

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
ESCUELA DE POSGRADO



Un piloto de acuaponía en un municipio rural de Colombia

**TESIS PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO EN
ADMINISTRACIÓN ESTRATÉGICA DE EMPRESAS**

QUE PRESENTA:

César Adolfo, Huaman Peña

Juan Sebastián, Montoya Salazar

Manuel Arturo, Vidal Loli

ASESOR

Carlos Arturo, Hoyos Vallejo

Surco, Octubre, 2025

Declaración Jurada de Autenticidad

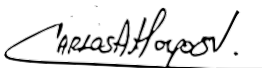
Yo, Carlos Arturo Hoyos Vallejo, docente del Departamento Académico de Posgrado en Administración Estratégica de Empresas de la Pontificia Universidad Católica del Perú, asesor de la tesis del trabajo de investigación titulado: Un piloto de acuaponía en un municipio rural de Colombia, de los autores César Adolfo Huamán Peña, Juan Sebastián Montoya Salazar y Manuel Arturo Vidal Loli.

Dejo constancia de lo siguiente:

- El mencionado documento tiene un índice de puntuación de similitud del 16%. Así lo consigna el reporte de similitud emitido por el software *Turnitin* el 09/09/2025.
- He revisado con detalle dicho reporte y confirmo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio alguno.
- Las citas a otros autores y sus respectivas referencias cumplen con las pautas académicas.

Lugar y fecha:

Lima, 11 de septiembre de 2025.

Apellidos y nombres del asesor: Hoyos Vallejo, Carlos Arturo	
C.E: 001944142	Firma 
ORCID: http://orcid.org/0000-0003-3571-7178	

Agradecimientos

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a mi hijo Levy, por su paciencia y comprensión durante las largas horas de estudio y trabajo. A mis padres, por su amor y apoyo incondicional, que me ha permitido llegar hasta aquí.

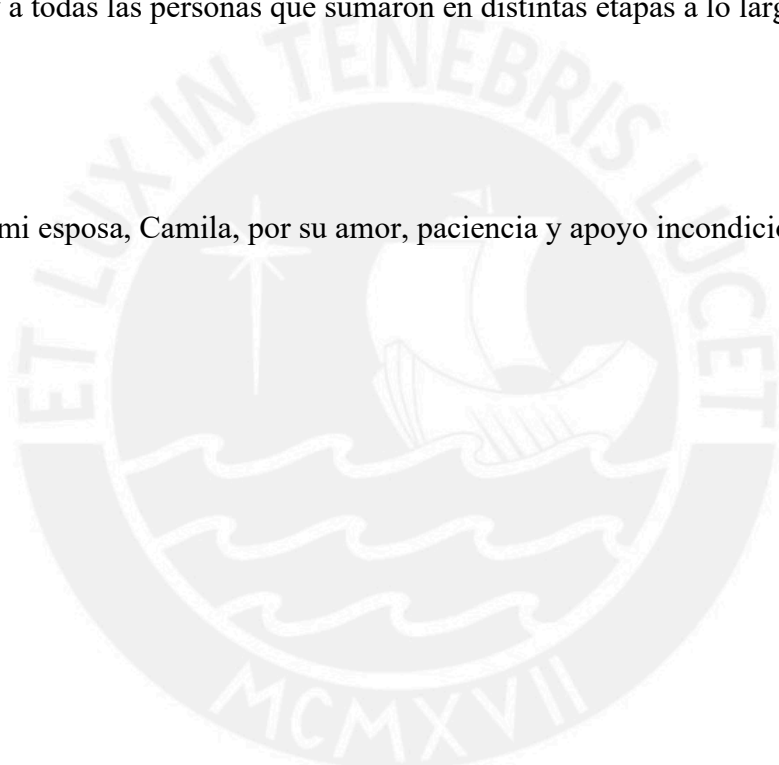
César

A mis padres Roberto y Mercedes por brindarme el aliento necesario en los momentos difíciles y a todas las personas que sumaron en distintas etapas a lo largo de la Maestría.

Manuel

Agradezco a mi esposa, Camila, por su amor, paciencia y apoyo incondicional en cada paso de este camino.

Juan



Dedicatoria

A mi hijo Levy, quien ha sido mi motivación y fuente de inspiración durante todo este proceso. Tu sonrisa y abrazo han sido mi refugio en momentos de cansancio y duda. Gracias por ser mi razón de ser.

Y a mis padres, quienes me han brindado su amor incondicional, apoyo y guía desde el principio. Su sabiduría y experiencia han sido fundamentales en mi crecimiento personal y profesional.

César

A mi esposa Diana e hijos Matías y Macarena que siempre estuvieron en este proceso de inicio a fin, y por demostrar su apoyo en todo momento. Y a todas las personas que sumaron en distintas etapas.

Manuel

Para Camila, porque sin ella este logro no podría ser realidad.

Juan

Resumen Ejecutivo

El proyecto piloto de acuaponía en La Calera tiene como objetivo principal formar a campesinos locales en la técnica de acuaponía, mejorando sus condiciones de vida y ofreciéndoles la oportunidad de inserción laboral en un cultivo agrícola sostenible. Este modelo no solo optimiza el uso de recursos naturales, sino que también genera beneficios sociales y es económicamente rentable. Al reducir el consumo de agua en hasta un 90% en comparación con la agricultura tradicional y eliminar la necesidad de pesticidas y fertilizantes, el proyecto promueve un enfoque agrícola más eficiente y responsable con el medio ambiente.

Además, el proyecto utiliza energías renovables para minimizar su huella ambiental, lo que lo convierte en una opción ecológicamente sostenible. A nivel social, impulsa el desarrollo local mediante la creación de empleo y la capacitación de agricultores en prácticas sostenibles. Esto contribuye a la seguridad alimentaria y mejora la calidad de vida en la comunidad, generando un impacto positivo tanto a corto como a largo plazo.

El análisis financiero proyecta un Valor Actual Neto (VAN) positivo, lo que confirma la viabilidad económica del proyecto en el mediano y largo plazo. Asimismo, el análisis social y ambiental resalta su contribución significativa a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). Con un plan de implementación detallado y el respaldo de alianzas estratégicas, este proyecto se presenta como escalable y replicable en otras regiones de Colombia, consolidándose como una solución innovadora y sostenible para la producción de alimentos.

Abstract

The pilot aquaponics project in La Calera aims to train local farmers in the aquaponics technique, improving their living conditions and providing them with an opportunity for labor insertion in a sustainable agricultural production system that optimizes the use of natural resources, generates social benefits, and is economically viable. This model reduces water consumption by up to 90% compared to traditional agriculture, eliminates the need for pesticides and fertilizers, and uses renewable energy to minimize its environmental footprint.

Additionally, the project promotes local development through job creation and the training of farmers in sustainable practices, contributing to food security and improving the quality of life in the community. This has a positive impact both in the short and long term.

The financial analysis projects a positive Net Present Value (NPV), confirming the economic feasibility of the project in the medium and long term. Furthermore, the social and environmental analysis emphasizes its significant contribution to the Sustainable Development Goals (SDGs). With a detailed implementation plan and support from strategic alliances, this project is scalable and replicable in other regions of Colombia, positioning itself as an innovative and sustainable solution for food production.

Tabla de Contenidos

<i>Lista de Tablas</i>	<i>xi</i>
<i>Lista de Figuras</i>	<i>xii</i>
Capítulo I. Definición del Problema	1
Contexto del Problema Social Relevante	1
La Importancia de Resolver este Problema.....	3
Del Problema a la Solución: un Lienzo de Dos Dimensiones.....	5
Identificación de Clientes y Usuarios.....	6
Potencial de Escalabilidad y Exponencialidad.....	7
Capítulo II. Análisis del Mercado	8
Descripción del Mercado o Industria	8
Análisis del TAM, SAM y SOM.....	10
Análisis de la Competencia	11
Estrategias de Implementación de la Solución.....	20
Escenarios de Viabilidad del Modelo de Acuaponía	23
Análisis DAFO	25
Análisis de las 5 Fuerzas de Porter.....	30
Capítulo III. Investigación Del Usuario	35
Perfil del Usuario	36
Perfil del Cliente.....	38

Estrategias de Recolección de la Información	40
Mapa de Experiencia de Usuario	45
Identificación de la Necesidad Por Resolver para el Usuario	47
Conclusión del Capítulo	49
Capítulo IV. Diseño Del Producto O Servicio	50
Concepción del Producto o Servicio	50
Desarrollo de la Narrativa	68
Carácter Innovador y Disruptivo del Producto o Servicio	69
Propuesta de Valor	76
Producto Mínimo Viable	82
Conclusión del Capítulo	85
Capítulo V. Modelo De Negocio	86
Lienzo del Modelo de Negocio	86
Viabilidad Financiera del Modelo de Negocio	88
Escalabilidad/Exponencialidad del Modelo de Negocio.....	98
Sostenibilidad Social del Modelo de Negocio	102
Conclusión del Capítulo	103
Capítulo VI. Solución Deseable, Factible Y Viable	105
Validación de la Deseabilidad de la Solución.....	105
Validación de la Factibilidad de la Solución.....	114
Validación de la Viabilidad de la Solución.....	129

Conclusiones del Capítulo.....	133
Capítulo VII. Solución Sostenible	136
Relevancia Social de la Solución	136
Índice de Relevancia Social (IRS)	139
Rentabilidad Social de la Solución.....	140
Conclusiones del Capítulo.....	153
Capítulo VIII. Decisión E Implementación	155
Plan de Implementación y Equipo de Trabajo	155
Conclusiones	158
Recomendaciones.....	161
Referencias	1
Apéndice A. Análisis PESTEL y AMOFHIT.....	1
Apéndice B. Primera versión diagrama de Venn para el análisis de Porter.....	5
Apéndice C. Instrumentos para la recolección de la información.....	6
Apéndice D. Perfil ajustado del usuario.....	11
Apéndice E. Perfil ajustado del cliente.....	12
Apéndice F. Primera versión del currículo formativo para agricultores.....	13
Apéndice G. Segunda versión del currículo formativo.....	14
Apéndice H. Detalle de la inversión inicial.....	15
Apéndice I. Detalle de costos por construcción.....	18
Apéndice J. Detalle de ventas incrementales.....	19

<i>Apéndice K. Estructura de costos.</i>	20
<i>Apéndice L. Plan de amortizaciones.</i>	21
<i>Apéndice M. Tarjeta de Strategyzer, hipótesis de rentabilidad.</i>	22
<i>Apéndice N. Tarjeta de Strategyzer, hipótesis de eficiencia operativa.</i>	23
<i>Apéndice O. Tarjeta de Strategyzer, hipótesis de viabilidad financiera.</i>	24
<i>Apéndice P. Flourishing Business Canvas. Elaboración propia.</i>	25
<i>Apéndice Q. Documentos adicionales</i>	1



Lista de Tablas

Tabla 1.....	19
Tabla 2.....	62
Tabla 3.....	75
Tabla 4.....	89
Tabla 5.....	91
Tabla 6.....	93
Tabla 7.....	94
Tabla 8.....	96
Tabla 9.....	101
Tabla 10.....	102
Tabla 11.....	105
Tabla 12.....	117
Tabla 13.....	121
Tabla 14.....	122
Tabla 15.....	123
Tabla 16.....	124
Tabla 17.....	126
Tabla 18.....	126
Tabla 19.....	130
Tabla 20.....	130
Tabla 21.....	131
Tabla 22.....	133
Tabla 23.....	134
Tabla 24.....	141
Tabla 25.....	146
Tabla 26.....	151

Lista de Figuras

Figura 1	4
Figura 2	5
Figura 3	7
Figura 4	14
Figura 5	15
Figura 6	36
Figura 7	40
Figura 8	41
Figura 9	41
Figura 10	42
Figura 11	43
Figura 12	45
Figura 13	51
Figura 14	52
Figura 15	55
Figura 16	57
Figura 17	58
Figura 18	58
Figura 19	59
Figura 20	60
Figura 21	64
Figura 22	67
Figura 23	77
Figura 24	83
Figura 25	87
Figura 26	90

Figura 27	98
Figura 28	107
Figura 29	108
Figura 30	115
Figura 31	124
Figura 32	127
Figura 33	132
Figura 34	137
Figura 35	156



Capítulo I. Definición del Problema

Este capítulo presenta el contexto del problema social identificado, así como la importancia de resolverlo. Luego, indica el contexto de este y profundiza en las herramientas utilizadas para entender la complejidad y relevancia de la situación y, por tanto, la necesidad de la propuesta de valor. Además, introduce los clientes y usuarios, así como el potencial de escalabilidad y exponencialidad. El problema de la inseguridad alimentaria, que se alinea con la Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible, específicamente el dos (hambre cero) para mejorar las condiciones alimentarias y el bienestar humano. Este proyecto busca contribuir a esa meta, proponiendo opciones para mejorar la seguridad alimentaria en La Calera, un municipio de Cundinamarca en Colombia, en una modalidad de piloto.

Contexto del Problema Social Relevante

La seguridad alimentaria en América Latina es un desafío crítico, intensificado por desigualdades socioeconómicas, la triple carga de malnutrición, el cambio climático y las dificultades específicas en regiones rurales como Colombia. En La Calera, Cundinamarca, estos problemas se agravan por la falta de acceso a recursos básicos y la baja rentabilidad agrícola, lo que resalta la necesidad de implementar estrategias sostenibles. Este contexto del problema detalla los factores que contribuyen a la inseguridad alimentaria, respaldado por datos recientes, y plantea el contexto específico de La Calera para justificar intervenciones locales.

La seguridad alimentaria es un desafío persistente en América Latina y el Caribe, a pesar de ser una región rica en recursos naturales. Según la FAO, en 2023, alrededor del 29,6% de la población mundial, es decir, 2.400 millones de personas, experimentaron inseguridad alimentaria moderada o grave, lo que representa un incremento significativo en comparación con años anteriores (FAO et al., 2023). América Latina es una región marcada

por profundas desigualdades socioeconómicas. Estas condiciones limitan el acceso equitativo a alimentos nutritivos, especialmente en las zonas rurales, donde la pobreza y la falta de recursos básicos exacerban los problemas de malnutrición. Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO et al., 2023), las desigualdades estructurales son un factor determinante en la inseguridad alimentaria, y se agravan por la triple carga de malnutrición, que combina desnutrición, deficiencias de micronutrientes y obesidad. Esta situación genera un impacto directo en la salud pública y los sistemas económicos, como lo destaca el BID (Banco Interamericano de Desarrollo, 2024), debido a los altos costos sanitarios y la pérdida de productividad laboral.

En el caso específico de Colombia, la situación es aún más crítica, pues 7 de cada 10 hogares no tienen acceso a una alimentación sana (Universidad Nacional de Colombia, 2024), para el caso de las zonas rurales, el 32.5% de la población enfrenta inseguridad alimentaria (Murcia, 2023). Además, el cambio climático afecta significativamente la producción agrícola, debido a los cada vez más largos periodos de lluvias y de sequías que llevan a escasez de alimento y alza en los precios (Banco de la República de Colombia, 2021). En municipios como La Calera, Cundinamarca, factores como la falta de acceso a agua potable (Sánchez Rodríguez, 2020) y la pobreza agravan la situación de seguridad alimentaria para sus habitantes.

La combinación de estos factores ha generado una creciente preocupación en La Calera, lo que convierte a este municipio en un candidato ideal para pilotear este proyecto. Las familias rurales dependen en gran medida de actividades agrícolas de subsistencia que no garantizan ingresos sostenibles ni acceso constante a alimentos de calidad (Sánchez Rodríguez, 2020). La carencia de infraestructura tecnológica y el limitado acceso a mercados amplifican las barreras económicas, restringiendo las posibilidades de mejorar las condiciones de vida de la población (DANE, 2024; Sánchez Rodríguez, 2020). Esto subraya la necesidad

de adoptar enfoques innovadores y sostenibles que permitan aprovechar los recursos locales de manera eficiente, promoviendo simultáneamente la seguridad alimentaria y el desarrollo económico inclusivo (FAO et al., 2023).

La Importancia de Resolver este Problema

Trabajar en la problemática de la seguridad alimentaria en un municipio como La Calera, Cundinamarca, es crucial debido a las vulnerabilidades sociales, económicas y ambientales que enfrenta su población. A pesar de su proximidad a Bogotá, La Calera presenta indicadores preocupantes de pobreza rural y acceso desigual a recursos básicos como agua potable y servicios de salud (Alcaldía de la Calera, 2023). Estas condiciones limitan el acceso a una alimentación adecuada y nutritiva, exacerbando problemas de malnutrición y desigualdad.

Un indicador que evidencia lo anterior es el porcentaje de nacidos vivos con bajo peso al nacer, que se ubica en este municipio en el 19.05%, comparado con Cundinamarca que se ubica en el 12.79%, ambos datos para el año 2021 (Alcaldía de la Calera, 2023). La falta de una dieta balanceada afecta de manera desproporcionada a los niños y mujeres, resultando en desnutrición crónica y deficiencias de micronutrientes (OMS, 2024). De hecho, la CEPAL (Palma, 2018) indica que estas condiciones no solo impactan la salud de los individuos, sino que también limitan su capacidad de aprendizaje y productividad, perpetuando un ciclo de pobreza y exclusión.

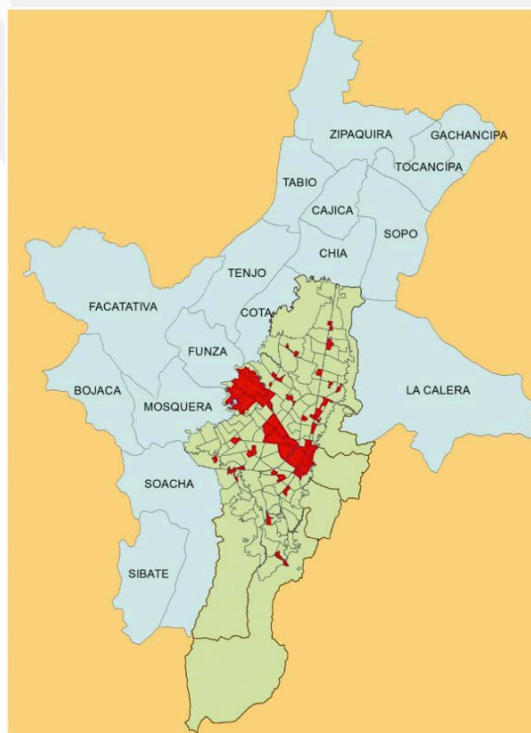
Asimismo, es necesario notar que la ubicación geográfica del municipio lo posiciona como uno de los de mayor extensión cercana a Bogotá (ver Figura 1). Por ende, funciona bajo una lógica de interdependencia (Lopez-Ghio et al., 2018), esto quiere decir que, las políticas públicas y las decisiones administrativas impactan –positiva y negativamente– el desarrollo local; pero, además, que la migración de bogotanos hacia este municipio va en aumento. Lo

que impone grandes retos para la administración local, sobre todo en lo que refiere a servicios públicos como el acceso al agua (Sánchez Rodríguez, 2020).

El agua es reconocida como un derecho fundamental en el ordenamiento jurídico colombiano, según lo establece la Corte Constitucional en la Sentencia T-740/11 (Sentencia T-740-11, 2009), se define como el derecho de todas las personas a contar con agua suficiente, salubre, aceptable, accesible y asequible para uso personal o doméstico. Este recurso no solo es esencial para garantizar la dignidad y el bienestar humano, sino que también tiene una incidencia directa en la seguridad alimentaria (FAO, 2021). En la Calera, la cobertura de agua potable es del 76% sin incluir a la población rural del municipio, que equivale al 47,8% (Sastoque, 2024); lo que demuestra una vulneración de derechos para más de la mitad de los habitantes de la Calera a razón del agua y los derivados de este bien (Sánchez Rodríguez, 2020).

Figura 1

Bogotá y sus Municipios Aledaños



Nota: Tomado de Desde Abajo (2015).

Del Problema a la Solución: un Lienzo de Dos Dimensiones

El lienzo de dos dimensiones es una herramienta valiosa para entender el problema de la seguridad alimentaria porque permite analizar de manera clara y organizada los factores que afectan tanto el contexto del problema como el contexto de la solución. En el caso de La Calera, este enfoque ayuda a desglosar las causas de la inseguridad alimentaria, como la pobreza, las limitaciones en el acceso al agua potable y el impacto del cambio climático en los cultivos. Al visualizar estos factores en un formato estructurado, el lienzo permite ver las barreras y las oportunidades para la implementación de prácticas agrícolas sostenibles (ver Figura 2).

Las prácticas agrícolas sostenibles emergen a partir del análisis del lienzo, ya que permite abordar varios de los problemas identificados. Por ejemplo, utilizan significativamente menos agua que la agricultura tradicional. Además, en la mayoría de casos, optimizan el uso del espacio, lo que es crucial en áreas montañosas con terrenos limitados. El lienzo destaca que no es la falta de tierras el problema, sino la necesidad de tecnificación y prácticas innovadoras. Al integrar ambos lados del análisis el lienzo facilita la identificación de intervenciones concretas, que no solo son viables, sino que también están alineadas con las necesidades locales y las metas de sostenibilidad.

Este enfoque visual y categorizado contribuyó a la organización de la información y las ideas clave. Estas tienen el potencial de que pueden ser replicadas en otros contextos similares y que se detallan a lo largo de este documento. Este lienzo también destacó cómo abordar las múltiples dimensiones del problema, integrando factores climáticos, económicos y sociales, con incidencias a diferentes niveles, pero todas importantes para lograr un impacto ecosistémico e integral.

Figura 2

Lienzo de Dos Dimensiones



Nota: *Elaboración propia.*

Identificación de Clientes y Usuarios

En el marco de este proyecto y del lienzo de dos dimensiones, se identifican clientes y usuarios clave, que se traducen en los individuos que enfrentan este problema. Los clientes incluyen, las cadenas de restaurantes sostenibles de Bogotá y La Calera, comprometidas con la calidad y la sostenibilidad y tiene la oportunidad de fomentar relaciones directas con agricultores locales y beneficia la economía de la región. Este proyecto se centra en ellos como los clientes.

Los usuarios clave se dividen en cinco posibles grupos: las comunidades rurales de La Calera, que enfrentan dificultades en el acceso a alimentos nutritivos; los consumidores locales que demandan productos frescos y seguros; los agricultores locales, quienes necesitan adoptar nuevas tecnologías para mejorar su productividad; las asociaciones de agricultores, que buscan beneficios colectivos y capacitación; y las instituciones educativas, interesadas en investigaciones sobre agricultura sostenible. Este trabajo se enfoca en los agricultores locales como los usuarios, asegurando un impacto positivo en la comunidad local.

Figura 3

Arquetipo Inicial de Cliente y Usuario



Nota: *Elaboración propia.*

Potencial de Escalabilidad y Exponencialidad

Abordar el problema de la inseguridad alimentaria tiene un impacto profundo en la productividad y la calidad de vida de las comunidades locales, mejorando los ingresos de los agricultores y fomentando la adopción de prácticas agrícolas sostenibles. Este enfoque refuerza la seguridad alimentaria en áreas rurales y urbanas, mientras genera un impacto económico positivo al reducir los costos de producción y crear empleos. Además, tiene un gran potencial de replicabilidad en diversas localidades, alineándose con los Objetivos de Desarrollo Sostenible, especialmente el ODS 2, y promoviendo mejoras en las condiciones económicas y sociales de las comunidades, al mismo tiempo que responde a desafíos como la falta de acceso al agua potable y la pobreza rural.

Capítulo II. Análisis del Mercado

El capítulo de análisis del mercado se centra en ofrecer una visión completa del mercado o industria en estudio. Se describen las características principales, las tendencias y los segmentos clave del mercado. Además, se presenta un análisis competitivo exhaustivo, evaluando a los principales competidores, sus fortalezas y debilidades, así como las oportunidades y amenazas en el entorno competitivo. En este contexto, la implementación de prácticas agrícolas sostenibles, como la acuaponía, ofrece una oportunidad valiosa para mejorar las condiciones de vida y la seguridad alimentaria de la población local.

Descripción del Mercado o Industria

El municipio de La Calera en Cundinamarca es un lugar que se enfrenta a desafíos significativos en términos de seguridad alimentaria y sostenibilidad agrícola. Con una población rural considerable y un alto índice de pobreza [26%] (DANE, 2024), existe una necesidad imperante de soluciones que promuevan la producción de alimentos de manera sostenible. En este contexto, la implementación de la acuaponía ofrece una oportunidad valiosa para mejorar las condiciones de vida y la seguridad alimentaria de la población local.

Pero es necesario entender cómo funciona la agricultura tradicional en La Calera. Esta se caracteriza por la predominancia de pequeños y medianos productores con cultivos convencionales en terrenos de baja productividad. En la región, los cultivos principales incluyen papa, maíz, cebolla, zanahoria y diversas hortalizas (Sastoque, 2024). Los agricultores emplean técnicas tradicionales que dependen principalmente de mano de obra intensiva y el uso de agroquímicos, como fertilizantes y pesticidas, lo que genera impactos negativos en la sostenibilidad ambiental y en la salud del suelo.

