, mientras que la TIR corresponde a una tasa efectiva mensual derivada de los flujos proyectados del escenario base. La producción anual efectiva incorpora una tasa de supervivencia del 80 %, una producción promedio de 756 kg por estanque/ciclo y dos ciclos anuales por estanque.

Anexo K

Escenario 1: mejora técnica sin cambio en precio ni inversión

El Escenario 1 evalúa el efecto combinado de mejoras técnicas y acceso al segmento de mayor precio, sin modificar el CAPEX ni incorporar apoyo institucional. Combina un incremento del precio de 3.16 a 3.40 USD/kg —accesible mediante la canalización del 30% de la producción al segmento turístico ya identificado—, un aumento de la supervivencia del 80% al 85% y una mejora del FCR de 1.6 a 1.5. El resultado es un incremento de la producción anual de 6,048 a 6,426 kg —un aumento de 378 kg por año, o 6.3% sobre el escenario base—, derivado únicamente del mejor desempeño biológico del cultivo.

El impacto financiero de estos ajustes es significativo. El VAN pasa de -6,750 USD a +8,674 USD, representando una mejora de 15,424 USD y transformando un escenario base financieramente limitado en uno claramente rentable bajo la tasa de oportunidad del 11.25%. La TIR mensual sube de 0.11% a 1.69% —equivalente al 22.28% efectivo anual—, y el período de recuperación se acorta de 10 a 6 años. Estos resultados son atribuibles en igual medida al efecto del FCR sobre los costos de alimentación —el insumo dominante del OPEX— y al aumento de la producción comercializable derivado de la mayor supervivencia.

Lo relevante de este escenario es que ninguna de sus mejoras exige inversión adicional ni cambios en la infraestructura. La reducción del FCR de 1.6 a 1.5 es alcanzable en el tercer o cuarto ciclo productivo mediante la consolidación de las rutinas de alimentación y el manejo de la calidad del agua, proceso documentado como progresión natural en sistemas acuícolas comunitarios de primera operación (Tacon & Metian, 2015; Saavedra Martínez, 2006). El incremento de la supervivencia del 80% al 85% responde a la misma lógica: es el resultado esperable de la curva de aprendizaje del equipo comunitario, no de una intervención tecnológica extraordinaria. El Escenario 1 demuestra, en suma, que el umbral de viabilidad financiera del proyecto está al alcance de la consolidación técnica

ordinaria del sistema, sin modificar sus condiciones comerciales ni estructurales.

Escenario 2: efecto aislado de la cofinanciación total del CAPEX

El Escenario 2 tiene un propósito analítico específico: aislar el efecto de la inversión inicial sobre los indicadores financieros, asumiendo una cofinanciación del 100% del CAPEX. Bajo esta configuración, la comunidad no asume ningún desembolso de capital inicial y el proyecto opera con los mismos parámetros técnicos del Escenario 1 —supervivencia del 85%, FCR de 1.5, densidad de 3 peces/m², precio de 3.16 USD/kg—, con la única diferencia de que el costo de la inversión es cubierto íntegramente por un tercero.

Los resultados son reveladores: el VAN alcanza 18,400 USD y la TIR mensual sube a 11.70% —con un payback de apenas 2 años. Estos indicadores extremos no son el objetivo práctico del escenario, sino su función analítica: cuantifican con precisión cuánto del déficit financiero del escenario base es atribuible a la carga de la inversión inicial y cuánto a la estructura operativa del sistema. La diferencia entre el VAN del Escenario 1 (8,674 USD, sin cofinanciación) y el del Escenario 2 (18,400 USD, con cofinanciación total) —una brecha de 9,726 USD— equivale exactamente al valor presente del CAPEX de 18,965 USD descontado a la tasa del 11.25%, confirmando que la inversión inicial es el determinante dominante de la viabilidad financiera bajo los supuestos del escenario base.

Esta lectura tiene una implicación estratégica directa para el diseño de instrumentos de política pública: en sistemas donde los flujos operativos son positivos y suficientes para cubrir los costos recurrentes, como ocurre en este proyecto desde el Año 2 en adelante, las intervenciones orientadas a reducir la barrera de entrada del capital inicial tienen una eficiencia marginal superior a cualquier mejora en la productividad o en los precios. La literatura sobre acuicultura comunitaria en contextos de bajos ingresos confirma esta jerarquía de intervenciones (Béné et al., 2016; Belton et al., 2012; FAO, 2020).

Es importante precisar que la cofinanciación del 100% no se propone como escenario operativo realista, sino como instrumento analítico. Los Escenarios 3 y 4 desarrollan cofinanciaciones parciales —del 18% y el 11% respectivamente— que son coherentes con los programas institucionales disponibles en Colombia, y muestran que incluso fracciones moderadas de apoyo son suficientes para transformar el perfil financiero del proyecto cuando se combinan con mejoras productivas.

Escenarios 3 y 4: expansión productiva con apoyo institucional moderado

Los Escenarios 3 y 4 representan la trayectoria de maduración financiera del sistema una vez consolidada la operación básica. Ambos incorporan el aumento de la densidad de siembra de 3 a 4 peces/m² —el rango superior del sistema semi-intensivo, documentado como alcanzable con experiencia de manejo básico (El-Sayed, 2020; Boyd, 2015)— y una cofinanciación parcial del CAPEX que refleja el tipo de apoyo accesible mediante instrumentos institucionales disponibles en Colombia.