En cuanto a la estructura productiva, según Hernández Arévalo (2024) en la Calera la mayoría de las empresas son micronegocios, esta característica hace que el tejido productivo del municipio sea bajo, lo que se refleja en capacidades reducidas de inversión y una alta

dispersión para la consecución de logros en objetivos comunes. Es así como muchos productores en La Calera carecen de los recursos financieros y del conocimiento técnico para implementar prácticas más sostenibles. Por ejemplo, aún no se ha adoptado de forma masiva tecnologías más eficientes (Hernández Arévalo, 2024). La agricultura en la zona también depende en gran medida del uso de fertilizantes y pesticidas químicos. Esto ha generado un deterioro en la calidad de los suelos y contaminación en fuentes hídricas cercanas, lo que representa un desafío tanto para el medio ambiente como para la salud de las comunidades locales (Gobernación de Cundinamarca, 2020).

Del mismo modo, la agricultura tradicional enfrenta serios desafíos debido a la vulnerabilidad climática en este departamento y por ende, municipio; como lluvias intensas, sequías y heladas, que afectan los ciclos de cultivo y la rentabilidad de las cosechas (Gobernación de Cundinamarca, 2020). Además, las dificultades de comercialización limitan los ingresos de los agricultores, quienes en su mayoría dependen de intermediarios o mercados locales, reduciendo su margen de ganancia (Vásquez & Dávila, 2021). En consecuencia, estas condiciones climáticas y limitaciones comerciales no solo comprometen la estabilidad económica de los agricultores, sino que también ponen en riesgo la seguridad alimentaria del municipio al disminuir la oferta de productos frescos y nutritivos disponibles para la población.

La adopción de sistemas como la acuaponía surge como una alternativa viable para superar estas limitaciones. Esta tecnología no solo mejora la productividad agrícola (FAO, 2014; Martínez-Vera et al., 2009), sino que también fomenta prácticas sostenibles que reducen el uso de insumos químicos y optimizan los recursos hídricos. Asimismo, permite a los agricultores acceder a mercados de mayor valor, especialmente en Bogotá, donde la demanda de productos frescos y sostenibles está en aumento. Los consumidores valoran alimentos libres de pesticidas y producidos de manera sostenible, lo que crea oportunidades

para que los productores locales diversifiquen sus ingresos y reduzcan su dependencia de cultivos tradicionales (Sánchez Rodríguez, 2020).

Análisis del TAM, SAM y SOM

TAM (Total Addressable Market)

El Total Addressable Market (TAM) representa el mercado total disponible para el modelo acuapónico propuesto, considerando el mercado global y nacional para productos frescos y sostenibles. Según la FAO (2021), la agricultura sostenible está tomando relevancia, ya que la demanda de productos frescos, saludables y sostenibles está en constante crecimiento, especialmente en mercados urbanos. En Colombia, el mercado de productos sostenibles sigue una tendencia creciente, con un aumento del 5.2% en la demanda de alimentos orgánicos y frescos en los últimos cinco años (Sastoque, 2024). El TAM se estima a partir de estos datos, considerando tanto el mercado de alimentos frescos como los productos derivados de la acuaponía (trucha y lechuga) a nivel nacional y regional, especialmente en Bogotá, donde se encuentra un alto índice de consumidores interesados en productos sostenibles.

SAM (Serviceable Available Market)

El Serviceable Available Market (SAM) se refiere a la parte del TAM que es alcanzable con el modelo de negocio propuesto, dada la capacidad operativa y los recursos disponibles. Para este caso, el SAM se enfoca en los mercados de la región de Cundinamarca, con especial énfasis en La Calera y su proximidad a Bogotá. Considerando la población local y el interés en la adopción de prácticas agrícolas sostenibles, la demanda de trucha y lechuga cultivadas de manera sostenible se calcula en función de los restaurantes sostenibles, mercados agroecológicos y consumidores locales que valoran los productos frescos. Según estudios recientes (Vásquez & Dávila, 2021), un 75% de los restaurantes en Bogotá están

dispuestos a incorporar productos acuapónicos si mantienen un precio competitivo y una oferta constante. Esto representa un mercado considerable en las áreas urbanas cercanas a La Calera.

SOM (Serviceable Obtainable Market)

El Serviceable Obtainable Market (SOM) representa la porción alcanzable dentro del SAM, dado el tamaño del proyecto y la capacidad operativa actual. En este caso, el SOM está determinado por la capacidad de producción de los sistemas acuapónicos y la red de distribución que se pueda establecer en los primeros años de operación. Según el análisis de la cadena de suministro, el proyecto tiene la capacidad de abastecer de forma constante a 10 restaurantes sostenibles y 5 mercados agroecológicos durante el primer año, lo que representa aproximadamente un 15% del SAM estimado para la región de La Calera y Bogotá. La viabilidad de capturar este mercado está respaldada por el análisis de la demanda y las cartas de intención de compra recibidas de restaurantes interesados, lo que demuestra el interés real por parte de los compradores.

Análisis de la Competencia

La competencia en el mercado de prácticas agrícolas en La Calera incluye tanto métodos tradicionales, así como tecnologías emergentes. Los agricultores tradicionales, que conforman la mayoría en la región, utilizan prácticas basadas en pesticidas y fertilizantes químicos (Hernández Arévalo, 2024). Aunque estas técnicas reflejan generaciones de conocimiento local y una infraestructura establecida, presentan desafíos importantes en términos de sostenibilidad ambiental y salud humana. Esto resalta la necesidad de explorar y comparar estas prácticas con nuevas tecnologías capaces de optimizar la producción sin comprometer el entorno.

Entre las tecnologías emergentes, la acuaponía se posiciona como una solución innovadora. Este sistema combina la acuicultura y la hidroponía, maximizando el uso eficiente del agua y permitiendo la producción continua de alimentos frescos y nutritivos, independientemente de las condiciones climáticas. Estudios han demostrado que sistemas acuapónicos pueden aumentar la productividad agrícola y reducir el impacto ambiental en zonas rurales, ofreciendo una ventaja competitiva significativa frente a los métodos tradicionales (FAO, 2014; Goddek et al., 2019).

No obstante, la transición hacia tecnologías sostenibles enfrenta barreras importantes. Los agricultores tradicionales, aunque tienen experiencia e infraestructura, suelen mostrar resistencia al cambio debido a la falta de recursos económicos y técnicos, y al temor al riesgo. Por su parte, los productores que adoptan acuaponía enfrentan costos iniciales elevados, necesidad de capacitación y el desafío de establecer redes de distribución para ganar la confianza de consumidores habituados a productos convencionales (FAO, 2021; Love et al., 2014).

La implementación de sistemas acuapónicos en municipios rurales de Colombia tiene un impacto significativo en la generación de empleo local, la seguridad alimentaria y el uso eficiente de recursos. Este método combina la producción de peces con cultivos hidropónicos, maximizando el aprovechamiento de agua y nutrientes. Los sistemas resultantes son altamente sostenibles y se adaptan a espacios limitados o condiciones desfavorables (Gómez & Arango Restrepo, 2021).

En términos de seguridad alimentaria, la acuaponía contribuye a garantizar el acceso a proteínas de origen animal y vegetal. Este enfoque es particularmente relevante en regiones rurales donde la logística y el espacio pueden limitar el acceso a fuentes diversificadas de alimentos. Además, la metodología acuapónica permite optimizar recursos naturales como el

agua, logrando ahorros de hasta el 90% en comparación con los métodos tradicionales, lo cual es crítico en zonas con acceso limitado a este recurso (Mojica Llanos, 2023).

Desde la perspectiva social y económica, proyectos de este tipo tienen el potencial de generar empleo directo e indirecto, especialmente para poblaciones vulnerables como mujeres y jóvenes rurales (Mojica Llanos, 2023). Además, promueven el desarrollo de competencias técnicas que pueden ser replicadas en otras comunidades, ampliando los beneficios sociales y económicos del modelo. La implementación exitosa requiere infraestructura adecuada, formación técnica y acceso a herramientas de monitoreo que faciliten el control de variables críticas como temperatura, pH y humedad. Estas tecnologías, cuando se integran con prácticas comunitarias, no solo aumentan la productividad sino también la sostenibilidad de los sistemas (FAO, 2014; Guzmán-Ávila et al., 2020).

Cultivos Tradicionales

Según el Sistema de Información de Gestión y Desempeño de Organizaciones de Cadenas (SIOC, 2024), bajo el Ministerio de Agricultura de Colombia, la cadena productiva de acuicultura y pesca en el país incluye una variedad de actores, tales como productores, comercializadores, industrias de procesamiento, criadores de semilla, proveedores de insumos, centros de investigación y entidades académicas. Desde 2013, el Consejo Nacional de la Cadena de Acuicultura y Pesca asesora al Gobierno en el diseño de políticas para fortalecer este sector, involucrando instituciones como Fedeaqua, Acuanaal y universidades reconocidas. Su enfoque se concentra en cinco núcleos productivos clave: Huila, Meta, Antioquia, Tolima y Cundinamarca-Boyacá, que agrupan el 71% de la producción piscícola nacional.

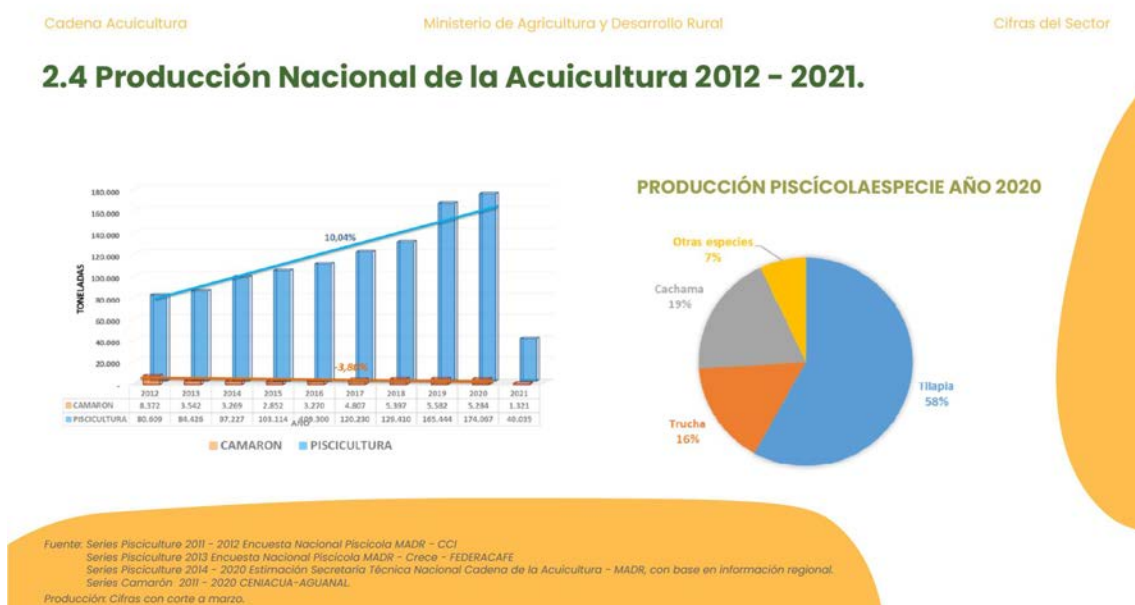
Asimismo, la riqueza de ecosistemas en Colombia facilita la diversificación acuícola, permitiendo el cultivo de especies como camarón, tilapia, trucha, carpa, cachama y bocachico. La incorporación de tecnologías avanzadas impulsó un crecimiento del 116.16% en la

producción acuícola entre 2012 y 2021, alcanzando 192,521 toneladas anuales (AUNAP, 2022). Este sector genera aproximadamente 57,756 empleos directos y 173,269 indirectos, contribuyendo con el 0.2% al PIB nacional y el 3.3% al PIB agropecuario. Los departamentos líderes en producción son Huila, Meta y Tolima (AUNAP, 2022).

El Instituto Colombiano Agropecuario (ICA, 2024) destaca que la producción acuícola del país se centra en la piscicultura y la camaronicultura. La tilapia representa el 58% de la producción, seguida por la cachama (19%), la trucha (17%) y otras especies (7%). En 2022, las exportaciones alcanzaron 3,708 toneladas de camarón (US\$ 17.918 millones) y 18,985 toneladas de pescado (US\$ 110.130 millones) y durante el primer semestre de 2023, las exportaciones de camarón incrementaron un 42% en volumen y un 53% en valor, mientras que las de tilapia y trucha disminuyeron un 20.84% en volumen y un 38.45% en valor (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2021).

Figura 4

Producción Nacional de la Acuicultura 2012-2021

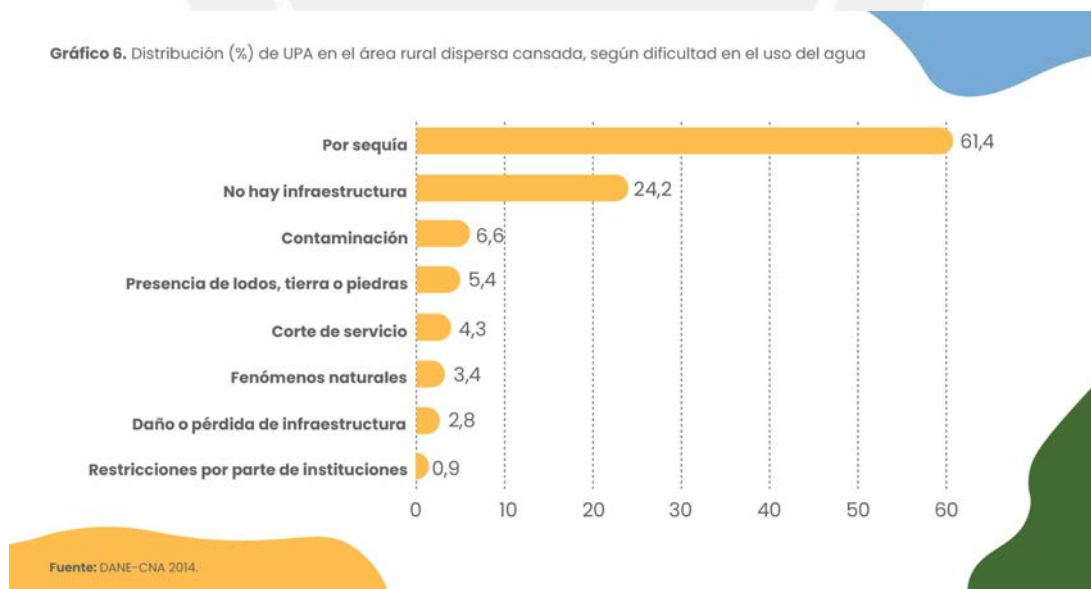


Nota: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (2021).

Además, merece la pena resaltar que esta producción en su globalidad no es tecnificada, para el 2021, solo dos departamentos de Colombia reportaban algún tipo de tecnificación (no se incluye a Cundinamarca) y sus cantidades son muy bajas cuando se trata de estándares de calidad BAP (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2021). Esta información se vuelve relevante en la medida en la que la solución busca, en uno de sus impactos, tecnificar las condiciones del campo con la acuaponía. De la misma manera, fue posible ubicar un dato de valor para esta investigación, asociado con las dificultades para el uso del agua en zonas rurales del país, como se ve en la Figura 5 el mayor porcentaje está en condiciones de cambio climático como lo es la sequía, la contaminación, la presencia de lodos/tierras/piedras y los fenómenos naturales (DANE, 2016).

Figura 5

Distribución (%) de UPA en el Area Rural Dispersa Censada, según Dificultad en el Uso del Agua



Nota: Adaptado del DANE (2016).

Seguidamente, se realizó un acercamiento a la competencia acuícola, identificando diversidad de actores claves que contribuyen significativamente a la industria. Fedecua representa a la piscicultura continental, incluyendo especies como tilapia y trucha. Acuacultivos EL GUAJARO S.A., fundado en 2006, es líder en la producción de tilapia y camarones en la costa caribe. Pirarucú Acuicultura ofrece servicios de consultoría y comercialización de genética. Exposplash Ltda. tiene 28 años en la comercialización de peces ornamentales. Acuicultura Sostenible S.A.S. fabrica tanques de geomembrana y asesora en el cultivo de tilapia roja. Piscícola Botero y Piscícola El Rosario se especializan en la producción y comercialización de tilapia en Huila y Meta.

Al explorar el segundo tipo de cultivo tradicional, se destaca la hidroponía, que ha experimentado un notable crecimiento en Colombia en los últimos años, convirtiéndose en una alternativa viable para mejorar la productividad agrícola, especialmente en zonas con suelos no óptimos o donde el acceso al agua es limitado (Barbieri, 2021). Esta técnica ha demostrado ser sostenible, ofreciendo ventajas significativas como una reducción de hasta un 90% en el uso de agua en comparación con la agricultura tradicional (Gruda, 2019). Además, al no depender de suelo, la hidroponía permite el cultivo en espacios reducidos, incluyendo áreas urbanas o suelos degradados, lo que contribuye tanto a la seguridad alimentaria como al desarrollo económico de comunidades rurales y urbanas.

En Colombia, aunque la adopción de la hidroponía aún es incipiente, existen iniciativas que buscan promover prácticas agrícolas sostenibles. Por ejemplo, el proyecto "Colombia Agroalimentaria Sostenible" tiene como objetivo reducir la vulnerabilidad de la producción agropecuaria ante amenazas climáticas, promoviendo prácticas que minimicen el impacto ambiental y mejoren la competitividad del sector (Colombia Agroalimentaria Sostenible, 2024). Aunque este proyecto no se centra exclusivamente en la hidroponía, refleja el interés del país en adoptar técnicas agrícolas más sostenibles.

Es importante destacar que la implementación de sistemas hidropónicos requiere una inversión inicial significativa y conocimientos técnicos especializados (Monisha et al., 2023). Sin embargo, los beneficios potenciales en términos de eficiencia en el uso de recursos y aumento de la productividad pueden superar estos desafíos, especialmente en regiones donde el acceso a agua y tierra cultivable es limitado. La hidroponía ofrece una alternativa viable para diversificar la producción agrícola y mejorar la seguridad alimentaria en Colombia.

Cultivos Emergentes

Los sistemas de riego de precisión, como los ofrecidos por empresas como *Netafim*, permiten un uso eficiente del agua mediante tecnologías de riego por goteo. Estos sistemas optimizan la cantidad de agua y fertilizantes aplicados a los cultivos, minimizando el desperdicio y el uso excesivo de recursos. Una ventaja clave de estos sistemas es su escalabilidad y adaptabilidad a diferentes tipos de cultivos y terrenos (Di Gennaro et al., 2024).

Sin embargo, en comparación con la acuaponía, el riego de precisión aún depende de insumos externos, como fertilizantes, y no recicla los nutrientes de manera interna. En contraste, la acuaponía crea un sistema de ciclo cerrado donde los desechos de los peces son reciclados como nutrientes para las plantas, eliminando la necesidad de fertilizantes sintéticos (Love et al., 2014). Una desventaja de la acuaponía frente al riego de precisión es la mayor complejidad técnica, ya que requiere mantener en equilibrio dos sistemas vivos (peces y plantas), lo que demanda más conocimientos y recursos iniciales.

Por su parte, los biofertilizantes y bioplaguicidas, como los productos de *AgroBio*, son alternativas a los productos químicos tradicionales que promueven la salud del suelo y controlan las plagas de manera natural. Estos productos son fáciles de aplicar en diversos contextos agrícolas y mejoran la *sostenibilidad* del suelo a largo plazo (Pérez Lavalle et al., 2017). En comparación, la acuaponía elimina casi por completo la necesidad de suelo, lo que

puede ser una ventaja en áreas donde la tierra es limitada o de baja calidad. Sin embargo, mientras que los biofertilizantes pueden aplicarse a cultivos tradicionales sin necesidad de cambios significativos en la infraestructura agrícola, la acuaponía requiere una inversión inicial en instalaciones específicas, lo que puede ser una barrera de entrada (Goddek et al., 2019) Además, la acuaponía no elimina completamente la necesidad de controlar plagas, aunque en un entorno controlado, el riesgo de infestaciones puede reducirse.

Existe también la agricultura vertical, como la que desarrollan empresas como *AeroFarms*, comparte con la acuaponía el uso de entornos controlados para cultivar alimentos, lo que permite optimizar el uso del espacio y los recursos. Ambos sistemas son especialmente ventajosos en áreas urbanas o con poca tierra agrícola, ya que permiten una producción intensiva en un espacio reducido (Despommier, 2011). La ventaja de la acuaponía frente a la agricultura vertical es su capacidad para producir tanto proteínas (peces) como vegetales en un solo sistema, lo que diversifica los productos obtenidos y añade valor económico al sistema. Sin embargo, la agricultura vertical es menos compleja en términos de manejo, ya que no implica la cría de peces, lo que hace que sea más fácil de implementar y mantener en ciertos contextos (Palm et al., 2018).

Adicionalmente, han aparecido plataformas de agricultura sostenible, como *Agrosmart* que permiten a los agricultores mejorar su productividad y reducir el impacto ambiental utilizando datos en tiempo real sobre el clima, el suelo y las condiciones del cultivo. Estas plataformas son altamente flexibles y pueden integrarse en una variedad de tipos de agricultura, incluidas las prácticas agrícolas tradicionales (Shaer et al., 2021). En comparación, la acuaponía no requiere depender de las condiciones del suelo o del clima, ya que es un sistema autónomo que puede funcionar en una variedad de entornos, lo que es especialmente útil en áreas con condiciones climáticas adversas. Sin embargo, una desventaja de la acuaponía frente a estas plataformas es que no proporciona el mismo nivel de

integración tecnológica para el monitoreo y la optimización en tiempo real, lo que podría mejorar aún más su eficiencia (Love et al., 2015).

Por último, los proyectos de economía circular agrícola, como *Circular Agronomics*, se centran en maximizar el reciclaje de nutrientes y minimizar los residuos agrícolas. Estos proyectos abordan problemas de sostenibilidad al transformar desechos en recursos útiles, como fertilizantes naturales (Geissdoerfer et al., 2017). Al igual que estos proyectos, la acuaponía también utiliza un enfoque de reciclaje de nutrientes, ya que los desechos de los peces se convierten en fertilizante para las plantas. Sin embargo, mientras que los proyectos de economía circular agrícola pueden aplicarse a una variedad de cultivos y escalas, la acuaponía es un sistema más específico que requiere una infraestructura dedicada y es más adecuado para cultivos de alto valor en áreas urbanas o periurbanas (Goddek et al., 2019). Una ventaja de la acuaponía sobre los proyectos de economía circular es que integra directamente la producción de alimentos y proteínas en el mismo sistema, lo que puede aumentar su eficiencia general.

En resumen, la acuaponía tiene ventajas significativas en términos de sostenibilidad y eficiencia en comparación con otras soluciones del mercado (ver Tabla 1). Su capacidad para reciclar nutrientes internamente, producir tanto proteínas como vegetales, y su independencia de las condiciones del suelo y el clima la convierten en una opción atractiva para áreas con recursos limitados. No obstante, presenta desventajas relacionadas con la complejidad técnica y los costos iniciales en comparación con soluciones más simples como el riego de precisión o los biofertilizantes. La combinación de acuaponía con herramientas de monitoreo tecnológico podría incrementar aún más su impacto y viabilidad a largo plazo.

Tabla 1

Comparación Exhaustiva entre las Soluciones Existentes

	Acuaponía	Cultivos tradicionales	Cultivos emergentes
Sostenibilidad	Uso eficiente del agua (hasta 90% menos que	Alta dependencia de recursos como agua,	Sistemas como agricultura vertical

	cultivos tradicionales); integración de peces y plantas que reduce desechos (FAO, 2014)	fertilizantes químicos y pesticidas; alto impacto ambiental (FAO, 2021).	reducen uso de suelo y pesticidas, pero requieren alta energía (Kalantari et al., 2017).
Eficiencia en recursos	Recirculación de agua y nutrientes; baja necesidad de insumos externos; menor uso de tierra (Goddek et al., 2019).	Alta pérdida de agua por evapotranspiración y drenaje; dependencia de insumos externos como fertilizantes (FAO, 2021).	Uso de tecnologías avanzadas optimiza recursos, pero con altos costos iniciales y energéticos (Benke & Tomkins, 2017).
Escalabilidad	Limitada por costos iniciales y experiencia técnica; adecuada para producción local y regional sostenible (FAO, 2014).	Escalable para grandes áreas de monocultivo, pero con impacto ambiental significativo (FAO, 2021).	Alta escalabilidad en zonas urbanas con tecnologías como agricultura vertical, pero dependiente de innovación (Kalantari et al., 2017).

Nota. Elaboración Propia.

Estrategias de Implementación de la Solución

La implementación de acuaponía en La Calera busca abordar la falta de alimentos saludables y orgánicos, así como la necesidad de formalización de empleos en la región. La cercanía de La Calera a Bogotá, una ciudad con una gran demanda de productos frescos y orgánicos presenta una oportunidad significativa para el emprendimiento (Guzmán-Ávila et al., 2020). Este proyecto se propone ofrecer dos productos principales: la comercialización de vegetales y peces, ambos cultivados de manera sostenible y la tecnificación del campo. La acuaponía permite un uso eficiente del agua y una producción integrada de alimentos, maximizando la sostenibilidad y minimizando el impacto ambiental (Gómez & Arango Restrepo, 2021). Esto distingue al proyecto de otras soluciones agrícolas tradicionales y emergentes que dependen de insumos externos y tienen un mayor impacto ambiental.

En el corto plazo, la implementación de la solución incluye la participación en mercados locales y ferias agrícolas, la instalación de sistemas de acuaponía en una ubicación estratégica en La Calera y la capacitación de la mano de obra local en técnicas de acuaponía. Para asegurar la entrega oportuna de productos a Bogotá y otras áreas de influencia, es

fundamental establecer una cadena de suministro eficiente. Estas acciones iniciales permiten establecer una base sólida para la expansión y el éxito a largo plazo del proyecto.

La tecnificación de los procesos para los agricultores locales mediante la introducción de la acuaponía permitirá mejorar la productividad y sostenibilidad de sus prácticas agrícolas (Monisha et al., 2023). Las estrategias clave para lograr esto incluyen el desarrollo de programas de capacitación, la creación de mecanismos de financiación y subvenciones, y la implementación de proyectos piloto. Además, establecer centros de asesoramiento y apoyo técnico, así como una red de suministro de insumos, facilitará la adopción efectiva de esta tecnología. Fortalecer la cadena de valor es esencial para que todos los actores, desde los productores hasta los consumidores, se beneficien de la acuaponía.

Por último, las alianzas estratégicas y colaboraciones con entidades públicas y privadas fortalecerán la implementación de la acuaponía. Establecer acuerdos con el gobierno local y regional, colaborar con ONG y entidades educativas, y crear asociaciones con empresas privadas proporcionarán recursos adicionales y ampliarán el alcance del proyecto (FAO, 2021). Además, definir indicadores de desempeño clave, realizar revisiones periódicas y publicar informes regulares asegurarán que el proyecto se mantenga en el camino correcto y permita realizar ajustes necesarios para mejorar su eficacia y sostenibilidad.

En el largo plazo y gracias al análisis de la competencia presentado en el apartado anterior, es posible realizar mejoras a la propuesta en cinco vías. Primero, para maximizar el éxito del sistema acuapónico en La Calera, es fundamental desarrollar programas de capacitación que proporcionen a los agricultores locales las habilidades necesarias para gestionar adecuadamente la tecnología. El manejo de la calidad del agua, la cría de peces y el control de los nutrientes requiere conocimientos especializados que no son comunes en las prácticas agrícolas tradicionales (Love et al., 2015). La educación continua aseguraría que los

agricultores puedan adaptarse a las fluctuaciones en las condiciones ambientales y a la evolución de la tecnología, lo que reduciría los riesgos y optimizaría la productividad.

Segundo, la integración de tecnologías de monitoreo en tiempo real es otra mejora crítica para el proyecto. Sensores que controlen el pH, la temperatura, los niveles de oxígeno y la calidad de los nutrientes pueden hacer que la gestión de los sistemas acuapónicos sea más eficiente (Palm et al., 2018). Estas plataformas permiten la supervisión constante de los parámetros críticos, lo que minimiza los riesgos de fallos y permite a los agricultores responder rápidamente a cualquier problema. Esta tecnología también podría aumentar la sostenibilidad al optimizar el uso de recursos y reducir costos operativos.

Tercero, aunque actualmente el proyecto se enfoca en abastecer a restaurantes sostenibles, existe un gran potencial para ampliar el mercado objetivo. Supermercados especializados en productos orgánicos, mercados agroecológicos y proveedores de instituciones como hospitales o escuelas son opciones viables. Estos sectores buscan productos frescos y saludables, alineados con los valores de la acuaponía (Goddek et al., 2019). Al diversificar los canales de venta, el proyecto puede mejorar su estabilidad financiera y reducir la dependencia de un solo mercado, fortaleciendo así su resiliencia a largo plazo.

Cuarto, optimizar el modelo financiero del proyecto. A través de la exploración de subvenciones gubernamentales y financiamiento internacional que apoyen proyectos de agricultura sostenible (FAO, 2014). Además, la creación de cooperativas o asociaciones de agricultores permitiría compartir los costos de instalación y operación, haciendo que el proyecto sea más accesible para pequeños productores, quienes de otra manera no podrían asumir la inversión inicial por sí solos.

Quinto, una estrategia de marketing sólida puede aumentar considerablemente la visibilidad y la demanda de productos acuapónicos. La creciente tendencia de los consumidores hacia productos sostenibles y saludables ofrece una oportunidad para destacar

los beneficios ambientales de la acuaponía, como el ahorro de agua y la eliminación de fertilizantes químicos (Goddek et al., 2019). Campañas que subrayen estos aspectos y que obtengan certificaciones de sostenibilidad fortalecerían la reputación del proyecto en el mercado, atrayendo a más consumidores conscientes de la sostenibilidad.

Escenarios de Viabilidad del Modelo de Acuaponía

Para evaluar la viabilidad del modelo de acuaponía en el mercado, es esencial considerar distintos escenarios que reflejen las posibles dinámicas del entorno económico y social. Se han proyectado tres escenarios: optimista, neutro y pesimista, con el fin de anticipar riesgos y oportunidades para la implementación del sistema en La Calera. El análisis proyectivo toma en cuenta variables clave como la demanda del mercado, los costos operativos, la tasa de adopción del modelo por parte de agricultores y clientes potenciales, y el retorno de inversión (ROI). Estos factores determinarán la sostenibilidad financiera del proyecto y su capacidad de escalabilidad, aspectos que se explorarán en mayor detalle en los capítulos subsiguientes.

Escenario Optimista

En este escenario, la acuaponía se posiciona rápidamente como una alternativa viable y atractiva tanto para agricultores como para consumidores finales. Se prevé que el crecimiento anual de la demanda supere el 20%, impulsado por el interés en productos sostenibles y orgánicos (FAO, 2024). El respaldo de políticas públicas enfocadas en la seguridad alimentaria y el acceso a financiamiento para la adopción de tecnologías agrícolas sostenibles facilitarían la expansión del proyecto. Algunos estudios desarrollados en América Latina sobre acuaponía señalan que la integración de incentivos gubernamentales puede reducir los costos operativos en un 30%, mejorando la rentabilidad (Barbieri, 2021; Cuaspa-Benavides et al., 2019; Delgado Martínez, 2024; Gómez & Arango Restrepo, 2021; Mojica

Llanos, 2023; Morocho Chuchuca et al., 2024; Noriega Molina, 2022; Pérez Lavalle et al., 2017).

Escenario Neutro

El escenario neutro contempla un crecimiento moderado de la demanda (10% anual), con una adopción gradual del sistema de acuaponía. Aunque el interés en prácticas agrícolas sostenibles sigue en aumento, los costos iniciales y la necesidad de capacitación pueden generar barreras de entrada para los productores locales. Un análisis de la OCDE - FAO (2023) estima que la adopción de tecnología en la agricultura de América Latina avanza a un ritmo del 10% al 15% anual, dependiendo de las condiciones del mercado y el acceso a financiamiento. En este escenario, el retorno de inversión se proyecta en un plazo de cinco años, con una rentabilidad neta del 20%, considerando costos operativos estables y un aumento progresivo en la eficiencia del sistema.

Escenario Pesimista

El escenario pesimista considera posibles desafíos que podrían ralentizar la adopción del modelo. Factores como la preferencia por sistemas de cultivo tradicionales, la falta de incentivos económicos y los altos costos operativos iniciales podrían limitar la viabilidad del proyecto. Según datos del Grupo Banco Mundial (2024), en zonas rurales de Colombia, la resistencia a la adopción de tecnologías agrícolas sostenibles es del 45%, debido a la falta de conocimiento técnico y acceso a mercados diferenciados. En este caso, el retorno de inversión se extendería más allá de los ocho años, con márgenes de rentabilidad inferiores al 10% y riesgos financieros que afectarían su sostenibilidad a largo plazo.

Este análisis de escenarios de viabilidad permite anticipar estrategias de mitigación para cada escenario, asegurando que se puedan abordar posibles riesgos de manera efectiva. Refuerza la necesidad de contar con mecanismos de financiamiento y promoción que

impulsen la aceptación del modelo en el mercado. La combinación de incentivos, capacitación y alianzas estratégicas será clave para consolidar la viabilidad del sistema acuapónico, no solo en La Calera, sino también en otras regiones de Colombia.

Análisis DAFO

El análisis DAFO es una herramienta clave para comprender las fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas que enfrenta el proyecto de acuaponía en La Calera. Este análisis, basado en las perspectivas obtenidas a través de un estudio detallado del entorno, permite identificar las variables clave que influirán en el éxito del proyecto. Para obtener un enfoque más completo, se utilizaron herramientas adicionales como el análisis PESTEL y AMOFHIT, las cuales se encuentran detalladas en el apéndice 1, y que proporcionan una comprensión más profunda del contexto externo e interno que rodea al proyecto.

Fortalezas

Una de las principales fortalezas del proyecto radica en su sostenibilidad ambiental, ya que la acuaponía utiliza hasta un 90% menos de agua en comparación con los sistemas agrícolas tradicionales (Love et al., 2015). Además, al reciclar los desechos de los peces como nutrientes para las plantas, el sistema elimina la necesidad de fertilizantes químicos, lo que reduce significativamente el impacto ambiental y mejora la calidad de los alimentos producidos. Este enfoque sostenible no solo optimiza el uso de recursos, sino que también diversifica la producción, ya que permite cultivar tanto peces como vegetales en un solo sistema, lo que representa una ventaja económica al generar múltiples fuentes de ingreso para los agricultores locales.

Otra fortaleza importante es la adaptabilidad de la acuaponía a diferentes entornos. Este sistema puede implementarse en áreas rurales y urbanas, incluso en regiones con acceso

limitado a tierra fértil o agua, lo que aumenta su replicabilidad y viabilidad en otras áreas con desafíos similares (Gómez & Arango Restrepo, 2021). Además, el proyecto capitaliza en la creciente demanda de productos sostenibles en el mercado, donde consumidores y restaurantes buscan alimentos frescos, orgánicos y producidos de manera ética, lo que proporciona un acceso directo a mercados emergentes en Bogotá y otras zonas urbanas.

En conclusión, la acuaponía es una técnica agrícola innovadora que utiliza un ciclo cerrado de agua, reduciendo significativamente el consumo de este recurso vital en comparación con la agricultura tradicional (Flores-Aguilar et al., 2024). Además, minimiza el uso de pesticidas y fertilizantes químicos, promoviendo una producción más ecológica y saludable. La proximidad de La Calera a Bogotá facilita la logística y reduce los costos de transporte, permitiendo una entrega más rápida y eficiente (Sánchez Rodríguez, 2020). La capacitación de la mano de obra local en técnicas de acuaponía no solo mejora la empleabilidad, sino también la cualificación de los trabajadores de la región (Chalco Luque, 2020). Finalmente, la posibilidad de establecer alianzas estratégicas con restaurantes, supermercados y otras empresas del sector alimentario ofrece una red de distribución sólida y estable para los productos.

Debilidades

Sin embargo, el proyecto enfrenta algunas debilidades significativas, siendo la alta inversión inicial uno de los principales obstáculos. La instalación de un sistema acuapónico requiere una infraestructura específica y costos elevados, lo que puede ser prohibitivo para los pequeños agricultores locales que no tienen acceso fácil a capital (Alcaldía de la Calera, 2023; FAO et al., 2023). Además, la complejidad técnica del sistema es otro desafío, ya que los agricultores deben adquirir habilidades y conocimientos especializados para gestionar adecuadamente los niveles de pH, el equilibrio de nutrientes y el mantenimiento de peces y plantas. Este requisito de capacitación técnica puede representar una barrera para la adopción

del sistema por parte de los productores, quienes están más familiarizados con las prácticas agrícolas tradicionales (Love et al., 2015; OCDE - FAO, 2023).

Otra debilidad es la capacidad limitada de producción en espacios pequeños. Aunque la acuaponía es eficiente en el uso de recursos, su producción en espacios reducidos puede ser menor en comparación con métodos agrícolas tradicionales a gran escala. Esto puede limitar la rentabilidad del proyecto si no se gestiona de manera adecuada, o si no se desarrollan estrategias complementarias que maximicen el uso del espacio disponible (OCDE - FAO, 2023).

Amenazas

Entre las principales amenazas para el proyecto está la competencia con otros métodos agrícolas, como la agricultura vertical y los sistemas de riego de precisión, que están ganando popularidad debido a su menor costo y facilidad de implementación (Despommier, 2011). Estos métodos, si bien no ofrecen la misma capacidad para producir tanto proteínas como vegetales en un solo sistema, pueden representar una alternativa atractiva para algunos agricultores que buscan soluciones menos complejas. La inestabilidad económica en Colombia puede afectar la capacidad de los consumidores para comprar productos premium como los orgánicos, así como la capacidad de los agricultores para invertir en nuevas tecnologías (OPS, 2023).

Otro riesgo es la vulnerabilidad a las condiciones climáticas extremas. Aunque la acuaponía depende menos del clima que otros métodos agrícolas, eventos climáticos extremos, como sequías o fallos en el suministro de energía, podrían afectar negativamente el rendimiento del sistema (Flores-Aguilar et al., 2024). Además, la dependencia de insumos importados para la instalación y el mantenimiento de la infraestructura acuapónica puede exponer al proyecto a fluctuaciones en los precios y a problemas en la cadena de suministro, lo que podría aumentar los costos operativos de manera imprevista.

La resistencia al cambio por parte de los agricultores locales que están acostumbrados a las prácticas agrícolas tradicionales puede ser un obstáculo significativo para la adopción de nuevas tecnologías como la acuaponía (Sastoque, 2024). Por último, los cambios en la legislación ambiental podrían afectar la viabilidad del proyecto, especialmente si nuevas regulaciones imponen restricciones sobre ciertos insumos o prácticas utilizadas en el sistema acuapónico. Este riesgo requiere un seguimiento constante de las normativas y una adaptación flexible a los posibles cambios (FAO, 2021).

Oportunidades

Existen numerosas oportunidades para el proyecto. La más destacada es la expansión del mercado objetivo, ya que el proyecto no solo puede abastecer a cadenas de restaurantes sostenibles, sino también diversificar sus ventas a supermercados especializados, mercados agroecológicos, e incluso instituciones como hospitales y escuelas que buscan productos frescos y saludables (Goddek et al., 2019). Esta diversificación de canales de comercialización puede mejorar la estabilidad económica del proyecto y reducir su dependencia de un solo sector.

Otra oportunidad clave es el acceso a financiamiento y subvenciones de organismos gubernamentales e internacionales que apoyan la agricultura sostenible. Estas fuentes de financiamiento podrían aliviar la carga de los costos iniciales, haciendo que el sistema acuapónico sea más accesible para los agricultores pequeños y medianos (FAO, 2021). Asimismo, la innovación tecnológica ofrece un gran potencial para mejorar la eficiencia del sistema acuapónico. La integración de tecnologías de monitoreo inteligente, como Agrosmart, permitiría el control en tiempo real de parámetros clave como la calidad del agua y los niveles de oxígeno, optimizando así la gestión del sistema y reduciendo costos operativos (Palm et al., 2018).

Las energías renovables representan una oportunidad significativa para el proyecto, ya que la integración de fuentes de energía limpia, como la solar o la eólica, podría reducir los costos operativos y aumentar la sostenibilidad del sistema. La dependencia de fuentes de energía convencionales no solo implica un mayor costo económico, sino también un impacto ambiental más alto. Al utilizar energías renovables, se disminuiría la huella de carbono del proyecto, asegurando un suministro energético constante. Por ejemplo, la implementación de paneles solares para alimentar el sistema de bombeo de agua y regular la temperatura en los sistemas acuapónicos permitiría reducir los costos de energía y mejorar la eficiencia operativa. Además, el uso de energías renovables mitigaría el riesgo de interrupciones energéticas, lo que haría al proyecto más resiliente ante fluctuaciones en la red eléctrica (Erdiwansyah et al., 2021).

Por otro lado, las campañas de educación y concienciación sobre los beneficios de la acuaponía y la sostenibilidad pueden aumentar la aceptación y demanda de productos acuapónicos entre los consumidores locales y regionales (OCDE - FAO, 2023). Al generar una mayor comprensión de los beneficios ambientales y económicos de la acuaponía, estas campañas pueden facilitar la adopción del modelo en más comunidades. El éxito logrado en La Calera podría servir como un modelo replicable para expandir el proyecto a otras regiones de Colombia, ampliando su impacto y contribuyendo al desarrollo sostenible en el país.

A modo de conclusión, el análisis DAFO del proyecto de acuaponía en La Calera revela un panorama prometedor para la implementación de prácticas agrícolas sostenibles. Presenta una sólida ventaja competitiva basada en su sostenibilidad ambiental y capacidad de diversificación de productos, aunque enfrenta desafíos significativos como la alta inversión inicial y la necesidad de conocimientos técnicos especializados. Aun así, las oportunidades de expansión del mercado y el acceso a financiamiento externo pueden ayudar a superar estas barreras. Para mitigar las amenazas de la competencia y los cambios regulatorios, el proyecto

deberá estar en constante evolución, integrando innovaciones tecnológicas y fortaleciendo sus alianzas estratégicas.

Análisis de las 5 Fuerzas de Porter

Poder de Negociación de los Proveedores (Alto)

En el contexto de la acuaponía en Colombia, el poder de los proveedores es alto debido a la dependencia de insumos especializados, como sistemas tecnológicos avanzados, equipos para monitoreo de agua y semillas de alta calidad para la producción integrada de peces y plantas. La limitada disponibilidad de proveedores locales que ofrezcan estos productos a precios competitivos aumenta este poder de negociación, lo que deja a los productores acuapónicos con opciones restringidas. Además, la adquisición de insumos importados expone a los productores a fluctuaciones en los tipos de cambio, aranceles y riesgos logísticos que complican la operación y elevan los costos, generando un impacto negativo en la rentabilidad de las operaciones (Palm et al., 2018; Cuaspa-Benavides et al., 2019).

Por otro lado, existen oportunidades estratégicas para mitigar el poder de los proveedores. Formar alianzas con proveedores locales o iniciar proyectos para desarrollar cadenas de suministro sostenibles podría reducir esta dependencia y fomentar una mayor competitividad. De igual forma, los acuerdos con proveedores internacionales que ofrezcan estabilidad de precios o soporte técnico fortalecerían la posición negociadora de los productores. Este enfoque también contribuiría a la creación de un entorno más competitivo, lo que beneficiaría a los productores de acuaponía frente a competidores que dependen exclusivamente de proveedores externos (Sánchez Rodríguez, 2020; Goddek et al., 2019).

Poder de Negociación de los Compradores (Alto)

El poder de negociación de los compradores en la industria acuícola colombiana es alto debido a la competencia de otras fuentes de proteína como la carne de res, pollo y cerdo, que suelen tener precios más bajos y cadenas de suministro bien establecidas. Los compradores clave, como supermercados, restaurantes y distribuidores mayoristas, demandan altos estándares de calidad, certificaciones y precios competitivos, lo que obliga a los productores de acuaponía a ajustarse constantemente para satisfacer estas expectativas (Sánchez Rodríguez, 2020). En este sentido, la capacidad de los productores para negociar precios y condiciones de venta se ve afectada por la fuerte competencia de estos mercados consolidados.

Además, los consumidores finales tienen una alta flexibilidad para optar por alternativas más económicas si los productos acuapónicos no cumplen con sus expectativas de calidad, frescura y precio. Esta presión para equilibrar los costos operativos y los precios finales se intensifica, considerando que la implementación de tecnología para la acuaponía es costosa, a pesar de los beneficios sostenibles que ofrece. La diferenciación a través de certificaciones de sostenibilidad y estrategias de marketing que apelen a nichos conscientes del medio ambiente podrían mitigar este poder, favoreciendo la lealtad del cliente en segmentos específicos del mercado (Love et al., 2014; Goddek et al., 2019).

Amenaza de Nuevos Entrantes (Media)

La amenaza de nuevos entrantes en el mercado de la acuaponía en Colombia es considerada media, debido a las barreras tecnológicas y financieras que existen para su implementación. Los sistemas acuapónicos requieren una inversión inicial considerable en infraestructura especializada, como tanques, sistemas de recirculación de agua y tecnología avanzada para el monitoreo de parámetros biológicos. Estas demandas representan un obstáculo financiero importante para los nuevos competidores, especialmente para aquellos

sin acceso a capital adecuado o inversionistas estratégicos (Cuaspa-Benavides et al., 2019). Sin embargo, iniciativas gubernamentales y el creciente interés en prácticas agrícolas sostenibles están comenzando a reducir gradualmente estas barreras, lo que podría facilitar la entrada de nuevos competidores.

Por otro lado, la curva de aprendizaje asociada con la operación de sistemas integrados, que combinan acuicultura e hidroponía, representa otra barrera tecnológica para los nuevos entrantes. A medida que los conocimientos y habilidades necesarias para gestionar estos sistemas no son comunes en las prácticas agrícolas tradicionales, la falta de experiencia puede limitar la capacidad de los nuevos actores para competir en el mercado (Goddek et al., 2019). Sin embargo, el apoyo institucional y la capacitación técnica pueden reducir esta barrera, y el acceso a financiamiento especializado puede ofrecer una oportunidad para que los nuevos competidores logren superar las barreras iniciales (Hernández Arévalo, 2024).

Amenaza de Productos Sustitutos (Alta)

La amenaza de productos sustitutos en el mercado acuícola colombiano es alta, principalmente debido a la competencia de fuentes alternativas de proteína, como la carne de res, pollo y cerdo, que son generalmente más asequibles y ampliamente accesibles. Además, la creciente popularidad de proteínas vegetales y alimentos plant-based está intensificando la competencia, ya que estos productos se perciben como opciones saludables, con precios competitivos y un menor impacto ambiental (Del Campo Villares et al., 2020). Esta tendencia representa una amenaza significativa para la acuaponía, especialmente en segmentos de mercado sensibles al precio o enfocados en la sostenibilidad.

Para contrarrestar esta amenaza, los productores acuapónicos deben enfatizar sus ventajas competitivas, como la frescura, la calidad superior y el modelo sostenible de producción. Estrategias de marketing que resalten los beneficios ambientales y nutricionales de los productos acuapónicos pueden ayudar a mitigar el impacto de los productos sustitutos.

Además, desarrollar productos premium y ofrecer certificaciones de sostenibilidad puede atraer a los consumidores interesados en productos más responsables desde el punto de vista ambiental, lo que permitirá a los productores de acuaponía competir eficazmente con otras fuentes de proteína y alimentos vegetales (Goddek et al., 2019).

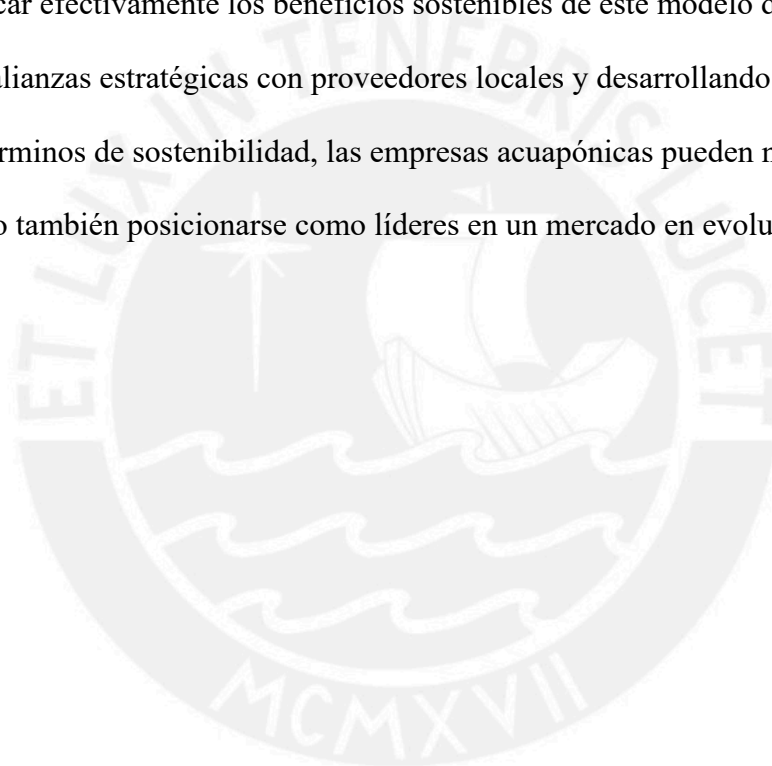
Rivalidad entre Competidores Existentes (Alta)

La rivalidad en el mercado acuícola colombiano es alta debido a la presencia de competidores establecidos, como Fedeaqua y Acuacultivos El Guajaro S.A., que controlan una parte significativa del mercado. Estos competidores se caracterizan por su capacidad para innovar en términos de tecnología y eficiencia en la producción, lo que genera presión competitiva sobre las empresas emergentes que intentan ingresar al mercado. Además, muchos de estos actores cuentan con economías de escala y una infraestructura robusta que les permite operar a costos más bajos y con mayor capacidad de producción (Goddek et al., 2019). Esto representa un desafío para los nuevos productores acuapónicos, que deben mejorar constantemente sus procesos para mantenerse competitivos.