El Escenario 3 combina una densidad de 4 peces/m², supervivencia del 89%, FCR de 1.6 y precio de 3.48 USD/kg, con una cofinanciación del 18% del CAPEX (3,600 USD), que reduce el CAPEX efectivo asumido por la comunidad a 15,365 USD. La producción anual resultante es de 8,971 kg —un 48% superior al escenario base y un 40% por encima del Escenario 1—, generando un VAN de 37,982 USD, una TIR mensual de 4.14% (62.7% EA) y un payback de 3 años. El incremento de la supervivencia al 89% refleja el desempeño documentado para sistemas semi-intensivos bien manejados en el trópico, alcanzable con protocolos de bioseguridad básicos y monitoreo de calidad del agua (Boyd, 2015; El-Sayed, 2020).

El Escenario 4 ajusta los parámetros hacia una configuración ligeramente diferente: mantiene la densidad de 4 peces/m² y la supervivencia en 85%, mejora el FCR a 1.5, eleva el precio a 3.60

USD/kg y reduce la cofinanciación al 11% (3,000 USD), dejando un CAPEX efectivo de 15,965 USD. La producción anual es de 8,568 kg, el VAN alcanza 43,258 USD, la TIR mensual sube a 4.44% (68.4% EA) y el payback se ubica en 3 años. El precio de 3.60 USD/kg es coherente con el segmento turístico-gastronómico identificado en el análisis de mercado de la Sección 3 y con los rangos observados en el SIPSA-DANE para el Caribe colombiano (3.68–4.21 USD/kg), por lo que no constituye un supuesto optimista sino una condición de comercialización directa accesible con la demanda existente en el área de influencia.

La comparación entre ambos escenarios revela una observación analíticamente importante: el Escenario 4 genera un VAN superior al Escenario 3 (43,258 vs. 37,982 USD) con menor cofinanciación (11% vs. 18%), apoyándose en la combinación de un FCR más eficiente y un precio más alto en lugar de una supervivencia más elevada. Esto confirma que la estrategia comercial y la eficiencia alimenticia son vectores de valor que pueden sustituir parcialmente al apoyo institucional, otorgando al proyecto mayor autonomía financiera en su fase de madurez.

La mejora de la densidad de siembra de 3 a 4 peces/m² —factor común a ambos escenarios— no requiere ninguna modificación de la infraestructura física del sistema. El incremento de carga productiva dentro del mismo estanque es técnicamente viable con los sistemas de aireación ya dimensionados en el diseño base, siempre que se mantengan los protocolos de recambio de agua y la frecuencia de monitoreo (Boyd, 2015). Esta característica convierte el aumento de densidad en uno de los vectores de mejora de mayor eficiencia relativa del sistema: genera un incremento del 41% en la producción anual sin ningún desembolso adicional de CAPEX.

Anexo L

Escala de comparación	Acuicultura industrial	Acuicultura comunitaria / pequeña escala
Escala productiva	Busca altos volúmenes, ciclos controlados y rentabilidad comercial. Suele operar en sistemas semi-intensivos o intensivos.	Busca ingreso complementario, seguridad alimentaria, empleo local o diversificación de medios de vida. La producción suele ser menor y más variable.
Escala física / espacial	Varias jaulas, estanques, balsas o centros de cultivo; puede formar clústeres o zonas acuícolas completas.	Unidades pequeñas: estanques familiares, concesiones pequeñas, cultivos de moluscos/algas, áreas manejadas por cooperativas o sindicatos. En Chile, por ejemplo, la APE se asocia a micro y pequeñas empresas, con muchas concesiones menores a 6 ha. (Subpesca, sf)
Escala de insumos	Alta dependencia de alimento formulado, semilla seleccionada, oxigenación, bombeo, tratamientos sanitarios, monitoreo y logística.	Menor inversión; puede usar productividad natural, alimento local, mano de obra familiar/comunitaria y tecnología más simple.
Escala tecnológica	Manejo técnico intensivo: bioseguridad, alimentación programada, sensores, trazabilidad, plantas de proceso, cadena de frío.	Tecnología apropiada al contexto local; más dependiente de capacitación, organización social y acceso a permisos/mercados.
Escala económica	Orientación comercial nacional o exportadora; capital privado o corporativo; mayor exposición a precios internacionales.	Orientación local o regional; ingresos distribuidos entre familias, asociaciones o comunidades; puede combinar autoconsumo y venta.
Escala de gobernanza	Decisiones centralizadas por empresa, inversionistas o gerencias técnicas.	Decisiones más colectivas: cooperativas, comunidades pesqueras, sindicatos, pueblos indígenas o

asociaciones locales. La literatura reciente insiste en preguntar “acuicultura por quién y para quién”, porque muchos proyectos fracasan cuando se diseñan de arriba hacia abajo sin poner a la comunidad en el centro (Castillo et al., 2026).

Escala ambiental

El impacto puede acumularse por densidad, alimento, residuos, enfermedades y uso intensivo del espacio; requiere zonificación, capacidad de carga, monitoreo y gestión sanitaria.

El impacto por unidad suele ser menor, pero no es automáticamente sostenible; también necesita evaluación de sitio, derechos de uso, monitoreo y reglas claras. El enfoque ecosistémico recomienda planificar equilibrando objetivos sociales, económicos, ambientales y de gobernanza. (World Bank, 2017)