No obstante, la acuaponía puede diferenciarse como una alternativa más sostenible frente a las prácticas tradicionales de acuicultura. Al posicionarse como una opción más respetuosa con el medio ambiente, los productores acuapónicos pueden captar la atención de los consumidores conscientes del medio ambiente y aquellos interesados en productos orgánicos. Si esta ventaja sostenible se comunica eficazmente, puede convertirse en un factor clave para destacarse en un mercado altamente competitivo (Love et al., 2014). Las empresas acuapónicas que logren esta diferenciación pueden posicionarse como líderes en el mercado de alimentos sostenibles, beneficiándose de una creciente demanda por productos responsables y ecoamigables.

En conclusión, el análisis de las cinco fuerzas de Porter para la industria de la acuaponía en Colombia revela un panorama competitivo desafiante, pero con grandes

oportunidades (ver apéndice 2 para comprender las primeras aproximaciones a este tipo de análisis, que le permitieron al equipo investigador indagar de manera compleja las interacciones de las cinco fuerzas de Porter). Si bien el poder de los proveedores y la rivalidad entre competidores establecidos presentan barreras importantes, las tendencias hacia la sostenibilidad y la creciente demanda de productos responsables ofrecen un terreno fértil para las empresas que logren diferenciarse a través de la acuaponía. La clave para el éxito en este sector es la capacidad de integrar tecnología avanzada, optimizar los costos y, al mismo tiempo, comunicar efectivamente los beneficios sostenibles de este modelo de producción. Aprovechando alianzas estratégicas con proveedores locales y desarrollando una propuesta de valor clara en términos de sostenibilidad, las empresas acuapónicas pueden no solo competir eficazmente sino también posicionarse como líderes en un mercado en evolución.



Capítulo III. Investigación Del Usuario

La investigación del usuario es una etapa fundamental para el desarrollo de un proyecto, es por eso que este capítulo desarrolla los apartados necesarios y a profundidad para implementar una práctica agrícola como la acuaponía en un municipio de Cundinamarca, Colombia. Primero, se identifican y analizan las características demográficas, socioeconómicas y culturales, así como los comportamientos, necesidades e intereses, tanto de los usuarios como de los clientes. Lo anterior, proporciona una base sólida para diseñar soluciones viables en tanto están alineadas con las limitaciones, condiciones, expectativas y capacidades de los usuarios y clientes, lo que asegura su aceptación, apropiación, mantenimiento y éxito a largo plazo. Esto, se materializa a través de los mapas de experiencias de usuario, que no solo muestran el detalle, sino también el recorrido usuario y cliente vinculados a la acuaponía.

En segundo lugar, se presentan las estrategias cualitativas y cuantitativas que no solo confirman, sino que también ajustan los arquetipos construidos, adaptando la solución a los desafíos locales relacionados con la seguridad alimentaria y, de manera indirecta, con la sostenibilidad ambiental. Por un lado, la información cualitativa proviene de entrevistas y observación participante en la zona de La Calera, registrada en bitácoras por parte de los investigadores. Por otro lado, los datos cuantitativos se recopilan a través de encuestas con preguntas cerradas, aplicadas tanto a los usuarios como a los clientes, con el fin de comprender e identificar con precisión la necesidad.

En tercer lugar, se detalla la identificación de las necesidades, que son multifactoriales y permiten una visión holística de las dinámicas macro, meso y micro, abordando tanto la urgencia del usuario como la sostenibilidad de la solución. Este análisis integral es crucial para asegurar que el proyecto no solo responda a las necesidades inmediatas, sino que también sea viable y sostenible a largo plazo. La sostenibilidad de la solución se aborda en

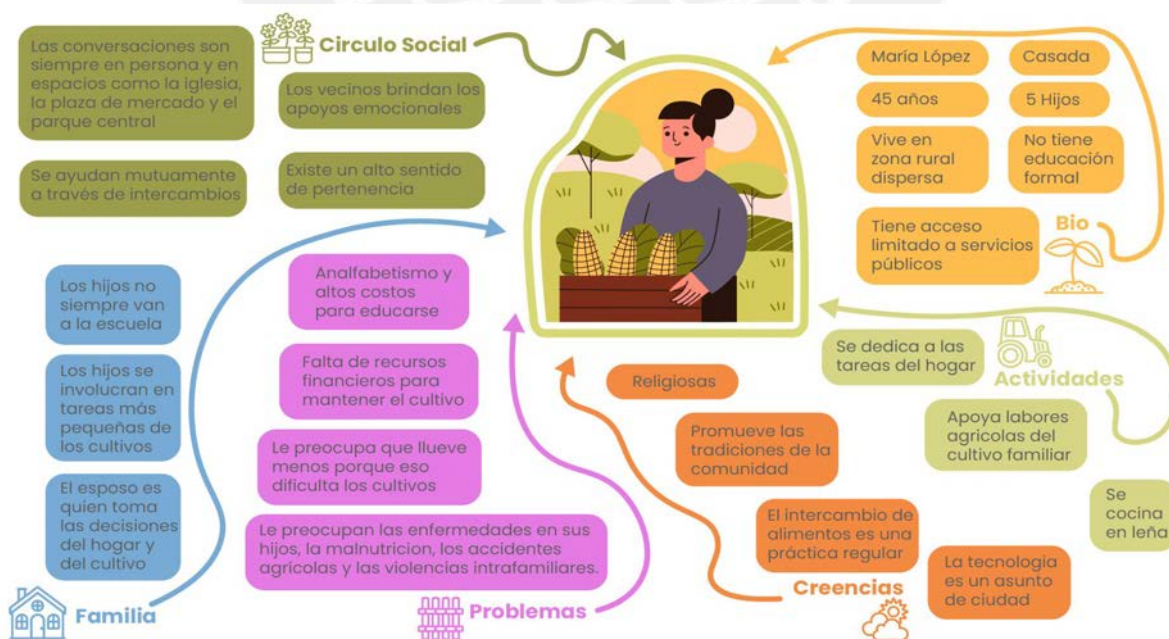
detalle en el capítulo 7 de este trabajo de grado, proporcionando una evaluación más profunda del impacto y la viabilidad del proyecto.

Perfil del Usuario

Los agricultores locales en La Calera, Cundinamarca, son en su mayoría pequeños y medianos productores. Estos agricultores poseen propiedades rurales de diversos tamaños y cuentan con una considerable experiencia en prácticas agrícolas tradicionales. Sin embargo, enfrentan desafíos significativos debido a la necesidad de adoptar nuevas tecnologías y métodos agrícolas sostenibles que no solo aumenten su productividad, sino que también aseguren la sostenibilidad ambiental (Alcaldía de la Calera, 2023). Los agricultores locales buscan acceso a recursos financieros y técnicos, así como capacitación en técnicas agrícolas modernas que puedan integrar de manera efectiva en sus operaciones diarias.

Figura 6

Lienzo Metausuario para Agricultores Locales



Nota: *Elaboración propia.*

A partir del análisis realizado en el lienzo metausuario, se identificó a María López, una agricultora de 45 años de La Calera, Cundinamarca, Colombia, quien representa el perfil típico de los agricultores de esta región. María vive en una zona rural con limitados servicios públicos, lo que genera un entorno de alta vulnerabilidad. A pesar de que la acuaponía es una solución efectiva para la producción sostenible de alimentos con bajo consumo de agua, las barreras tecnológicas, económicas y de infraestructura dificultan su adopción. La falta de acceso a financiamiento y la baja inversión en infraestructuras son obstáculos críticos, lo que hace que soluciones económicamente accesibles y adaptadas a la realidad local sean esenciales (Hernández Arévalo, 2024). María podría priorizar alternativas que no dependan de servicios públicos estables, lo que limita su disposición hacia tecnologías más complejas a menos que se ofrezcan apoyos institucionales o subvenciones.

Además, la falta de educación formal y el analfabetismo dificultan la comprensión de nuevas tecnologías (DANE, 2024), lo que requiere que cualquier solución propuesta sea fácil de usar y no exija conocimientos técnicos avanzados. En este contexto, la acuaponía, al ser un sistema técnico, podría ser percibida como compleja sin un acompañamiento adecuado. La capacitación debe ser práctica, visual y sencilla, utilizando métodos demostrativos que faciliten la adopción por parte de usuarios como María (McClelland et al., 2021; Sharma et al., 2021). Las iniciativas de formación y las asociaciones comunitarias juegan un rol fundamental para ofrecer soporte constante y garantizar la integración de la tecnología en su vida diaria.

El contexto cultural también presenta desafíos, ya que las decisiones sobre el hogar y el cultivo son tomadas por su esposo, lo que limita la influencia directa de María sobre la adopción de tecnologías. Esta dinámica patriarcal puede ralentizar la implementación de nuevas soluciones a menos que se aborden de manera colaborativa con el apoyo de su círculo familiar y comunitario. Sin embargo, el interés de María por mejorar la salud de sus hijos y

combatir la malnutrición abre una oportunidad para que la acuaponía sea atractiva, ya que proporciona acceso a alimentos frescos y nutritivos. La propuesta debe enfocarse en los beneficios nutricionales, destacando cómo la acuaponía puede mejorar la dieta de su familia, especialmente en un contexto donde la salud es una prioridad.

Además, la red de solidaridad en la que María participa, intercambiando alimentos y recursos con su comunidad, ofrece una vía potencial para la introducción y promoción de la acuaponía. Un enfoque comunitario que fomente el intercambio de productos generados por el sistema acuapónico podría facilitar la adopción y asegurar el éxito del proyecto en su contexto social (Guzmán-Ávila et al., 2020). La comunidad, al apoyarse mutuamente, puede ser clave para superar las barreras culturales y económicas.

Por último, las preocupaciones de María sobre el cambio climático, especialmente la escasez de lluvias, la hacen receptiva a soluciones que optimicen el uso del agua. La acuaponía, al requerir menos agua que los cultivos tradicionales, podría percibirse como una respuesta directa a sus preocupaciones (Sánchez Rodríguez, 2020). Esta característica, junto con los beneficios del sistema en términos de sostenibilidad y adaptación a condiciones climáticas adversas, puede generar un interés significativo en la adopción de la tecnología.

En resumen, el perfil de María revela tanto barreras clave para la adopción de la acuaponía como oportunidades significativas, basadas en sus preocupaciones por la salud de su familia, la sostenibilidad y el apoyo comunitario. La propuesta debe incluir estrategias de capacitación accesibles y prácticas, que sean respaldadas por incentivos económicos y un enfoque comunitario. Esto garantizará que soluciones como la acuaponía puedan ser adoptadas de manera efectiva en su contexto rural.

Perfil del Cliente

El cliente ideal para el proyecto son los restaurantes de alto nivel ubicados en Bogotá, Colombia, conocidos por su compromiso con la calidad y la sostenibilidad. Estos

establecimientos se destacan en el competitivo mercado de la ciudad por ofrecer una experiencia culinaria excepcional, enfocándose en ingredientes frescos, orgánicos y de origen local (Sánchez Rodríguez, 2020). Su cocina se caracteriza por la innovación y el respeto por los productos naturales, buscando siempre sorprender a sus clientes con platos que promuevan un estilo de vida saludable y consciente.

Este tipo de establecimientos atienden principalmente a consumidores de nivel socioeconómico medio-alto y alto, preocupados por las cualidades y propiedades de sus alimentos. Su oferta de valor se centra en un menú que destaca por el uso de ingredientes frescos, orgánicos y locales, con un enfoque en la salud y el bienestar. Esto le permite atraer a un público que valora la autenticidad y el origen de los alimentos que consume.

El cliente ideal necesita proveedores que puedan garantizar la frescura y la calidad de los productos, prefiriendo aquellos que utilizan prácticas sostenibles. Tiene un fuerte compromiso con el medio ambiente, por lo que busca trabajar con proveedores que implementen métodos de producción sostenibles como la acuaponía (Puro Marketing, 2023). Además, es esencial que los productos mantengan un alto estándar de calidad para asegurar la satisfacción del cliente y la consistencia en los platos ofrecidos.

Las motivaciones del cliente incluyen la satisfacción del cliente final mediante experiencias culinarias excepcionales que destaquen la calidad y el origen sostenible de los ingredientes. También buscan mantener y mejorar su reputación como locales líderes en sostenibilidad y alta cocina en Bogotá. Reducir la huella ambiental a través del uso de productos locales y sostenibles es otro de sus objetivos clave (Puro Marketing, 2023). Asimismo, desean establecer relaciones duraderas y confiables con proveedores que compartan su visión de sostenibilidad y calidad.

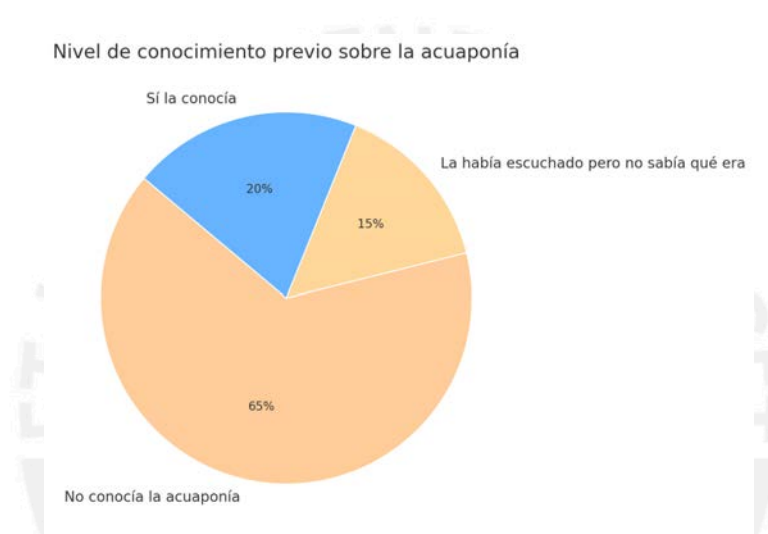
Sin embargo, el cliente enfrenta varios desafíos. Uno de los principales es garantizar la disponibilidad constante de productos frescos y orgánicos durante todo el año. Manejar los

costos asociados con la compra de ingredientes de alta calidad y sostenibles sin comprometer la rentabilidad del negocio es otra preocupación importante. Además, deben informar y educar a los consumidores sobre los beneficios de los ingredientes sostenibles y orgánicos, justificando así posibles diferencias de precio.

Estrategias de Recolección de la Información

Figura 7

Nivel de Conocimiento sobre Acuaponía



Nota: *Elaboración propia.*

Los perfiles presentados anteriormente se construyeron con base en una serie de instrumentos cuantitativos y cualitativos, que después de aumentar la muestra, fue posible ajustar algunas de las características identificadas. En el apéndice 3 se pueden consultar los instrumentos creados e implementados en el trabajo de campo para conocer con precisión al usuario y cliente de la acuaponía. Estos formatos permitieron recolectar información detallada y relevante para entender el comportamiento de los usuarios y clientes, así como las barreras y oportunidades para la implementación de tecnologías sostenibles como la acuaponía en La Calera.

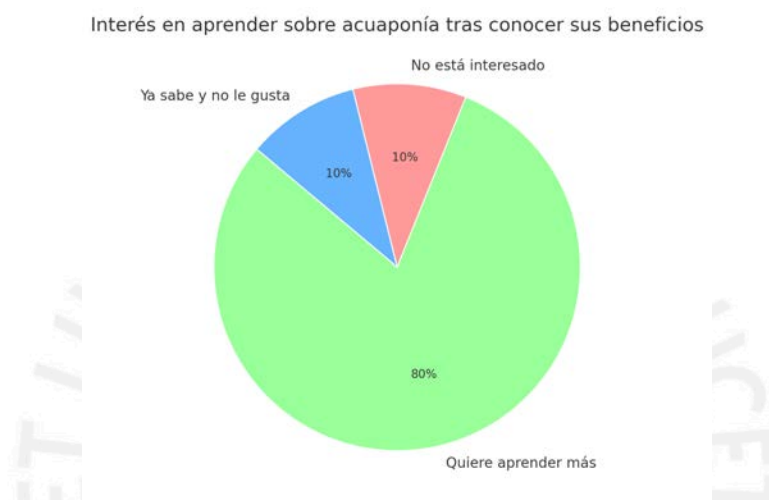
De los 20 pequeños productores encuestados, los resultados revelaron varias tendencias importantes. En primer lugar, se observó un bajo conocimiento de la acuaponía, ya

que un 65% de los productores no conocía este sistema antes de la encuesta (ver Figura 7).

Sin embargo, al explicarles los beneficios del sistema, el 80% expresó interés en aprender más sobre su implementación, destacando el ahorro de agua y la posibilidad de mejorar la producción agrícola sin necesidad de aumentar el uso de terrenos (ver Figura 8).

Figura 8

Interés en Aprender Sobre Acuaponía tras Conocer sus Beneficios

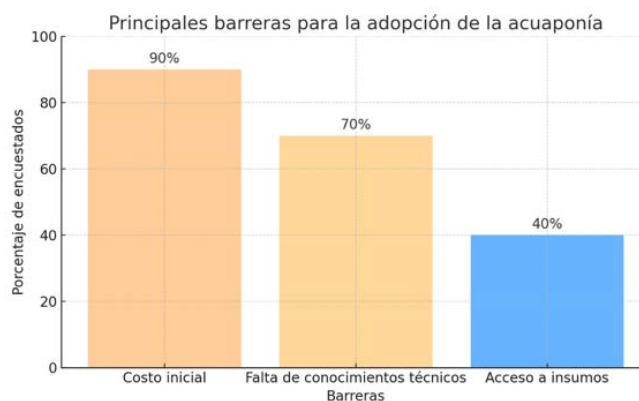


Nota: *Elaboración propia.*

Segundo, existen limitaciones financieras y tecnológicas, el 90% de los encuestados señalaron que el costo inicial para adoptar la acuaponía sería su mayor barrera. Además, un 70% mencionó la falta de conocimientos técnicos como otro obstáculo importante (Figura 9). Este resultado subraya la necesidad de diseñar programas de apoyo financiero y formación técnica específica para facilitar la adopción de la acuaponía, pues justo estos datos son los que recogen la realidad de los usuarios y determinan el éxito del desarrollo de la solución.

Figura 9

Principales Barreras para la Adopción de la Acuaponía

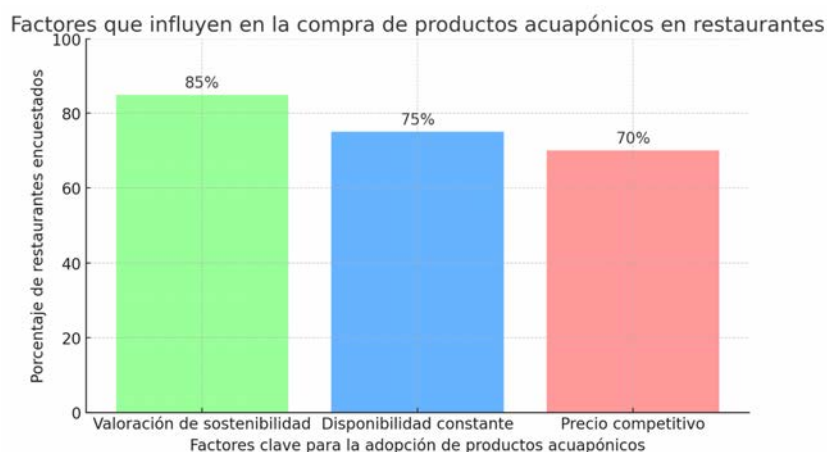


Nota: *Elaboración propia.*

El 75% de los productores ha notado cambios significativos en el clima, como sequías y lluvias irregulares, que afectan su productividad. Este grupo expresó un fuerte interés en tecnologías que optimicen los recursos, como la acuaponía. Como mencionó un agricultor: “cada vez es más difícil cultivar con estos cambios en el clima, necesitamos soluciones que ahorren agua” (Agricultor 4), y otro agregó: “si un sistema nos ayuda a producir más sin gastar tanto en insumos, vale la pena intentarlo” (Agricultor 7). Además, el 60% de los encuestados estaría dispuesto a participar en asociaciones o cooperativas para implementar soluciones colectivas, sugiriendo que un enfoque comunitario podría ser una estrategia efectiva para superar barreras financieras.

Figura 10

Factores que Influyen en la Compra de Productos Acuapónicos



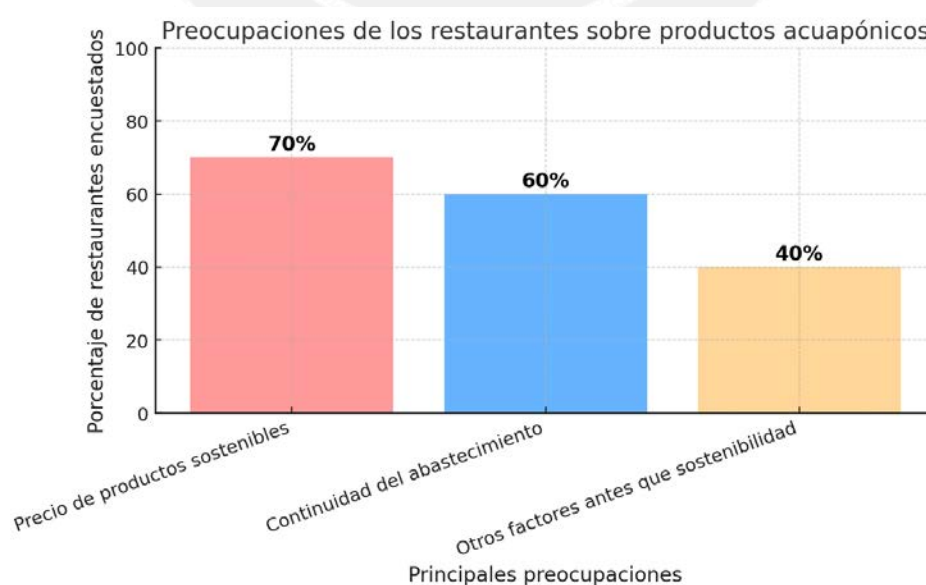
Nota: *Elaboración propia.*

De los 12 restaurantes encuestados, un 85% valoró la sostenibilidad y los productos locales como factores clave en sus decisiones de compra. Sin embargo, también destacaron que la disponibilidad constante y el precio competitivo son esenciales para mantener productos acuapónicos en sus menús, como indicó un gerente de restaurante: “nos gusta comprar productos locales y sostenibles, pero si no hay un suministro constante o el precio es muy alto, es difícil mantenerlos en el menú” (Gerente de restaurante en Bogotá). Además, un 75% de los restaurantes mostró interés en incorporar trucha y lechuga en su menú, siempre que estos mantengan calidad y precios competitivos.

No obstante, también surgieron preocupaciones sobre el precio y la continuidad del suministro. El 60% de los restaurantes expresó dudas sobre la capacidad de los productores de acuaponía para garantizar un abastecimiento constante durante todo el año. Asimismo, un 70% indicó que el precio de los productos sostenibles representa un desafío, ya que no siempre pueden justificar un precio más alto ante los clientes, lo que podría limitar la integración de estos productos en su oferta (ver Figura 11).

Figura 11

Preocupaciones de los Restaurantes Sobre Productos Acuapónicos



Nota: *Elaboración propia.*

Cuarto, se observa un interés por parte de los restaurantes en establecer relaciones directas con los productores, ya que el 65% mostró interés en conocer a aquellos que utilicen tecnologías sostenibles como la acuaponía, evitando intermediarios y apoyando iniciativas comunitarias. Por ejemplo, un propietario de restaurante en Bogotá comentó: “Preferimos comprar directamente a los productores, así aseguramos calidad y apoyamos iniciativas locales”, mientras que un chef de restaurante en La Calera expresó: “Si podemos trabajar sin intermediarios y con proveedores sostenibles, sería una gran ventaja para nosotros”. Esto sugiere una oportunidad para los productores acuapónicos de establecer relaciones comerciales estables con estos clientes.

En conclusión, los resultados de la encuesta indican que tanto los usuarios (pequeños productores) como los clientes (restaurantes) perciben un valor significativo en la adopción de la acuaponía, aunque ambos grupos enfrentan desafíos específicos. Para los productores, las barreras financieras y técnicas deben ser abordadas mediante subsidios, financiamiento y programas de capacitación. Mientras que, para los restaurantes demandan productos sostenibles y de alta calidad, pero requieren precios competitivos y abastecimiento regular para justificar su integración en el menú.

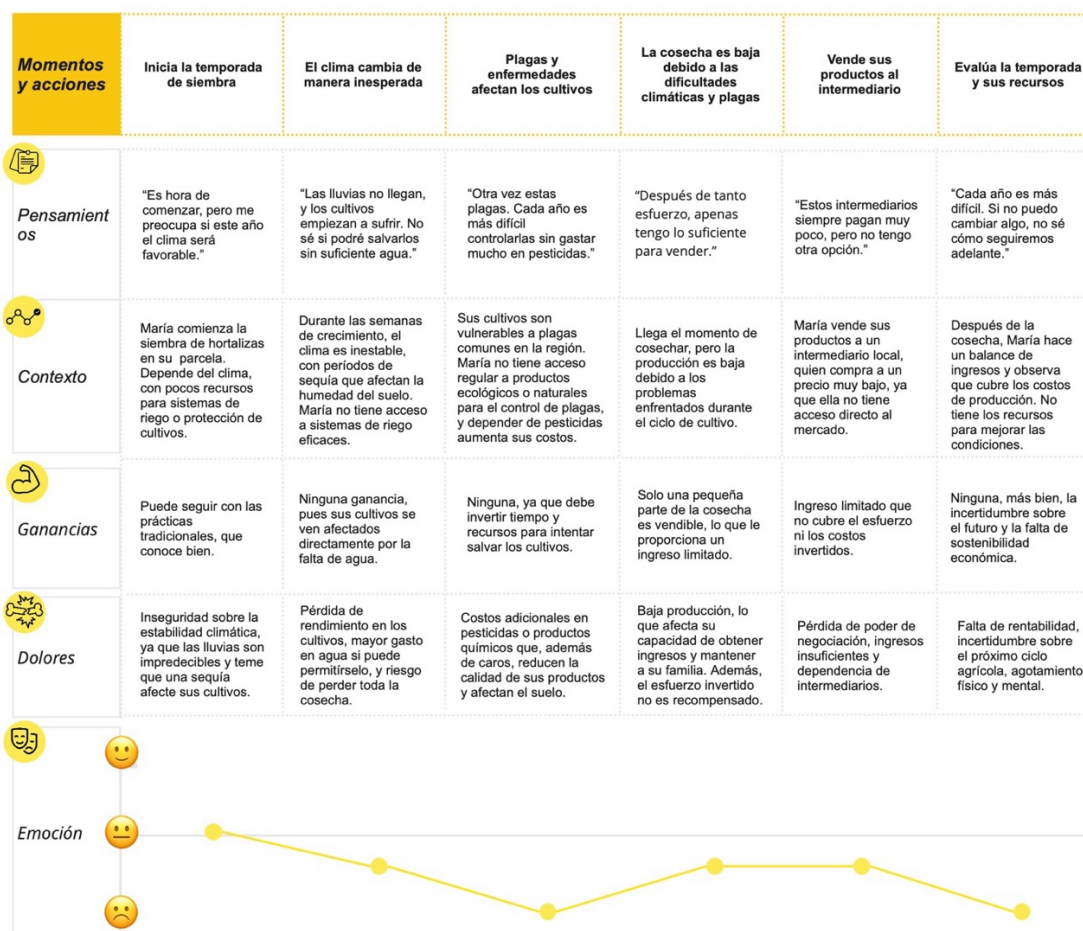
Estos resultados sugieren que el proyecto de acuaponía tiene un gran potencial, siempre y cuando se aborden las limitaciones mencionadas con un enfoque integral que contemple el apoyo financiero, la educación técnica y la creación de alianzas directas entre productores y clientes. Los perfiles de usuario y cliente, presentados en los apéndices 4 y 5, detallan las características de estas personas como arquetipos base para el desarrollo de la solución acuapónica. Contar con insumos como estos es fundamental para garantizar que la estrategia se desarrolle siempre en función de las necesidades y expectativas de los beneficiarios.

Mapa de Experiencia de Usuario

El mapa de experiencia de usuario es una herramienta esencial para identificar y comprender las emociones, sentimientos y dificultades que experimenta el usuario objetivo a lo largo de su jornada. En este contexto, el mapa se centra en María, quien enfrenta una variedad de desafíos y momentos significativos en su vida cotidiana (ver Figura 14). Los momentos clave de su experiencia están marcados por la incertidumbre climática, las plagas, la baja producción y la dependencia de intermediarios que limitan su capacidad de generar ingresos sostenibles. A través del análisis, es evidente que estos problemas no solo afectan su vida económica, sino también su bienestar emocional y social.

Figura 12

Lienzo de Experiencia de Usuarios



Nota: *Elaboración propia.*

Momento más Negativo

El momento más negativo en la experiencia de María se produce durante la venta de sus productos a intermediarios y la evaluación de la temporada. Este es un punto crítico que refleja la acumulación de diversas dificultades a lo largo del ciclo agrícola, donde los esfuerzos invertidos no se ven reflejados en los resultados esperados, tanto económica como emocionalmente. La falta de control sobre los precios y la dependencia de los intermediarios agravan aún más la situación, generando frustración y desmotivación en María.

En este momento, María se siente desmotivada y frustrada al constatar que, a pesar de su arduo trabajo, no tiene control sobre los precios que se le ofrecen. La falta de poder de negociación con los intermediarios no solo afecta su situación financiera, sino también su autoestima y la percepción de su capacidad para proveer a su familia. Esta desconexión entre el esfuerzo físico y los resultados obtenidos genera un agotamiento emocional profundo, intensificado por la incertidumbre sobre el futuro agrícola. La preocupación constante de no poder mejorar las condiciones para el próximo ciclo agrava su bienestar psicológico, al no ver un camino claro para superar la situación.

Este impacto emocional se extiende a su entorno social. María forma parte de una red de pequeños productores, muchos de los cuales comparten la misma vulnerabilidad económica y social. La dependencia de los intermediarios y los ingresos insuficientes impiden a María y a su comunidad contribuir al crecimiento económico local. Además, la exclusión de mercados más justos refuerza las desigualdades sociales entre áreas rurales y urbanas, donde los productores rurales, como María, tienen limitado acceso a oportunidades de crecimiento y comercialización directa.

Económicamente, este momento representa un punto de quiebre. Los bajos ingresos que recibe por la venta de sus productos apenas cubren los costos de producción, lo que le impide reinvertir en su finca o adoptar tecnologías más eficientes. María se encuentra

atrapada en un ciclo de pobreza agrícola, donde el bajo rendimiento y las pérdidas constantes dificultan su capacidad para mejorar la producción y la calidad de vida de su familia. La falta de acceso directo a mercados justos y la dependencia de intermediarios perpetúan esta situación, convirtiéndola en una barrera significativa para su progreso y bienestar.

Propuesta de Solución: Implementación de la Acuaponía

La acuaponía podría aliviar muchos de estos momentos de dolor, especialmente la negociación de precios con intermediarios. Al implementar un sistema de acuaponía y además emplearse dentro de un cultivo, María tendría la posibilidad de acceder a productos frescos y de calidad, reduciendo su dependencia de los intermediarios. La acuaponía no solo permitiría generar ingresos más estables, sino que también podría contribuir a la seguridad alimentaria de su familia al ofrecer alimentos frescos y nutritivos, mejorando su bienestar psicológico. Además, con el apoyo adecuado en términos de capacitación y asistencia técnica, María podría aumentar la eficiencia de su producción, mejorando su situación económica y reduciendo el agotamiento emocional asociado a la falta de control sobre su medio de vida.

Identificación de la Necesidad Por Resolver para el Usuario

María, como pequeña productora agrícola, enfrenta múltiples desafíos que limitan su capacidad para garantizar una producción agrícola sostenible y rentable. La principal necesidad que se identifica en su contexto es la falta de estabilidad y rentabilidad en la producción de alimentos, derivada de factores como la dependencia del clima, la escasez de recursos financieros, el uso ineficiente del agua y la baja capacidad de acceso a mercados justos debido a la intermediación. Estos problemas no solo afectan su situación económica, sino que también tienen profundos impactos en su salud emocional, ya que la incertidumbre constante genera estrés y frustración en su día a día.

Producción Agrícola Ineficiente

El sistema de cultivo tradicional utilizado por María está gravemente afectado por factores como la variabilidad climática, las plagas y la escasez de recursos hídricos. Estas limitaciones reducen su capacidad para producir alimentos de calidad de manera constante, lo que impacta negativamente en sus ingresos y en el bienestar de su familia. La dependencia de las lluvias y la ausencia de sistemas de riego adecuados agravan la inseguridad alimentaria, tanto en su hogar como en su comunidad, al no poder garantizar una producción estable y confiable.

Inseguridad Financiera y Falta de Inversión

María enfrenta una grave limitación en cuanto al acceso a créditos y recursos financieros, lo que le impide invertir en nuevas tecnologías o mejorar su infraestructura agrícola. Esta falta de recursos perpetúa un ciclo de pobreza agrícola, en el cual la baja productividad y los ingresos limitados no le permiten avanzar ni mejorar su situación. La imposibilidad de reinvertir en su finca perpetúa la vulnerabilidad y la falta de competitividad en su producción.

Dependencia de Intermediarios y Bajo Poder de negociación

Al no tener acceso directo a mercados, María se ve obligada a vender sus productos a intermediarios que pagan precios bajos, lo que reduce considerablemente sus márgenes de ganancia. Esta dependencia de intermediarios con poder de negociación genera una sensación de injusticia, ya que no puede obtener un precio justo por sus productos. Esto crea una necesidad urgente de acceder a mercados justos o alternativas comerciales que reconozcan el valor de su producción y le paguen precios que reflejen el esfuerzo y la calidad de los productos que cultiva.

Falta de Conocimiento sobre Tecnologías Sostenibles

Aunque María está dispuesta a mejorar sus métodos de producción, carece del conocimiento y la formación necesaria sobre nuevas tecnologías agrícolas sostenibles. Sin acceso a capacitación en el uso eficiente de recursos y en prácticas de producción más sostenibles, cualquier intento de cambio tecnológico se ve dificultado. La falta de apoyo técnico y educativo limita sus oportunidades para mejorar la eficiencia de su producción y la calidad de los productos, lo que perpetúa su situación de vulnerabilidad y falta de competitividad.

Conclusión del Capítulo

María necesita una solución integral que optimice su producción agrícola, permitiéndole reducir su dependencia de factores climáticos y optimizar el uso de recursos clave como el agua y los fertilizantes. Además, es fundamental que esta solución le permita acceder a mercados justos, eliminando la intermediación y aumentando sus ingresos. La adopción de tecnologías sostenibles, como la acuaponía, apoyada por capacitación técnica y financiera, proporciona una alternativa viable que mejora la calidad de sus productos, dándole mayor control sobre su producción y comercialización.

El modelo acuapónico beneficia tanto a los agricultores como a las cadenas de restaurantes. Para los agricultores, mejora la productividad y la estabilidad económica, permitiéndoles cultivar productos de alta calidad con un uso más eficiente de los recursos. Por su parte, los restaurantes obtienen acceso a productos frescos y sostenibles, lo que eleva la calidad de su oferta gastronómica y satisface la creciente demanda de sostenibilidad de sus clientes. Este enfoque crea una sinergia estratégica entre ambos actores, permitiendo que los agricultores se posicionen como proveedores directos y los restaurantes aprovechen la sostenibilidad local para fortalecer su propuesta en el mercado.

Capítulo IV. Diseño Del Producto O Servicio

El diseño del producto o servicio es una etapa crucial en el desarrollo de cualquier proyecto innovador, ya que establece cómo se implementan las soluciones propuestas para satisfacer las necesidades de los clientes y usuarios. En este proyecto, es esencial definir tanto el diseño del servicio, que consiste en un sistema acuapónico conceptual que vincula laboral y educativamente a los agricultores locales, como el diseño del producto, que incluye la trucha y la lechuga listas para la venta. Este capítulo se enfoca en describir el proceso teórico-conceptual del sistema acuapónico, detallando la estructura y las estrategias de implementación que garantizarán la sostenibilidad y efectividad del proyecto, incluyendo las especificaciones de los clientes y usuarios, y cómo sus necesidades influyen en la solución, especialmente en los momentos de mayor dolor que afectan sus comportamientos y emociones.

Concepción del Producto o Servicio

El proceso de ideación realizado para abordar las necesidades de María, una agricultora que enfrenta desafíos relacionados con la pérdida sistemática de cosechas debido al clima, generó varias estrategias y soluciones innovadoras. Estas soluciones se centraron en mejorar la sostenibilidad a través de técnicas agrícolas no tradicionales, la disponibilidad de alimentos, las oportunidades laborales y de educación agrícola, desarrollo de infraestructura y la búsqueda de apoyo estatal para María. Todo lo anterior, con la intención de -además- aportar a su bienestar emocional, que se ve fuertemente impactado por sus condiciones socioeconómicas.

Identificación de Necesidades

María, una pequeña productora agrícola en La Calera (ver Figura 13), enfrenta varios desafíos que afectan la estabilidad y rentabilidad de su producción. La dependencia del clima,

la escasez de recursos hídricos y la baja capacidad de inversión limitan su capacidad para producir alimentos de manera constante y eficiente. Además, la falta de acceso a mercados justos la obliga a depender de intermediarios que pagan precios bajos por sus productos, afectando gravemente sus ingresos y calidad de vida.

Figura 13

Evidencia de Trabajo de Campo, Usuaria María



En el lienzo 6x6 (Figura 14) se presentan las preguntas generadoras con algunas de las posibles respuestas o acciones y que, después de evaluar diversas ideas, se seleccionaron las siguientes seis estrategias principales para atender las necesidades de María. La primera idea, propone fortalecer el conocimiento y las capacidades de María a través de programas de capacitación adaptados a sus necesidades, María podría aprender técnicas agrícolas más eficientes. Un ejemplo específico es la participación en talleres de acuaponía, donde se pueda aprender a instalar y gestionar este sistema en su cultivo. Además, la creación de un curso

sobre gestión de recursos hídricos permite acceder a conocimientos técnicos desde su hogar, a su propio ritmo, y con la flexibilidad que requiere como agricultora.

Figura 14

Lienzo 6x6

OBJETIVO Encontrar estrategias para que María reduzca la pérdida sistemática de cosechas a causa del clima que incide en la seguridad alimentaria familiar y los ingresos.		NECESIDADES 1. María necesita sostenibilidad en su cultivo porque necesita tener alimentos para su familia. 2. María necesita estabilidad climática porque de esto depende el éxito de su cultivo. 3. María necesita disponibilidad de alimentos porque de esto depende la salud de su familia. 4. María necesita educación agrícola porque está habilita capacidades técnicas. 5. María necesita desarrollo de infraestructura porque se mejoran las condiciones físicas del cultivo. 6. María necesita apoyo del estado porque no cuenta con los recursos suficientes para mantener su cultivo.			
PREGUNTAS GENERADORAS					
1. ¿Cómo podríamos hacer que María tenga sostenibilidad en su cultivo?	2. ¿Cómo podríamos hacer que María tenga estabilidad climática?	3. ¿Cómo podríamos hacer que María siempre tenga alimentos para su familia?	4. ¿Cómo podríamos hacer que María se eduque en conocimientos agrícolas?	5. ¿Cómo podríamos hacer que María mejore las condiciones físicas de su cultivo?	6. ¿Cómo podríamos hacer que María reciba apoyos del estado?
Diversificando sus productos de siembra.	Implementar prácticas agrícolas resilientes con el cambio climático.	Fortalecer la seguridad alimentaria en el cultivo de María.	Asistir a capacitaciones y talleres presenciales.	Hacer una evaluación de las condiciones actuales del suelo.	Identificar los programas de apoyo disponibles.
Implementando prácticas agrícolas sostenibles.	Fortaleciendo la infraestructura para la gestión del agua.	Reducir la dependencia exclusiva del cultivo para la generación de ingresos.	Inscribirse a programas de educación a distancia y en línea.	Implementar prácticas para mejorar la salud del suelo.	Buscar asesoría y acompañamiento de las organizaciones del territorio.
Fortalecer el conocimiento y las capacidades de María.	Diversificando los ingresos de María.	Fortalecer la red de apoyo social y comunitario de María.	Buscar espacios de educación no formal y aprendizaje entre pares.	Gestionar el agua de manera eficiente.	Vincularse a organizaciones de agricultores.
Fortalecer el conocimiento y las capacidades de María.	Implementar prácticas agrícolas resilientes con el cambio climático.	Fortalecer la red de apoyo social y comunitario de María.	Buscar espacios de educación no formal y aprendizaje entre pares.	Gestionar el agua de manera eficiente.	Identificar los programas de apoyo disponibles.
6 IDEAS SELECCIONADAS					

Nota: *Elaboración propia.*

La segunda idea plantea la implementación de prácticas agrícolas resilientes ante el cambio climático mediante la adopción de métodos que permitan a María ajustarse a las variaciones climáticas. Un caso hipotético sería el uso de sistemas de riego por goteo, que optimizan el uso del agua, o la introducción de cultivos de cobertura, que protegen el suelo y lo enriquecen, ayudando a prevenir la erosión durante las temporadas de lluvias intensas. Este enfoque permitiría gestionar mejor el impacto de la sequía o las lluvias irregulares, asegurando la sostenibilidad de su producción.

La tercera idea formula un proceso de fortalecimiento de la red de apoyo social y comunitario de María creando asociaciones de agricultores en su comunidad para facilitar el intercambio de productos y conocimientos. María podría beneficiarse al unirse a una cooperativa agrícola que le permita comprar insumos a precios más bajos y vender sus productos directamente a mercados locales, evitando a los intermediarios. Un ejemplo sería unirse a la Asociación de Productores de La Calera, donde podría compartir experiencias con otros agricultores sobre cómo manejar mejor los recursos naturales.

La cuarta idea consiste en buscar espacios de educación no formal y aprendizaje entre pares con un enfoque práctico, donde María pueda observar las prácticas exitosas de sus vecinos y aplicar estas técnicas en su propio cultivo. Un ejemplo de esto sería un agricultor local, que ya haya implementado un sistema acuapónico, invitando a María a participar en una jornada de campo para ver cómo puede implementar esta técnica en su terreno. La quinta idea está relacionada con la gestión eficiente del agua, permitiendo a María mejorar su infraestructura mediante la instalación de tanques de almacenamiento de agua de lluvia, lo que le aseguraría una fuente confiable durante las temporadas secas, como un sistema de captación que almacena agua en la temporada de lluvias para utilizarla en el riego durante los períodos de sequía.

La sexta y última es la identificación los programas de apoyo disponibles. María podría vincularse con organizaciones de agricultores, como la Agencia de Desarrollo Rural, para acceder a subsidios estatales y programas de financiamiento para pequeños productores. Un ejemplo concreto sería solicitar apoyo financiero para la compra de insumos o equipos a través del *Programa de Incentivos a la Productividad Agrícola* del gobierno, que ofrece asistencia técnica y créditos a bajo interés para mejorar la infraestructura agrícola.

Estas soluciones prácticas, como el acceso a programas de capacitación, la implementación de sistemas de riego eficientes y el fortalecimiento de redes comunitarias, abordan las necesidades inmediatas de María mientras fomentan su resiliencia a largo plazo frente al cambio climático y las fluctuaciones económicas. La adopción de estas estrategias no solo mejora su calidad de vida, sino también la de su comunidad, creando un modelo agrícola más sostenible y próspero. Además, este enfoque fortalece la capacidad de María para adaptarse a futuros desafíos, asegurando la sostenibilidad de su producción y la estabilidad económica de su entorno.

Evaluación de las Posibles Soluciones

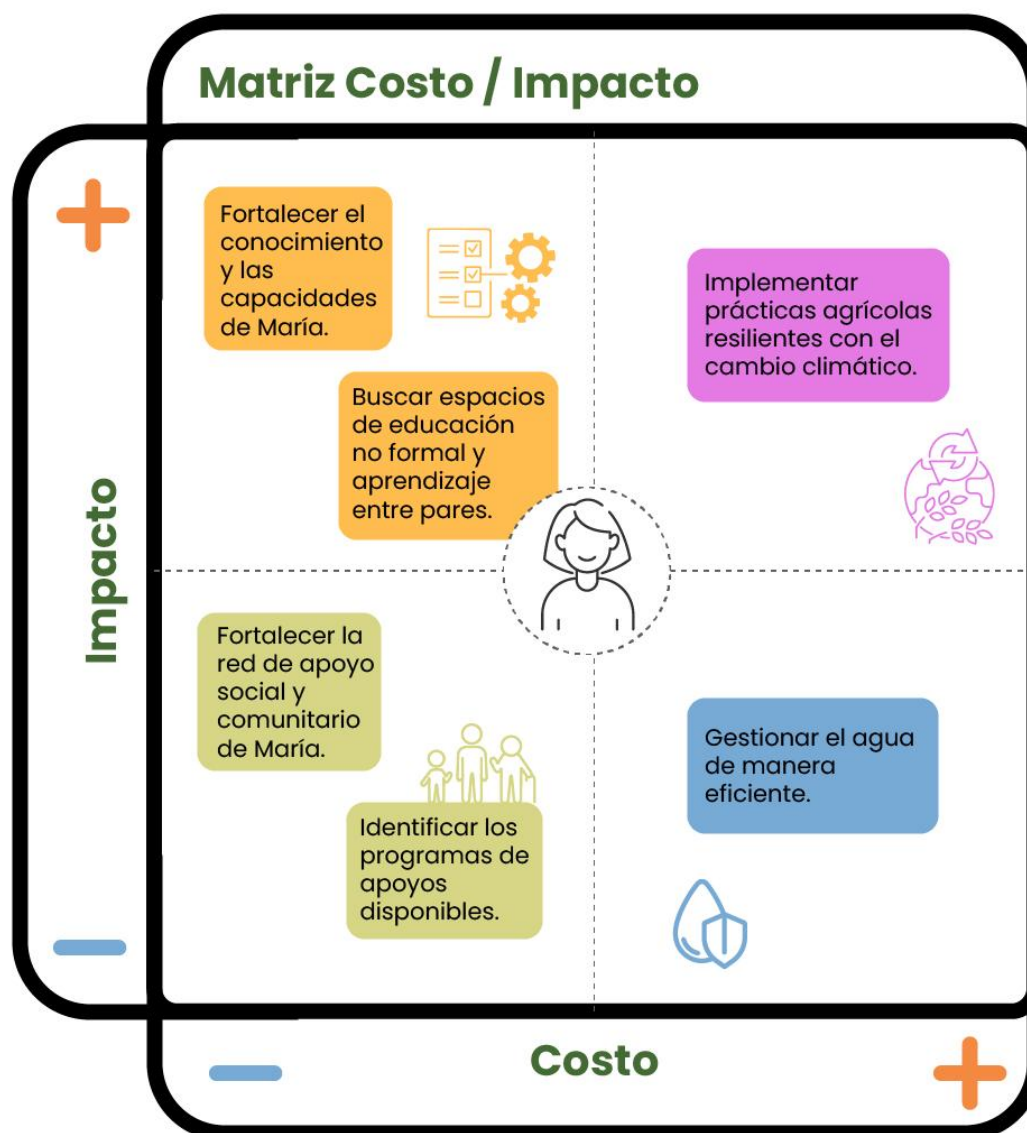
Ahora bien, el sentido de realidad de la materialización de estas ideas debe evaluarse según la capacidad real de ejecución. Para ello, se utilizó el lienzo Costo-Impacto (ver Figura 15), que proporciona una evaluación visual de las diferentes estrategias identificadas para abordar las necesidades de María en su cultivo. Este lienzo clasifica las estrategias según su costo y el impacto potencial en la sostenibilidad y productividad agrícola, permitiendo priorizar las acciones más viables y efectivas para mejorar su situación.

En el cuadrante de alto impacto y bajo costo (verde), destacan estrategias como la capacitación técnica de María y su inclusión laboral dentro del modelo acuapónico. Programas de formación y redes de aprendizaje entre pares permiten fortalecer rápidamente sus capacidades agrícolas. Según Noriega Molina (2022) la capacitación en técnicas

sostenibles y colaborativas mejora significativamente la productividad y fomenta la resiliencia de los pequeños agricultores. Estas acciones optimizan la sostenibilidad y productividad con una inversión moderada, haciéndolas esenciales en el diseño del prototipo.

Figura 15

Matriz Costo x Impacto



Nota: *Elaboración propia.*

En el cuadrante de alto impacto y alto costo (azul), se prioriza la implementación de sistemas acuapónicos, una práctica clave para mitigar los efectos del cambio climático. Como

señala (Love et al., 2015), los sistemas acuapónicos combinan el cultivo de peces y plantas, lo que reduce el uso de agua y fertilizantes en comparación con métodos tradicionales. Aunque su costo inicial es elevado, el impacto en resiliencia climática y eficiencia de recursos justifica su inclusión como una meta a largo plazo, sujeta a una adecuada planificación financiera y alianzas estratégicas.

En el cuadrante de bajo impacto y bajo costo (rosa), la identificación de programas de apoyo externo, como iniciativas gubernamentales o de ONG, ofrece una opción complementaria. Estos programas pueden proporcionar recursos técnicos y financieros. Según FAO (2021), las políticas de apoyo a pequeños agricultores son esenciales para facilitar la transición hacia modelos productivos más sostenibles, incluso si su impacto inmediato puede ser limitado.

En el cuadrante de bajo impacto y alto costo (amarillo), la mejora de la infraestructura hídrica y la construcción de redes de apoyo social representan iniciativas valiosas, pero no prioritarias. La FAO (2021) también destaca que estas estrategias requieren inversiones significativas y generan beneficios en el mediano y largo plazo. Por tal razón se convierten en metas secundarias en un contexto de recursos limitados.

El análisis sugiere que el prototipo debe priorizar las estrategias de alto impacto y bajo costo, como la capacitación técnica y el aprendizaje colaborativo, por su viabilidad y beneficios inmediatos. Las prácticas de *alto impacto y costo*, como la acuaponía, son fundamentales para la sostenibilidad, pero requieren planificación a largo plazo. Las estrategias de menor impacto pueden considerarse complementarias, añadiendo valor sin desviar recursos clave en la etapa inicial.

Resultados del Desarrollo del Prototipo

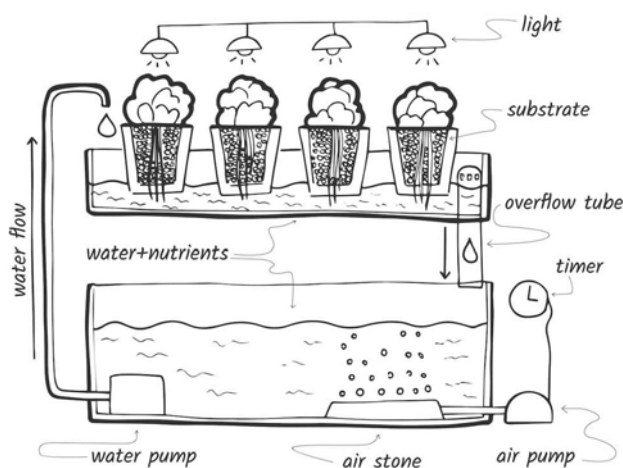
El desarrollo del prototipo ágil para este proyecto se llevó a cabo utilizando la metodología de *sprints*, la cual permitió una entrega incremental y continua de mejoras. Este

enfoque no solo facilitó la rápida adaptación a los cambios, sino que también permitió la incorporación constante de la retroalimentación de los clientes y usuarios, asegurando que el prototipo se alinee con las necesidades y expectativas de estos. A continuación, se presenta un resumen de los principales sprints y sus logros.

Sprint 1: Diseño Inicial y Configuración. El objetivo fue diseñar y prototipar con base en estudios previos (ver Figura 16) un sistema conceptual de acuaponía piloto adaptado a las condiciones locales que al ponerse a prueba en talleres permitiría construir programa formativo como también lo sustenta el trabajo de Noriega Molina (2022). Además, como producto viable de venta se eligieron especies como la trucha arcoíris y plantas como la lechuga fueron seleccionadas por su alta adaptabilidad al clima de La Calera (Gómez & Arango Restrepo, 2021; Mojica Llanos, 2023).

Figura 16

Prototipo Inicial



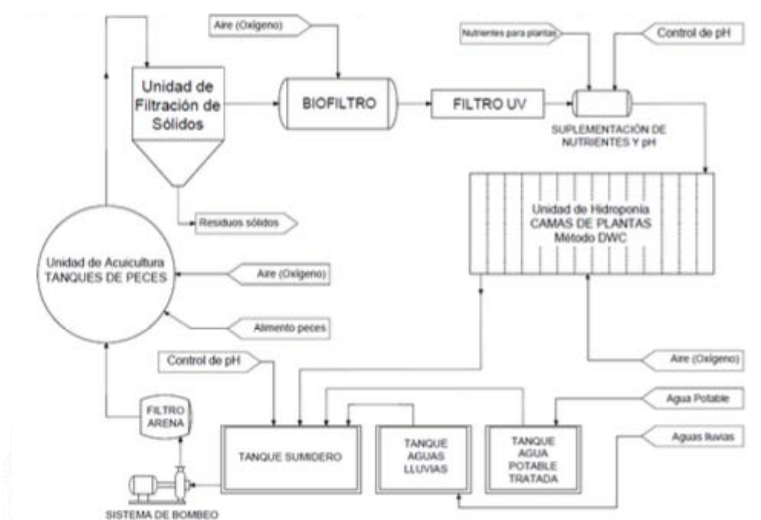
Nota: Tomado de EcoInventos Green Technology (2022).

Sprint 2: Prueba de Concepto. Este sprint buscó validar la construcción teórica del sistema acuapónico, así como del producto final (trucha y lechuga) y ajustar el currículo formativo. Tras recibir retroalimentación de los agricultores locales, se ajustaron temáticas clave como el control de nutrientes y la rotación de cultivos (Beem et al., 2017). Además, se

sometieron a calificación por parte de 10 agricultores experimentados, los primeros planos revisados, como se ve en la Figura 17. Los resultados realizados indicaron que el 80% valoró positivamente la integración de la acuicultura con la hidroponía, destacando el potencial del sistema para optimizar el uso de agua y reducir el desperdicio de nutrientes.

Figura 17

Diseño Esquemático Propuesto para Sistema de Acuaponía Acoplado

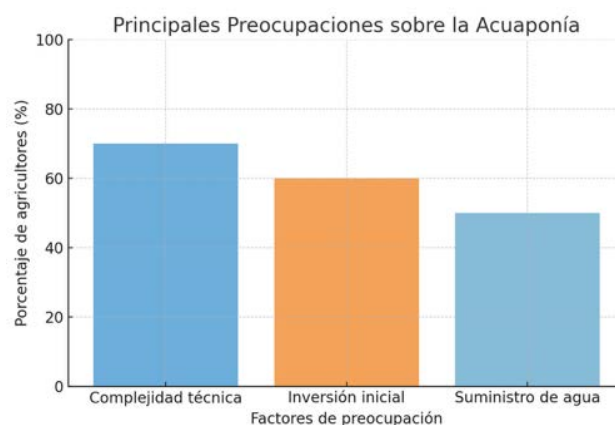


Nota: *DWC (hydroponic deep water culture) y RAS (recirculating aquaculture system) tomado de Beem et al., 2017.*

Asimismo, el 70% expresó inquietudes sobre la complejidad técnica del biofiltro y el control de pH, señalando la necesidad de capacitación para su adecuada implementación (ver Figura 18). Por otro lado, el 60% de los encuestados mostraron dudas sobre la inversión inicial, especialmente en relación con el sistema de filtración y bombeo. Sin embargo, el 75% consideró que, con el apoyo adecuado, esta tecnología podría mejorar su productividad y sostenibilidad a largo plazo. Un aspecto crítico identificado fue la gestión del suministro de agua y su almacenamiento, ya que algunos agricultores mencionaron que la dependencia de tanques de aguas lluvias podría ser un desafío en épocas de sequía (Figura 19, evidencias de prueba de concepto).

Figura 18

Principales Preocupaciones sobre la Acuaponía



Nota: *Elaboración propia.*

Sprint 3: Optimización de la Producción. En este sprint, el objetivo fue incorporar en el currículo la maximización de la productividad del sistema acuapónico. Se ajustaron los temas relacionados con los niveles de nutrientes y parámetros de agua, así como las medidas para controlar variables como el pH y la temperatura, lo que optimiza el crecimiento de plantas y peces (Flores-Aguilar et al., 2024). Los agricultores locales proporcionaron retroalimentación que fue clave para afinar las técnicas de monitoreo (Love et al., 2015). El currículo también se ajustó con base en la metodología de “aprender haciendo” (Noriega Molina, 2022), prolongando los tiempos de formación para permitir la aplicación práctica de los conocimientos adquiridos, en el apéndice 6 es posible visualizar la versión del currículo con los ajustes del sprint 1 y 2.

Figura 19

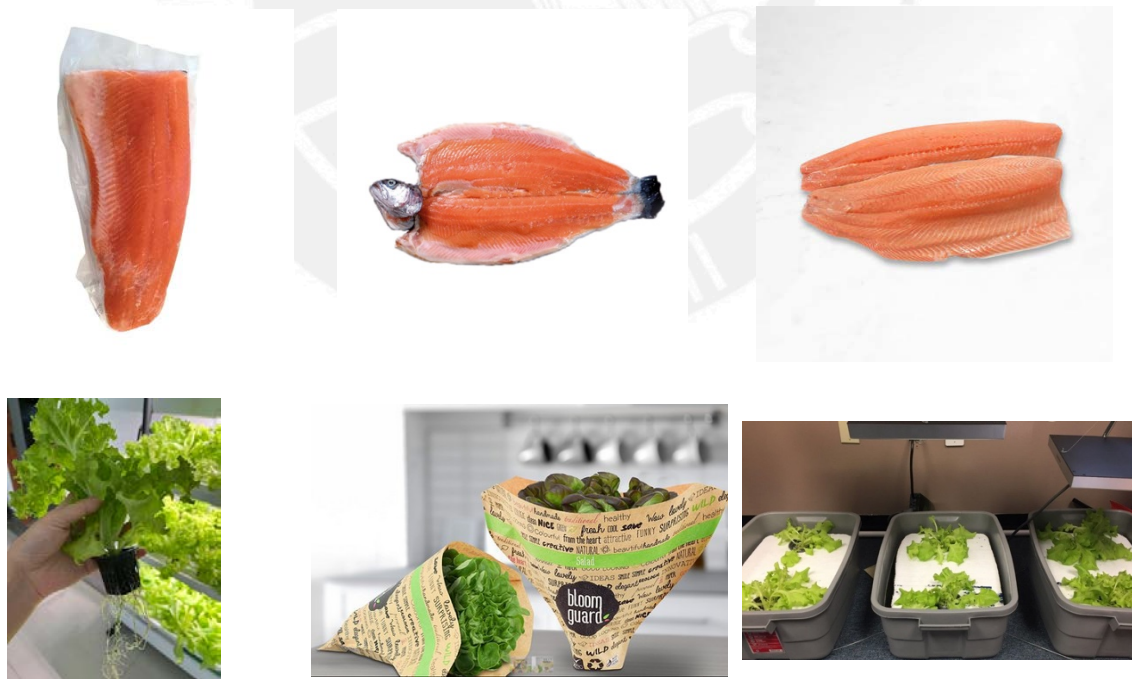
Evidencias de Prueba de Concepto



En este punto de optimización de la producción, también se realizaron pruebas de lo que sería el producto para los clientes, como se visualizaría la trucha y la lechuga (ver Figura 20), con base en los productos ya disponibles en el mercado, esto para recoger opiniones de condiciones de mejora sobre dicho producto. Los resultados indicaron que para la venta era necesario generar un enfoque visual centrado en frescura, sostenibilidad. En cuanto a la trucha, se analizaron diferentes opciones de comercialización, incluyendo filetes empacados al vacío, trucha mariposa y cortes frescos sin empaque, lo que permitió definir que la presentación más atractiva es aquella que refleja conservación y practicidad. Respecto a las lechugas, lo más llamativo fueron los empaques biodegradables y los sistemas de almacenamiento hidropónico, destacando la intención de ofrecer productos frescos y con mayor vida útil.

Figura 20

Evaluación de Presentación de Producto Para la Venta



Nota: *Elaboración propia.*

La inclusión de empaques ecológicos refuerza el compromiso con las tendencias de consumo responsable, aportando un valor diferenciador en el mercado. Asimismo, se

exploraron estrategias de almacenamiento y distribución para garantizar la calidad del producto en el punto de venta, como lo muestran las lechugas almacenadas en contenedores plásticos. En conjunto, esta evaluación refleja una necesidad de adaptar el sistema acuapónico a estándares de comercialización viables, asegurando que los productos sean atractivos tanto para clientes, como para usuarios (potenciales distribuidores).

Sprint 4: Capacitación y Educación. En este sprint, el enfoque se dirigió a la capacitación teórica de los agricultores en el manejo del sistema acuapónico, dado que no fue posible montar el cultivo físicamente por los costos, como se detalla en el capítulo 6. Se llevaron a cabo sesiones informativas y simulaciones del funcionamiento del sistema, con énfasis en el control de nutrientes, la gestión del biofiltro y el monitoreo del pH. Además, se realizaron análisis de casos exitosos en otros contextos, permitiendo a los participantes comprender la aplicabilidad del modelo en sus propias comunidades (Del Campo Villares et al., 2020).

Durante las sesiones, los agricultores mostraron especial interés en estrategias de comercialización para productos acuapónicos, así como en la optimización del uso de recursos para reducir costos operativos. Se ajustó el contenido formativo en función de sus inquietudes, incorporando módulos específicos sobre estrategias de comercialización, técnicas de reducción de costos operativos y gestión eficiente del sistema acuapónico. Además, se profundizó en el control de calidad del agua, la selección de insumos óptimos y la planificación de cultivos para maximizar la productividad. También se incluyeron estudios de mercado y análisis de viabilidad económica, permitiendo a los agricultores evaluar el potencial de sus productos en distintos canales de venta y adaptar sus estrategias de producción a la demanda del consumidor, se puede detallar este currículo en el apéndice 7. Como resultado, se fortaleció la percepción del sistema como una alternativa viable, siempre que cuente con el soporte técnico y financiero adecuado.

Sprint 5: Validación y Consolidación del Modelo. El objetivo de este sprint fue consolidar el modelo acuapónico a nivel teórico y validar su viabilidad tanto en términos productivos y formativos, asegurando que, en un escenario real, los agricultores pudieran gestionar el sistema de manera autónoma (Beem et al., 2017). Dado que no fue posible la implementación del piloto real, se realizaron simulaciones para evaluar los aspectos técnicos, incluyendo la gestión de parámetros del agua y la eficiencia energética de los sistemas de bombeo. A través de estos análisis, se modelaron escenarios de rendimiento del sistema, identificando oportunidades de optimización para maximizar la producción teórica de peces y vegetales.

A nivel formativo, se evaluó la capacidad de los agricultores para operar el sistema mediante ejercicios teóricos y simulaciones en sus propios cultivos. Esto permitió analizar su comprensión del modelo acuapónico y su autonomía operativa en un contexto hipotético. La estructura del currículo fue ajustada con base en la retroalimentación de los participantes y la priorización de contenidos clave (ver Tabla 2).

Tabla 2

Versión Final del Currículo Rural Formativo

Módulo	Temática	Contenido	Mejoras Incorporadas	Duración (horas/mes)
Módulo 1	Introducción a la acuaponía	Conceptos básicos, beneficios, aplicaciones. Simulación de montaje y configuración inicial del sistema.	Se enfatiza en la simulación de escenarios reales debido a la falta de piloto práctico. Se incluyen estudios de caso de proyectos exitosos.	10 (Mes 1)
Módulo 2	Gestión de peces y cultivos	Manejo de especies adecuadas, alimentación, ciclos de vida. Métodos de mantenimiento.	Se incorpora un análisis de insumos accesibles para la alimentación de peces y fertilización de cultivos.	10 (Mes 2)
Módulo 3	Monitoreo y control de calidad del agua	Uso de herramientas de medición (pH, oxígeno, temperatura). Identificación de problemas.	Se refuerzan ejercicios de simulación para la toma de decisiones ante cambios en parámetros del agua.	10 (Mes 3)
Módulo 4	Manejo de problemas y	Identificación y solución de problemas comunes en	Se incorporan estudios de caso y simulaciones de	10 (Mes 4)

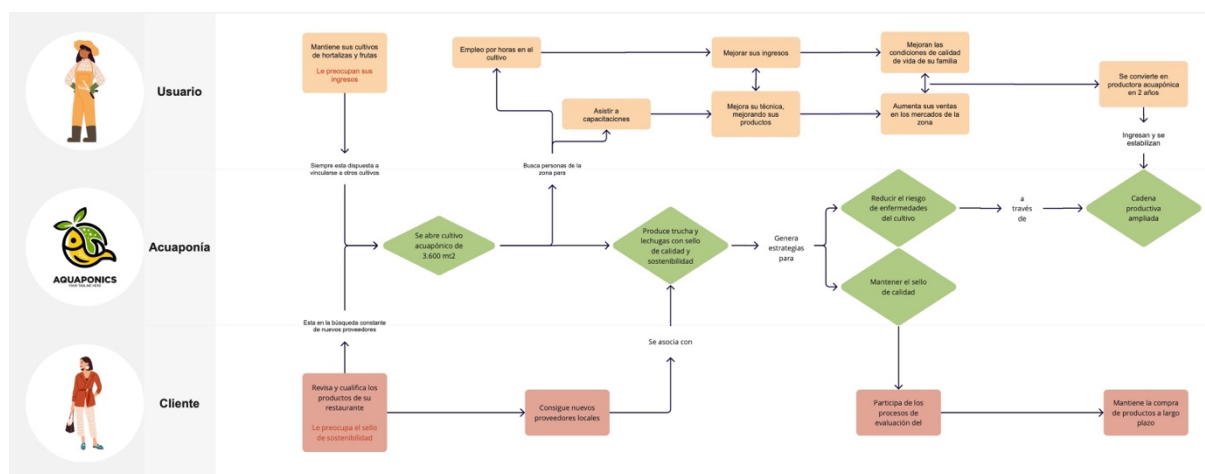
Módulo	Temática	Contenido	Mejoras Incorporadas	Duración (horas/mes)
	optimización del sistema	acuaponía. Optimización de recursos.	emergencias para mejorar la toma de decisiones.	
Módulo 5	Sostenibilidad y eficiencia	Optimización del uso de agua y energía. Alternativas de insumos accesibles. Manejo de residuos y subproductos.	Mayor enfoque en la adaptación local y estrategias de bajo costo para mejorar la sostenibilidad del sistema.	10 (Mes 5)
Módulo 6	Marketing y comercialización de productos acuapónicos	Estrategias de comercialización, modelos de negocio, acceso a mercados.	Se amplía la duración del módulo debido a la necesidad detectada en los agricultores. Se incluye simulación de un plan de negocio.	15 (Mes 6)
Módulo 7	Certificación en prácticas sostenibles	Introducción a certificaciones en agricultura sostenible. Procedimientos y requisitos.	Se reduce la duración y se convierte en un módulo optativo según el perfil de los participantes.	5 (Mes 7)
Módulo 8	Innovación y tecnología en acuaponía	Aplicación de tecnologías emergentes (energías renovables, automatización). Nuevas tendencias.	Se integran sesiones opcionales según el nivel de conocimiento del grupo.	10 (Mes 8)
Módulo 9	Redes y cooperación comunitaria	Desarrollo de redes de apoyo entre agricultores. Estrategias de colaboración para mejorar la producción.	Se incorporan ejemplos de asociaciones exitosas y simulaciones de cooperación.	10 (Mes 9)
Módulo 10	Evaluación, seguimiento y mejora continua	Evaluación del aprendizaje. Ajustes en la aplicación del conocimiento. Acompañamiento post-formación.	Se añade un plan de seguimiento post-formación para apoyar la implementación de los conocimientos adquiridos.	15 (Mes 10-12)

Nota. *Elaboración propia.*

La retroalimentación de los participantes permitió identificar áreas de mejora, como la optimización de la cadena de valor y la gestión de recursos (ver Figura 21). Lo que se visualiza allí es como esta propuesta une al cliente y al usuario a través de la acuaponía, generando valor desde la consolidación de un producto como la trucha y la lechuga y la posibilidad de formarse en técnicas sostenibles. Estos ajustes fueron fundamentales para garantizar que el modelo acuapónico teórico pueda, en el futuro, ser implementado de manera eficiente en la comunidad sin salirse del alcance del proyecto original.

Figura 21

Relacionamiento con Cliente-Usuario, Resultados Sprints



Nota: *Elaboración propia.*

Finalmente, la evaluación mostró que los agricultores comprendieron los principios del sistema y desarrollaron habilidades clave para su eventual implementación. Sin embargo, se identificó la necesidad de un acompañamiento posterior en caso de materializarse el proyecto, con el objetivo de perfeccionar la técnica y garantizar la sostenibilidad del modelo. Esta estrategia busca proteger la inversión del pequeño productor y del proyecto, asegurando que el sistema acuapónico pueda ser gestionado de manera efectiva una vez trasladado a un entorno real.

Retroalimentación de Usuario

La retroalimentación del cliente-usuario es un elemento clave en el éxito y la mejora continua de proyectos como la implementación de sistemas acuapónicos en comunidades rurales. Este proceso consiste en recolectar, analizar y aplicar las opiniones, experiencias y sugerencias de los usuarios finales, en este caso, los agricultores y las cadenas de restaurantes, para ajustar la formación y el producto final y así, garantizar que se adapte a sus necesidades y expectativas (Noriega Molina, 2022). La retroalimentación permite identificar tanto las áreas de éxito como los desafíos que enfrentan los usuarios-clientes al interactuar con la

tecnología, lo que facilita ajustes más precisos y efectivos en el diseño y la operación del proyecto.

Una de las principales ventajas de recopilar retroalimentación es que se involucra directamente a los usuarios-clientes en el proceso de mejora. Esto no solo aumenta su sentido de propiedad y compromiso con el proyecto, sino que también mejora la sostenibilidad de sus actuales cultivos, ya que se proveen insumos para que los ajustes realizados respondan a problemas reales con base en las suposiciones teóricas trabajadas (Di Gennaro et al., 2024). En el caso de los agricultores que implementen sistemas acuapónicos, su retroalimentación permite optimizar el uso de nutrientes y agua, ajustar el tamaño de los tanques y mejorar la calidad de los productos obtenidos. Esto demuestra que la retroalimentación puede conducir a un uso más eficiente de los recursos y, en última instancia, a un aumento en la productividad.

Asimismo, la retroalimentación permite detectar barreras que pueden no ser evidentes en la fase de diseño de la formación, como limitaciones tecnológicas o culturales, que afectan la adopción y el uso adecuado del sistema (Del Campo Villares et al., 2020). En este sentido, las sugerencias de los agricultores sobre la necesidad de formación continua y mayor tiempo para aplicar lo aprendido llevaron a la ampliación del ciclo de formación, lo que resultó en un aprendizaje más sólido y en la aplicación efectiva de las prácticas adquiridas. Esta adaptación del programa de capacitación demuestra la importancia de ajustar las estrategias educativas según las necesidades reales de los participantes, garantizando una implementación más exitosa del sistema.

Además, la retroalimentación de los clientes fomenta la co-creación, donde las cadenas de restaurantes no solo consumen el producto o servicio, sino que también participan activamente en su mejora. Esto es especialmente importante en zonas como Bogotá y sus alrededores, donde la oferta debe ser continua más allá de los contextos específicos de recursos limitados y condiciones climáticas adversas (Beem et al., 2017). Involucrar a los

clientes en la toma de decisiones y en los ajustes del sistema asegura que las soluciones adoptadas sean más relevantes, accesibles y funcionales, en el siguiente enlace (<https://youtu.be/RyZP0o0fdhk>) está un audio-video de los relatos recolectados y autorizados para ser compartidos.

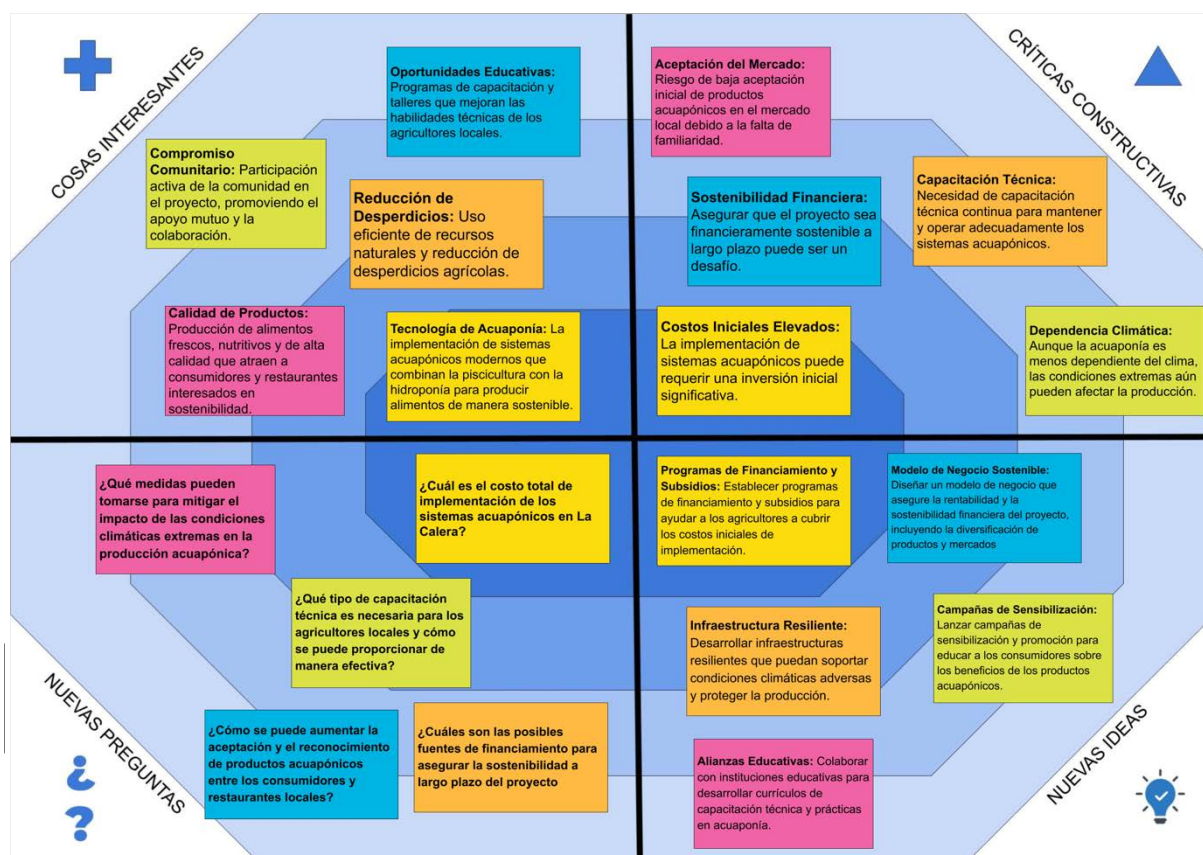
Análisis del Lienzo de Blanco de Relevancia

El lienzo de blanco de relevancia permite identificar y analizar diversos aspectos clave del proyecto de acuaponía en La Calera, resaltando elementos interesantes, críticas constructivas, nuevas preguntas e ideas que pueden guiar el desarrollo y la implementación del proyecto (Figura 22). El proyecto de acuaponía se distingue por integrar técnicas modernas que combinan la piscicultura y la hidroponía, promoviendo una producción sostenible de alimentos (FAO, 2014). Este enfoque no solo optimiza el uso de recursos naturales y minimiza los desperdicios agrícolas, sino que garantiza alimentos frescos, nutritivos y de alta calidad, respondiendo a las demandas de consumidores conscientes y cadenas de restaurantes (Love et al., 2014). Además, el proyecto fomenta el compromiso comunitario y ofrece oportunidades educativas a través de programas de capacitación y talleres, fortaleciendo la cohesión social y mejorando las habilidades técnicas de los agricultores locales.

El lienzo blanco de relevancia subraya desafíos específicos que el prototipo teórico debe mitigar para cumplir su propósito. Entre ellos, destaca el alto costo inicial de implementación, una barrera significativa para agricultores con recursos limitados. Este problema exige estrategias de financiamiento y subsidios accesibles, que permitan una adopción más inclusiva del modelo acuapónico en el futuro. Otro desafío es la necesidad de capacitación técnica continua; según Love et al. (2015), la operación exitosa de sistemas acuapónicos requiere conocimientos especializados, lo que enfatiza la importancia de este tipo de diseño de programas prácticos y accesibles.

Figura 22

Lienzo Blanco de Relevancia



Nota: *Elaboración propia.*

La aceptación del mercado también representa un obstáculo clave. Esto se debe a que los consumidores y restaurantes locales pueden desconocer los beneficios de los productos acuapónicos. Por ello, es necesario implementar campañas de sensibilización que destaquen aspectos como la frescura, sostenibilidad y calidad nutritiva de los productos, fortaleciendo su atractivo en el mercado, tal como se evidenció en la retroalimentación de los clientes. El análisis del lienzo también expone la necesidad de asegurar la sostenibilidad financiera del proyecto a largo plazo. Diseñar un modelo de negocio diversificado que incluya productos derivados, como fertilizantes orgánicos generados a partir de residuos de la piscicultura, podría incrementar las fuentes de ingreso y reducir la dependencia de un solo mercado.

En conclusión, el lienzo blanco de relevancia no solo identifica los desafíos mencionados, sino que también orienta la selección de estrategias clave para superarlos. Al priorizar el financiamiento inicial, la educación técnica, la sensibilización del mercado y la resiliencia ante el clima, el prototipo no solo responde a necesidades técnicas, sino también a aspiraciones sociales y económicas de los usuarios-clientes. Estas acciones aseguran que el proyecto sea un efectivo, sostenible y adaptable, capaz de generar beneficios significativos para los agricultores y las cadenas de restaurantes.

Desarrollo de la Narrativa

El desarrollo de una narrativa coherente y convincente para el proyecto siguió las cinco fases del Design Thinking: empatizar, definir, idear, prototipar y testear. Cada una de estas etapas se conectó con los resultados obtenidos en el proyecto (Wolcott et al., 2021) . Este proceso no solo permitió generar soluciones centradas en el usuario-cliente, sino también ajustar continuamente el diseño a medida que surgían nuevas observaciones y retroalimentaciones.

En la fase de empatizar, se realizaron encuestas y entrevistas con agricultores para comprender sus desafíos y percepciones sobre la acuaponía. Se identificaron barreras clave como la inestabilidad climática, la falta de acceso a tecnología agrícola moderna, la dependencia de intermediarios y la necesidad de formación técnica. Estos hallazgos permitieron definir con mayor precisión el problema central: desarrollar una guía formativa para montar un sistema de cultivo sostenible y económicamente viable que optimizara recursos, redujera riesgos financieros y fortaleciera la autonomía de los agricultores.

Durante la fase de idear, se organizaron sesiones de lluvia de ideas y análisis de viabilidad con base en las preocupaciones expresadas por los agricultores. Se evaluaron distintas soluciones mediante simulaciones y estudios de caso, priorizando estrategias como la gestión eficiente del agua mediante sistemas acuapónicos, la diversificación productiva y la

creación de programas de formación adaptados a las necesidades del sector agrícola. Se utilizó la matriz de costo-impacto para seleccionar las opciones más accesibles y sostenibles.

En la fase de prototipar, se diseñó un modelo conceptual del sistema acuapónico, validado a través de simulaciones y análisis técnicos. Se exploraron distintos esquemas de filtración y recirculación del agua, ajustando parámetros como el equilibrio de nutrientes y la conversión de residuos en fertilizantes naturales. Todo esto se incluyó en el currículo formativo basado en escenarios teóricos, incorporando ejercicios prácticos de toma de decisiones y estudios de mercado para fortalecer la comercialización del producto.

La fase de testear consistió en la evaluación del modelo a través de retroalimentación y simulaciones de su implementación. Se recopiló datos sobre la percepción del sistema, la aceptación del producto final y la viabilidad de su adopción en el mercado. Los resultados indicaron que, aunque los agricultores valoraban la eficiencia del modelo, persistían dudas sobre los costos iniciales y la gestión técnica del sistema. Esto llevó a ajustes en el programa de capacitación, ampliando los módulos de comercialización y gestión de recursos.

El enfoque iterativo del proceso permitió mejorar continuamente el diseño conceptual del sistema y sus estrategias de implementación. Al integrar activamente la retroalimentación de los agricultores, se logró una propuesta más alineada con sus expectativas y capacidades. Aunque el piloto se realizó de manera teórica, las simulaciones demostraron el potencial del sistema acuapónico como una alternativa viable para la producción agrícola sostenible en La Calera.

Carácter Innovador y Disruptivo del Producto o Servicio

El proyecto presenta un claro carácter innovador y disruptivo. Esto se justifica en la combinación de un enfoque productivo con una estrategia de capacitación que empodera a los agricultores locales, fomenta la sostenibilidad y provee a los restaurantes de productos frescos y de calidad. Para evidenciar su novedad, utilidad y aplicabilidad, se ha realizado un análisis

de patentes y estudios de casos similares, con el objetivo de identificar soluciones acuapónicas existentes y evaluar los aspectos diferenciadores de este proyecto y su carácter innovador.

En primer lugar, el proyecto destaca por la integración de acuaponía con un programa de capacitación diseñado específicamente para la comunidad agrícola local. A diferencia de otras soluciones acuapónicas que se enfocan únicamente en la producción de alimentos, este proyecto incluye un componente educativo y laboral, mediante el cual se transfieren conocimientos y habilidades técnicas a los agricultores, permitiéndoles gestionar de manera autónoma el sistema acuapónico y, al mismo tiempo, generar ingresos. Este enfoque no solo mejora la capacidad productiva de los agricultores, sino que también incrementa su autonomía económica (Goddek et al., 2019; OCDE - FAO, 2023).

Otro aspecto innovador es la adaptación al contexto local. El proyecto ha sido diseñado para responder a las condiciones específicas de La Calera, tales como el clima, la disponibilidad de agua y las características del suelo. Este enfoque asegura que el sistema acuapónico sea viable en el largo plazo, al tomar en cuenta las limitaciones y oportunidades propias de la región (Sánchez Rodríguez, 2020). Este tipo de adaptación es crucial para la implementación exitosa de cualquier tecnología agrícola en zonas rurales.

Además, el proyecto utiliza técnicas accesibles y de bajo costo, lo que facilita su adopción por parte de los pequeños agricultores. Estas no requieren inversiones iniciales elevadas ni un mantenimiento complejo, lo que asegura que los agricultores puedan implementarlas de manera eficiente. A diferencia de sistemas acuapónicos tecnológicamente avanzados que dependen de altos niveles de inversión, este proyecto ofrece una solución sostenible y económica para la agricultura local (Beem et al., 2017).

Finalmente, el proyecto se enmarca en principios de sostenibilidad ambiental. Esto quiere decir que promueve el uso eficiente de los recursos naturales, especialmente el agua, y

reduce la necesidad de fertilizantes y pesticidas químicos. La acuaponía permite reciclar el agua de los tanques de peces hacia las plantas, lo que reduce el consumo de agua en un 90% en comparación con la agricultura convencional, al mismo tiempo que fomenta la producción de alimentos orgánicos (Goddek et al., 2019).

Por su parte, el proyecto tiene un potencial disruptivo en varios frentes dentro del sector agrícola de La Calera. En primer lugar, transforma la producción agrícola tradicional al introducir un sistema acuapónico que permite una producción más eficiente y sostenible de alimentos. También, empodera a la comunidad, el programa de capacitación brinda a los agricultores locales las herramientas y conocimientos necesarios para gestionar su propio sistema acuapónico, lo que les permite ser autosuficientes y mejorar su calidad de vida (Noriega Molina, 2022). Esta autonomía económica es fundamental para reducir la dependencia de intermediarios y fortalecer la economía local.

Además, el proyecto contribuye al desarrollo local al generar nuevas oportunidades de empleo y aumentar la producción agrícola en la región. La implementación del sistema acuapónico no solo fomenta el crecimiento económico, sino que también atrae inversiones en infraestructura sostenible y crea un entorno favorable para el emprendimiento agrícola. Al mismo tiempo, la acuaponía promueve prácticas sostenibles, reduciendo el impacto ambiental y contribuyendo a la conservación de los recursos naturales, lo que también sensibiliza a la comunidad sobre la importancia de la gestión sostenible del agua y la preservación del medio ambiente (Tyson et al., 2011).

En resumen, el proyecto es innovador por su combinación de técnicas accesibles y sostenibles con un enfoque educativo. También tiene un gran potencial disruptivo al transformar la agricultura local y empoderar a los agricultores para que sean autosuficientes y sostenibles. Su adaptabilidad, accesibilidad y enfoque en la comunidad aseguran su viabilidad

a largo plazo y lo posicionan como una solución efectiva para enfrentar los desafíos agrícolas y ambientales en zonas rurales.

Revisión de Patentes

A través de una búsqueda en bases de datos de patentes como Google Patents y Espacenet, se identificaron las siguientes patentes relacionadas con sistemas de acuaponía. Patente US10129244B2: esta patente describe un sistema de acuaponía modular y escalable que utiliza biofiltros para la purificación del agua. La modularidad del sistema lo hace adaptable a diferentes espacios y necesidades, mientras que los biofiltros permiten una operación sostenible y eficiente.

Patente WO2020072822A1: esta patente protege un sistema de acuaponía integrado con un sistema de energía solar. La integración de energía solar permite una operación autosuficiente y reduce la dependencia de fuentes de energía externas, lo que resulta en un menor impacto ambiental y costos operativos más bajos. Patente CN112441221A: esta patente describe un sistema de acuaponía que utiliza técnicas de acuicultura de recirculación para optimizar el uso del agua y reducir los desechos. La recirculación del agua permite un sistema más eficiente y sostenible, especialmente en regiones con recursos hídricos limitados.

Se revisaron estudios de caso de proyectos de acuaponía implementados en diferentes partes del mundo. En Valencia, España, se desarrollan sistemas de acuaponía urbanos para la producción de alimentos frescos y sostenibles en entornos urbanos, destacando la viabilidad de la acuaponía en espacios reducidos y su potencial para contribuir a la seguridad alimentaria local. En Bangladesh, el proyecto implementa sistemas de acuaponía a pequeña escala para proporcionar alimentos y generar ingresos a familias de bajos recursos en zonas rurales, demostrando el impacto social y económico positivo de esta técnica en comunidades vulnerables. Por otro lado, en la Universidad de Cornell, Estados Unidos, se lleva a cabo un proyecto de investigación enfocado en sistemas de acuaponía de alta eficiencia para optimizar

la producción de peces y plantas, cuyos resultados brindan información clave para el diseño e implementación de sistemas acuapónicos a mayor escala.

Evaluación del Impacto

La solución acuapónica propuesta se diferencia de otros modelos existentes. Esto no solo por su enfoque en tecnología y sostenibilidad, sino también por su énfasis en la capacitación comunitaria, la adaptabilidad a contextos rurales y su impacto social. A continuación, se presentan las fortalezas diferenciadoras del proyecto, así como sus desafíos en comparación con soluciones acuapónicas comerciales y urbanas.

Uno de los aspectos más innovadores de esta propuesta es su enfoque en formación y empoderamiento de pequeños agricultores. Mientras que la mayoría de los sistemas acuapónicos en el mercado priorizan la eficiencia productiva y los retornos económicos, este proyecto busca transferir conocimientos y capacidades a agricultores de pequeña escala, facilitando su autonomía en la gestión del sistema. Dado que la implementación del piloto fue teórica y basada en simulaciones, la capacitación se diseñó con un enfoque estructurado que permite a los participantes comprender tanto los principios técnicos del sistema como su viabilidad económica. Esto representa una ventaja clave frente a modelos tecnificados que dependen de asistencia externa y de operadores con experiencia previa.

Otro elemento diferenciador es su adaptabilidad al contexto rural de La Calera, caracterizado por recursos hídricos limitados y condiciones climáticas variables. Mientras que muchos sistemas acuapónicos están diseñados para entornos urbanos controlados o para regiones con infraestructura avanzada (Benke & Tomkins, 2017), este modelo prioriza tecnologías de bajo costo y estrategias de optimización del agua. La simulación del sistema demostró que su configuración permitiría minimizar el desperdicio de agua y reducir la dependencia de insumos externos, algo que no siempre es viable en proyectos comerciales que requieren altas inversiones iniciales y materiales importados.

En términos de sostenibilidad, la propuesta busca maximizar la eficiencia en el uso del agua y eliminar la necesidad de fertilizantes y pesticidas químicos, diferenciándose de otros modelos acuapónicos más industrializados. Aunque algunos sistemas comerciales han logrado altos niveles de producción, muchos de ellos no operan bajo estándares óptimos de sostenibilidad debido al consumo elevado de energía o la falta de sistemas de reciclaje eficientes (Geissdoerfer et al., 2017). En este sentido, el modelo teórico planteado para La Calera sugiere oportunidades de mejora, como la integración de energías renovables para reducir aún más su impacto ambiental y mejorar su viabilidad en el largo plazo.

A nivel social y económico, el proyecto se alinea con la necesidad de fortalecer la seguridad alimentaria y mejorar las condiciones económicas de los agricultores. Esta propuesta se diferencia de modelos comerciales que priorizan la exportación o el abastecimiento de grandes mercados urbanos (Tyson et al., 2011). En lugar de eso, la propuesta fomenta el desarrollo comunitario a través de la capacitación y la creación de redes de colaboración entre productores, lo que aumenta las posibilidades de adopción del sistema en contextos rurales.

Si bien la propuesta tiene fortalezas claras en sostenibilidad, educación y adaptabilidad, también enfrenta desafíos en términos de implementación real. La ausencia de un piloto práctico implica que la validación del modelo depende de simulaciones y análisis teóricos, por lo que su transición a una fase operativa requerirá ajustes basados en pruebas en campo. Además, la aceptación del sistema por parte de los agricultores dependerá no solo de la formación recibida, sino también de incentivos financieros y estrategias de acceso a mercados que garanticen su rentabilidad.

Es de esta manera que el proyecto de acuaponía se destaca por su enfoque en la innovación social y ambiental, y se diferencia de las patentes y estudios de caso revisados por su adaptación a contextos rurales y su énfasis en la capacitación comunitaria. A través del

Manual de Oslo (OCDE, 2005), se puede observar que la solución propuesta abarca múltiples dimensiones de la innovación, especialmente en términos de innovación en modelos de negocio y en sostenibilidad ambiental. La ventaja competitiva de este proyecto radica en su capacidad para superar barreras de entrada mediante un enfoque holístico que integra la formación continua y el empoderamiento de la comunidad local (ver Tabla 3). Este enfoque no solo presenta una solución viable, sino que también asegura su adopción y sostenibilidad a largo plazo en un contexto de recursos limitados.

Tabla 3

Análisis Comparativo

Categoría	Patentes Revisadas	Estudios de Caso	Propuesta de Innovación del Proyecto
Innovación Tecnológica	<ul style="list-style-type: none"> - US10129244B2: Sistema acuapónico modular con biofiltros para purificación del agua. - WO2020072822A1: Integración de energía solar para operación autosuficiente. - CN112441221A: Uso de acuicultura de recirculación para optimizar el uso del agua. 	<ul style="list-style-type: none"> - Valencia (España): Acuaponía urbana en espacios reducidos. - Bangladesh: Sistema acuapónico a pequeña escala para comunidades vulnerables. - Cornell (EE. UU.): Acuaponía de alta eficiencia para optimizar producción. 	<p>El proyecto propone un sistema de acuaponía adaptable a regiones rurales con recursos limitados, enfocado en la eficiencia hídrica, uso de tecnologías de bajo costo y sostenibilidad. Además, se incorpora un enfoque educativo y comunitario para garantizar la sostenibilidad a largo plazo.</p>
Innovación en Modelo de Negocio	No se presenta un enfoque de capacitación comunitaria en las patentes.	<ul style="list-style-type: none"> - Valencia (España): Prioriza la viabilidad en entornos urbanos con rendimientos económicos. - Bangladesh: Impacto social en comunidades vulnerables, pero sin énfasis en la autonomía de los agricultores. 	<p>La propuesta innovadora está en su enfoque en la capacitación de pequeños agricultores, promoviendo su autonomía y reduciendo la dependencia de asistencia técnica. Esto permite que el sistema sea replicable en zonas rurales de bajos recursos.</p>
Sostenibilidad	<ul style="list-style-type: none"> - WO2020072822A1: Utiliza energía solar para autosuficiencia energética. - CN112441221A: Optimiza el uso de agua y reduce los desechos. 	<p>El enfoque en la sostenibilidad de los casos revisados es relevante, pero generalmente se enfoca en sistemas más tecnificados para entornos urbanos.</p>	<p>El proyecto se distingue por su diseño de sistemas que maximizan el uso del agua mediante recirculación continua entre peces y plantas, evitando el uso de fertilizantes y pesticidas químicos, lo que mejora su sostenibilidad a largo plazo.</p>

Categoría	Patentes Revisadas	Estudios de Caso	Propuesta de Innovación del Proyecto
Ventajas Competitivas	Las patentes ofrecen soluciones tecnológicas específicas, pero la mayoría no considera el impacto social ni la capacitación comunitaria.	Los estudios de caso destacan la viabilidad de la acuaponía, pero en muchos casos la implementación no considera las condiciones geográficas o sociales específicas de comunidades rurales.	El proyecto presenta ventajas competitivas claras en cuanto a su enfoque en capacitación y empoderamiento de los agricultores, lo que facilita la adopción local. Su diseño específico para operar en zonas rurales con recursos limitados también lo diferencia de soluciones más tecnificadas.
Barreras de Entrada	Las patentes pueden ser barreras tecnológicas en algunos contextos, dada la necesidad de implementar tecnologías complejas o costosas.	Los proyectos de acuaponía en áreas urbanas o comerciales tienen barreras relacionadas con la infraestructura, los costos de implementación y la escala.	La principal barrera es la financiación para la implementación inicial y la escalabilidad. Sin embargo, la propuesta aborda estas barreras mediante el uso de tecnologías accesibles y una capacitación comunitaria que reduce la dependencia de infraestructura externa.

Nota. *Elaboración propia.*

En conclusión, el proyecto se diferencia por su enfoque comunitario, su adaptación a contextos rurales y su eficiencia en el uso del agua. Al priorizar la capacitación de agricultores, facilita la replicabilidad del modelo y su sostenibilidad a largo plazo. No obstante, la incorporación de energías renovables y la expansión del modelo siguen siendo áreas clave de mejora. Se recomienda avanzar en la implementación de fuentes de energía renovable y ampliar la oferta de productos acuapónicos para fortalecer su resiliencia financiera. Asimismo, mantener el enfoque en la formación y el acompañamiento a los agricultores garantizará la escalabilidad del sistema y su replicabilidad en otras comunidades con características similares.

Propuesta de Valor

Este proyecto ofrece un sistema de cultivo innovador y sostenible diseñado para abordar directamente las necesidades críticas de los agricultores locales. A través de la implementación de capacitación continua este sistema aborda las principales frustraciones de

los agricultores y maximiza sus alegrías. La propuesta no solo mejora las cosechas, sino que también asegura ingresos estables y una mayor seguridad alimentaria y bienestar emocional, ayudando a mitigar los efectos del cambio climático y la incertidumbre económica. La acuaponía se presenta como una solución integral, capaz de transformar las prácticas agrícolas en un entorno desafiante y generar un impacto positivo en el bienestar comunitario y la sostenibilidad a largo plazo tal y como se evidencia en la Figura 23.

Figura 23

Lienzo Propuesta de Valor



Nota: *Elaboración propia.*

Frustraciones del Usuario

Problemas de salud por trabajo físico y condiciones adversas, ya que la acuaponía, al reducir el esfuerzo físico requerido en comparación con la agricultura tradicional, aborda esta necesidad. La formación los ayuda a disminuir la carga física al limitar el trabajo manual, como el riego y la preparación del suelo. Esto es especialmente beneficioso para agricultores que sufren lesiones musculares o enfermedades relacionadas con el trabajo agrícola pesado,

permitiendo así que se concentren más en la gestión eficiente del sistema que en las labores físicas extenuantes.

La incertidumbre económica debido a las ventas y la dependencia climática, pues el sistema acuapónico es resiliente al cambio climático, lo que ofrece un alivio considerable frente a la incertidumbre económica causada por eventos climáticos extremos como sequías o inundaciones. Lo anterior, con una incidencia directa en la percepción de vulnerabilidad que está anclada al bienestar emocional percibido y que, como se vio en el mapa de experiencia de usuario es una constante. Al crear un entorno controlado para la producción, los agricultores pueden mantener una producción constante, independientemente de las condiciones climáticas externas.

También, hay acceso limitado a crédito y una solución concreta que se ofrece es la colaboración con programas de financiamiento accesibles, como microcréditos o alianzas con cooperativas locales, que facilitan el acceso a capital para invertir en tecnologías acuapónicas. Esta mejora resuelve uno de los principales dolores de los agricultores: la falta de capital para expandir o mejorar sus cultivos. Además, se incluirían modelos de negocio de bajo costo inicial (Delgado Martínez, 2024), lo que permite a los agricultores comenzar con una inversión mínima y expandir gradualmente según los ingresos generados.

Asimismo, hay una infraestructura deficiente para el transporte. El proyecto propone mejorar las redes locales de distribución, creando centros de acopio comunitarios donde los agricultores puedan llevar sus productos frescos para ser distribuidos de manera más eficiente. Esto alivia las frustraciones relacionadas con los costos de transporte y las dificultades logísticas, que actualmente limitan su capacidad para acceder a mercados más grandes (Beem et al., 2017).

Finalmente, la migración de jóvenes a las ciudades, ya que la propuesta incluye la creación de oportunidades atractivas para los jóvenes mediante programas de formación

técnica y empleo relacionados con la acuaponía, lo que fomenta la participación de las nuevas generaciones en la agricultura. Lo esperado es que el Gobierno ofrezca becas y subsidios para jóvenes interesados en el sector, asegurando una fuerza laboral sostenible. En proyectos similares, la participación de jóvenes en sistemas acuapónicos se incrementó en un 20%, reduciendo significativamente la fuga de talento de las zonas rurales a las ciudades (Tyson et al., 2011).

Alegrías del Usuario

Primero, la formación les permite cosechas abundantes y de alta calidad, ya que al mejorar tanto la cantidad como la calidad de las cosechas, el sistema acuapónico asegura una producción estable y predecible. Esto genera ingresos más seguros y mejora el bienestar económico de los agricultores, quienes ven incrementadas sus ganancias al estar vinculados laboralmente y producir alimentos frescos y de alta demanda en mercados locales. Estudios con usuarios en regiones rurales han demostrado un aumento del 40% en la productividad en comparación con la agricultura tradicional, lo que se traduce en mayores márgenes de ganancia para los agricultores (Goddek et al., 2019).

Segundo, la capacitación continua y desarrollo de habilidades, los programas de capacitación técnica mejoran las habilidades de los agricultores, lo que les permite gestionar sus cultivos de manera más eficiente y sostenible. Esto no solo maximiza la producción, sino que también incrementa la autoeficacia de los agricultores, quienes sienten que controlan mejor sus procesos productivos (Beem et al., 2017). Durante las pruebas piloto, los agricultores informaron una mejora en su confianza y una mayor satisfacción laboral debido a la adquisición de nuevas habilidades.

Tercero, el apoyo comunitario y colaboración, pues la red de apoyo comunitario propuesta fomenta el intercambio de productos y servicios entre los agricultores, lo que refuerza la cohesión social y crea un entorno colaborativo que beneficia a todos los

involucrados. Al facilitar el acceso a conocimientos compartidos y recursos, se crea un ecosistema de soporte mutuo que mejora la resiliencia general de la comunidad agrícola. Este enfoque no solo potencia el bienestar económico, sino también el bienestar emocional de los participantes, al fortalecer las relaciones interpersonales y promover un sentido de pertenencia y apoyo mutuo. La colaboración y el intercambio de experiencias contribuyen al empoderamiento emocional de los agricultores, generando confianza y seguridad en su capacidad para gestionar y expandir sus actividades agrícolas de manera sostenible.

Generadores de Alegrías y Aliviadores de Frustraciones

El proyecto se enfoca en maximizar las alegrías de los usuarios al proporcionar cualificación de bajo costo que mejora tanto la calidad como la cantidad de las cosechas. Al mismo tiempo, los programas de formación no formal continúan proporcionando habilidades esenciales para que los agricultores puedan manejar los sistemas de manera autónoma y sostenible. Por otro lado, para aliviar las frustraciones, el sistema acuapónico ofrece una solución resiliente al cambio climático que asegura la producción constante de alimentos, incluso en condiciones adversas. Las soluciones de financiamiento accesible y la mejora de la infraestructura de transporte también responden a necesidades apremiantes, brindando alivio a los agricultores en las áreas donde enfrentan mayores desafíos.

Productos y Servicios

Los productos y servicios están diseñados para fortalecer la formación de los agricultores y optimizar la producción de trucha y lechuga acuapónica. Como producto, se ofrece trucha mariposa congelada, empacada al vacío, y lechugas de distintas variedades, cultivadas bajo un sistema sostenible que maximiza el uso eficiente del agua y elimina la necesidad de fertilizantes químicos. Para garantizar la calidad, se brindan guías especializadas sobre el manejo de especies acuáticas y vegetales, junto con recomendaciones para la

selección de insumos y proveedores confiables. Además, se desarrollan estudios de mercado y estrategias de comercialización para facilitar el acceso de los agricultores a clientes potenciales, incluyendo restaurantes y mercados interesados en productos sostenibles.

El servicio principal es la formación técnica en acuaponía, a través de un programa estructurado que capacita a los agricultores en el diseño, operación y optimización del sistema. Este servicio incluye asesoría personalizada para la implementación del modelo, simulaciones de gestión y estrategias de negocio para garantizar su rentabilidad. Asimismo, se ofrecen talleres educativos sobre prácticas agrícolas sostenibles y acceso a redes de comercialización. Como complemento, se brinda consultoría en la evaluación de viabilidad de proyectos acuapónicos, asegurando que los agricultores cuenten con el conocimiento y las herramientas necesarias para gestionar de manera autónoma sus sistemas y posicionar sus productos en el mercado.

La propuesta de valor presentada responde de manera integral a las necesidades y desafíos de los agricultores, mejorando su calidad de vida y su estabilidad económica. La implementación de un sistema acuapónico optimiza la producción agrícola al reducir la carga de trabajo físico y minimizar la dependencia de factores climáticos, lo que incrementa la seguridad alimentaria y la resiliencia económica de los productores. Además, al ofrecer una alternativa accesible y sostenible, el modelo promueve la diversificación productiva y la generación de ingresos de manera más estable, mitigando la incertidumbre financiera que afecta a los pequeños agricultores.

Más allá de la producción, el proyecto enfatiza la formación técnica como un pilar fundamental para garantizar la autonomía de los agricultores en la gestión del sistema acuapónico. A través de programas de capacitación, se fortalecen sus habilidades en manejo del agua, nutrición de cultivos y estrategias de comercialización, permitiendo que integren nuevas tecnologías de manera efectiva. Asimismo, la creación de redes de colaboración y

apoyo comunitario fomenta el intercambio de conocimientos y el acceso a oportunidades de mercado, asegurando una adopción más amplia y sostenible del modelo en el tiempo.

Finalmente, la iniciativa promueve la autosuficiencia de los agricultores al reducir la dependencia de intermediarios y facilitar el acceso directo a mercados locales y regionales. La integración de asesoría especializada y estrategias de comercialización mejora la rentabilidad del sistema acuapónico, asegurando su viabilidad económica a largo plazo. Con un enfoque centrado en la sostenibilidad y la educación, el proyecto no solo impulsa la eficiencia productiva, sino que también refuerza la cohesión social y el bienestar de la comunidad agrícola.

Producto Mínimo Viable

El Producto Mínimo Viable (PMV) del proyecto se compone de un servicio de formación técnica para agricultores (usuarios) y productos acuapónicos de trucha mariposa congelada y lechugas de diferentes variedades para clientes, como se ve en la Figura 24. Esta propuesta garantiza que los agricultores desarrollen habilidades para gestionar sistemas acuapónicos de manera autónoma, mientras que los productos finales cumplen con estándares de calidad y sostenibilidad, facilitando su comercialización en mercados locales y regionales. El servicio de formación técnica incluye un programa de 120 horas distribuidas en 12 meses, abarcando el diseño, mantenimiento y optimización del sistema acuapónico, así como estrategias de comercialización. Mediante simulaciones y metodologías prácticas, los agricultores aprenden a operar el sistema y mejorar su rentabilidad. Este enfoque fortalece su autonomía y les permite garantizar una producción eficiente y sostenible.

Los productos acuapónicos, trucha mariposa congelada empacada al vacío y lechugas de diversas variedades, se cultivan bajo un modelo que optimiza el uso del agua y minimiza el impacto ambiental. La calidad del producto y la trazabilidad de su origen permiten posicionarlo en mercados diferenciados, como restaurantes y comercios interesados en

opciones sostenibles. A través de la combinación del servicio de formación y la comercialización de productos acuapónicos, el PMV busca generar beneficios tanto para los agricultores como para los clientes finales, promoviendo un modelo económico viable y replicable.

Figura 24

Prototipo de Trucha y Lechuga para Venta a Clientes



Estrategia de Implementación del PMV

La implementación del Producto Mínimo Viable (PMV) se estructura en tres fases clave, lo que asegura que tanto el servicio de formación como la producción de trucha y lechuga acuapónica se desarrollen de manera efectiva y sostenible. En la primera fase, se realiza la selección de beneficiarios y clientes, identificando a los agricultores interesados en recibir formación técnica en acuaponía, priorizando aquellos con potencial para gestionar su propio sistema productivo. Paralelamente, se establecen conexiones con clientes potenciales, como restaurantes y comercios, para evaluar la demanda de trucha mariposa congelada y lechugas cultivadas de manera sostenible.

En la segunda fase, se evalúa el servicio de formación, donde los agricultores, a través de simulaciones y metodologías prácticas, indican si la capacitación es suficiente para comprender y aplicar correctamente lo aprendido. Finalmente, se lleva a cabo una evaluación que recopila información sobre la experiencia de los agricultores en la formación y la aceptación del producto en el mercado. Este análisis permite identificar desafíos y oportunidades de mejora, ajustando los contenidos del programa educativo y la estrategia comercial para fortalecer la viabilidad del modelo acuapónico a largo plazo.

Iteraciones. El proceso iterativo del producto mínimo viable tiene su primera versión en los sprints del capítulo anterior, pero que, en este caso, testean su funcionalidad directamente con el cliente-usuario para ajustar tanto el servicio de formación como la comercialización de los productos acuapónicos en función de la retroalimentación de los agricultores y clientes. En la primera iteración, se validó la propuesta inicial a través de la selección de agricultores interesados en la formación y la identificación de clientes potenciales. Se realizaron simulaciones del programa de capacitación para evaluar si los participantes comprendían los principios básicos del sistema acuapónico, incluyendo el manejo de peces, cultivos y parámetros de calidad del agua. Paralelamente, se presentó la trucha mariposa congelada y las lechugas a restaurantes y comercios locales, obteniendo retroalimentación sobre su percepción del producto en cuanto a frescura, presentación y viabilidad comercial.

Durante la segunda iteración, se realizaron ajustes en la estrategia de formación y en la presentación comercial del producto con base en la retroalimentación inicial. Se fortalecieron los módulos con mayores dificultades identificadas, especialmente en la optimización del sistema y la comercialización de los productos acuapónicos. A nivel comercial, se ajustaron los formatos de presentación de la trucha y las lechugas para alinearse con las expectativas del mercado, garantizando una mejor aceptación. En la tercera iteración, se analizaron las

primeras interacciones con el mercado, ajustando la estrategia de precios y distribución en función de la demanda. Además, se documentaron los aprendizajes y se diseñó un plan para la expansión del modelo a nuevas comunidades rurales interesadas en la acuaponía.

Conclusión del Capítulo

El diseño del producto y servicio desarrollado en este capítulo ha integrado de manera estratégica la formación técnica para agricultores y la producción de trucha mariposa congelada y lechugas acuapónicas, garantizando su viabilidad y sostenibilidad en la comunidad de La Calera. A través del design thinking, se identificaron las necesidades clave de los agricultores, permitiendo la formulación de un modelo que optimiza la producción agrícola mientras fortalece la autonomía y estabilidad económica de los participantes. La innovación del proyecto radica en la combinación de una técnica productiva eficiente con un programa de formación estructurado que facilita su adopción.

El desarrollo del Producto Mínimo Viable (PMV) permitió validar el modelo mediante simulaciones y ajustes iterativos, asegurando que tanto la capacitación como la oferta comercial fueran funcionales y replicables. La evolución del PMV a través de retroalimentación directa facilitó mejoras en la formación y presentación del producto, lo que incrementó la autonomía de los agricultores y la aceptación de los productos en el mercado. A medida que el proyecto avanza, los siguientes pasos incluyen la consolidación del modelo y su escalabilidad, asegurando su impacto en la seguridad alimentaria y el desarrollo económico local. Con un enfoque de mejora continua, el sistema acuapónico propuesto no solo representa una alternativa productiva sostenible, sino que también refuerza la resiliencia de las comunidades rurales, promoviendo su independencia y acceso a mercados sostenibles.

Capítulo V. Modelo De Negocio

Lienzo del Modelo de Negocio

El presente análisis del modelo de negocio ofrece una visión comprensiva de los componentes esenciales que conforman esta iniciativa. Este proyecto se propone no solo mejorar la seguridad alimentaria y la sostenibilidad ambiental, sino también empoderar a las comunidades rurales mediante la capacitación en técnicas modernas de acuaponía. Al integrar múltiples elementos, desde la producción de alimentos frescos y sostenibles hasta la creación de programas educativos, el modelo de negocio está diseñado para abordar una amplia gama de necesidades y desafíos. La siguiente sección detalla cómo cada componente contribuye a la viabilidad y éxito del proyecto, proporcionando un marco sólido para su desarrollo y expansión.

El análisis del lienzo de modelo de negocio revela varios puntos clave que sustentan su enfoque integral y su capacidad para generar impacto positivo en múltiples áreas (ver Figura 25). La propuesta de valor se centra en proporcionar alimentos frescos y sostenibles a empresas grandes, mientras se empodera a las comunidades rurales, especialmente a mujeres campesinas, mediante capacitación en prácticas acuapónicas. Este enfoque combina un impacto ambiental positivo con un beneficio social significativo, al mismo tiempo que satisface la demanda del mercado de productos de alta calidad y sostenibilidad. A modo de ejemplo, los restaurantes que buscan productos frescos y sostenibles se benefician directamente de esta propuesta al obtener productos que cumplen con sus estándares de calidad y sostenibilidad. Al mismo tiempo, los campesinos reciben formación, mejorando su autonomía económica y reduciendo la inseguridad alimentaria en sus comunidades (Noriega Molina, 2022).

El modelo de negocio atiende dos segmentos clave: campesinos, en su mayoría mujeres con tierras de cultivo en condiciones socioeconómicas precarias, y clientes

empresariales, como restaurantes y comercios que buscan productos acuapónicos sostenibles. Para facilitar el acceso a la formación, se implementan programas de capacitación en comunidades rurales, mientras que la comercialización se realiza a través de ventas directas y alianzas estratégicas. El relacionamiento con los clientes se basa en atención personalizada y soporte continuo, asegurando calidad en los productos acuapónicos y asistencia técnica para los agricultores. Los ingresos provienen de la venta de trucha y lechuga acuapónica a grandes empresas y de las cuotas de formación en acuaponía. La capacitación es clave para la sostenibilidad del modelo, pues empodera a los agricultores y facilita la replicabilidad del sistema.

Figura 25

Lienzo Modelo de Negocio

<p>CADENA DE VALOR Tus partners y/o stakeholders</p> <ol style="list-style-type: none"> Investigación y Desarrollo en Acuaponía Producción de Alimentos Acuapónicos. Capacitación y Formación de Campesinos. Relaciones con Clientes Corporativos. Distribución y Comercialización de Productos Acuapónicos. Soporte y Servicio al Cliente. Gestión de Recursos Humanos y Administración. Gestión de Socios y Alianzas Estratégicas. 	<p>ACTIVIDADES CLAVE Para lograr tu propósito</p> <ul style="list-style-type: none"> Producción de alimentos acuapónicos. Capacitación y formación de campesinos. Investigación y desarrollo en acuaponía. <p>RECURSOS CLAVE Imprescindibles para lograr tu propósito</p> <ul style="list-style-type: none"> Instalaciones de producción acuapónica. Expertise en acuaponía. Personal de capacitación y educación. 	<p>PROBLEMA IDENTIFICADO Describe en una frase</p> <p>María López experimenta desigualdades en su entorno rural, lo que aumenta la inseguridad alimentaria tanto para ella como para su familia.</p> <p>PROPÓSITO</p> <p>Proporcionar alimentos frescos y sostenibles a grandes empresas, mientras empoderamos a comunidades rurales mediante la capacitación de campesinos en prácticas acuapónicas. Nos esforzamos por crear un ecosistema equilibrado donde la agricultura moderna y la tradicional se fusionen, promoviendo la seguridad alimentaria, la conservación del medio ambiente y el desarrollo económico local.</p> <p>PROPUESTA DE VALOR Los productos y/o servicios que escalan la solución</p> <ul style="list-style-type: none"> Alimentos frescos y sostenibles. Capacitación en acuaponía para campesinos. Impacto social y reducción de la inseguridad alimentaria.. 	<p>RELACIONES Con los clientes y la comunidad de impacto</p> <ul style="list-style-type: none"> Atención personalizada para empresas clientes. Programas de seguimiento y apoyo para campesinos capacitados. <p>(ANALES) ¿Cómo vas a distribuir tu propuesta de valor?</p> <ul style="list-style-type: none"> Ventas directas a grandes empresas. Programas de capacitación y educación en comunidades rurales. Plataforma online para venta de productos y recursos educativos. 	<p>SEGMENTOS A quiénes les resuelves el problema y/o a quiénes le vendes tu propuesta de valor</p> <p>Beneficiario: campesinos en su mayoría mujeres que poseen tierras para cultivo, con familia y condiciones socioeconómicas precarias.</p> <p>Cliente: restaurantes que buscan productos de alta calidad con sostenibilidad.</p>
<p>ESTRUCTURA DE COSTOS ¿Qué costos inciden más en tu negocio?</p> <ul style="list-style-type: none"> Costos de producción y operación de sistemas acuapónicos. Salarios y compensaciones para el personal. Costos de marketing y distribución. 	<p>MÉTRICAS DE IMPACTO Ambientales o sociales esperadas</p> <ul style="list-style-type: none"> Con base en el ODS 2, se pueden plantear las siguientes métricas: Reducción de la inseguridad alimentaria Empoderamiento de mujeres rurales Crecimiento económico y sostenibilidad 	<p>FUENTES DE INGRESOS ¿Cómo vas a cobrar por tu propuesta de valor?</p> <ul style="list-style-type: none"> Ventas de productos acuapónicos a grandes empresas. Cuotas de capacitación para programas de formación. 		

Nota: *Elaboración propia.*

Los recursos principales incluyen infraestructura de producción acuapónica, personal especializado y desarrollo tecnológico para mejorar la eficiencia del sistema. La estructura de costos abarca operación de sistemas, salarios, marketing, distribución e investigación.

Comparado con modelos similares en Chile y México, que han logrado rentabilidades del 30% al 40% (Global Seafood Alliance, 2022), este modelo busca replicar el éxito con un 90% menos de consumo de agua que la agricultura convencional (Delgado Martínez, 2024).

Finalmente, la optimización de costos operativos y métricas clave—como margen operativo y tasa de retención de clientes—permitirán evaluar la sostenibilidad financiera. A nivel social, se medirá el impacto a través del número de agricultores capacitados y la mejora en su ingreso promedio. Con este enfoque, el modelo equilibra viabilidad económica, impacto social y sostenibilidad ambiental, asegurando su escalabilidad y éxito a largo plazo.

Viabilidad Financiera del Modelo de Negocio

La viabilidad financiera del proyecto se basa en un análisis exhaustivo de los flujos de ingresos, la estructura de costos y una estrategia de financiamiento robusta (ver anexo 1). A continuación, se presentan los componentes clave del proyecto, desglosados con cifras específicas. Este análisis proporciona una visión clara de la sostenibilidad financiera y el potencial de rentabilidad del modelo propuesto.

Flujos de Ingresos

En esta sección se presenta un análisis de la inversión inicial, los flujos de ingreso y el flujo de caja libre proyectado a lo largo de los primeros cinco años del proyecto, la totalidad de este proyecto es costado y presentado en pesos colombianos (COP). Se explican los principales componentes financieros, incluyendo el Valor Actual Neto (VAN), el Costo Promedio Ponderado de Capital (WACC), la Tasa Interna de Retorno (TIR), y la TIR

Modificada. Estos indicadores son cruciales para evaluar la viabilidad económica y financiera del proyecto.

Con relación a la inversión inicial requerida para poner en marcha el proyecto, se incluyen varios rubros fundamentales como maquinaria, construcción, terrenos y capital de trabajo, con base en el proyecto ya probado en Bogotá durante el 2024 (Delgado Martínez, 2024). Cada uno de estos elementos es esencial para la operación y el éxito del proyecto (ver Tabla 3). A continuación, se explica cada uno de los componentes de esta inversión.

Tabla 4

Inversión inicial

Inversión inicial	Valor Venta (COP)	IGV 19% (IVA) (COP)	Inversiones (COP)
Maquinarias y equipos	672.300.000	157.700.000	830.000.000
Maquinaria de línea de empaque	-	-	-
Terreno	-	-	-
Construcción	210.600.000	49.400.000	260.000.000
Gastos por estudio de consultoría de factibilidad	-	-	-
Capital de trabajo	179.631.069	-	179.631.069
Total	1.062.531.069	207.100.000	1.261.631.000

Nota. *Elaboración propia.*

El primero rubro de maquinarias y equipos incluye la adquisición de los equipos necesarios para la operación del sistema de acuaponía, ver apéndice 8 para este detalle de las maquinarias y equipos requeridos. El valor de venta de estas maquinarias es de 672,300,000.00 COP, y se calcula un IVA del 19% equivalente a 157,700,000.00 COP, lo que lleva el valor total de las maquinarias y equipos a 830,000,000.00 COP. Este equipamiento es fundamental para el proceso de producción de peces y vegetales.

En cuanto a la maquinaria de línea de empaque, no se refleja un valor en la Tabla 4, lo que sugiere que la maquinaria específica para la línea de empaque no está incluida en esta fase inicial de la inversión. Este tipo de maquinaria puede ser considerada en etapas posteriores, o puede tratarse de equipos que ya están disponibles o que serán adquiridos bajo

otras condiciones. Lo mismo sucede para el terreno, ya que ya se cuenta con este (ver Figura 26); así como los gastos por estudio de consultoría de factibilidad.

Figura 26.

Lote Propio para Cultivo



En cuanto a la construcción, se hace referencia a la infraestructura necesaria para albergar el sistema acuapónico. El valor de venta para la construcción es de 210,600,000.00 COP, y el IVA correspondiente es de 49,400,000.00 COP, lo que lleva el costo total de la construcción a 260,000,000 COP. Esta infraestructura es esencial para mantener las condiciones ambientales óptimas para la producción de peces y vegetales, en el apéndice 9 se detallan los costos por construcción que incluyen invernadero, almacén, cuarto herramientas, oficinas, cuarto de bombas y tableros eléctricos, cuarto planta e instalación eléctricas. El capital de trabajo es crucial para garantizar que el proyecto cuente con los recursos financieros necesarios para operar en sus primeros meses, antes de que los ingresos generados por las ventas cubran todos los costos. El capital de trabajo proyectado es de 179,631,069.00

COP, lo que asegura liquidez suficiente para cubrir los gastos operativos en la fase inicial del proyecto.

Así pues, el total de la inversión inicial proyectada asciende a 1,062,531,069.00 COP en valor de venta, con un IVA total de 207,100,000.00 COP, lo que lleva la inversión total proyectada a un valor de 1,261,631,069.00 COP. Esta cifra incluye tanto los costos de los equipos como la construcción y el capital de trabajo, que son esenciales para que el proyecto de acuaponía pueda comenzar a operar. Estos cálculos se realizan con precios aproximados en el mercado y con base a proyectos ya probados en el país como el de Delgado Martínez (2024).

En cuanto a los flujos de ingreso proyectados se inicia con las ventas incrementales, que representan los ingresos generados por el proyecto en cada año. En el primer año, las ventas se estiman en 965,886,000 COP, y aumentan progresivamente hasta 1,803,782,682 COP en el décimo año, en el apéndice 10 se detalla este crecimiento en relación con el producto trucha y lechuga con costos de 9,000 COP y 2,700 COP, respectivamente. Este crecimiento en ventas se explica por el incremento en la producción y la optimización de los procesos operativos a lo largo del tiempo, basado en el Índice de Precios al Consumidor (ver Tabla 5).

Tabla 5

Flujo de Caja Libre Proyectado

Flujo de Caja Libre Proyectado	Año					
	0	1	2	3	4	5
Ventas incrementales		819.990.000	1.050.807.600	1.103.347.980	1.158.515.379	1.216.441.147
Costo de Ventas 40%		-327.996.000	-420.323.040	-441.339.192	-463.406.151	-486.576.459
Ganancia Bruta		491.994.000	630.484.560	662.008.788	695.109.227	729.864.688
Gastos Administrativos 7%		-57.399.300	-73.556.532	-77.234.358	-81.096.076	-85.150.880
Gastos de Ventas 5%		-57.399.300	-73.556.532	-77.234.358	-81.096.076	-85.150.880

Depreciación y/o amortización		-91.111.111	-91.111.111	-91.131.279	-91.131.279	-91.131.279
Ganancia Operativa (EBIT)		286.084.288	392.260.384	416.408.791	441.785.795	468.431.648
Impuestos a las ganancias sin escudo tributario		-27.223.568	-37.194.888	-39.462.817	-41.846.049	-44.348.442
Ganancia Operativa Neta (EBIT - impuestos) NOPAT (+)		258.860.720	355.065.496	376.945.974	399.939.745	424.083.206
Depreciación y amortización (-) Cambio en capital de trabajo (+) Valor residual		91.111.111	91.111.111	91.131.279	91.131.279	91.131.279
			0,00	0,00	0,00	0,00
						592.608.029,88
Inversiones	(1.340.000.000)					
Flujo de Caja Libre Proyectado	(1.340.000.000)	349.971.832	446.176.607	467.957.253	491.071.025	1.107.822.515

Nota. *Elaboración propia.*

Los ingresos brutos se calculan descontando el Costo de Ventas (52,4%), lo que genera una ganancia bruta de 334,291,466 COP en el primer año y 862,534,064 COP en el décimo. Los costos operativos incluyen gastos administrativos (5%) y gastos de ventas (4%), representando costos fijos y variables del sistema acuapónico. En el primer año, estos gastos ascienden a 48,294,300 COP y 38,635,440 COP, respectivamente.

La ganancia operativa (EBIT), tras descontar gastos administrativos, de ventas y depreciación, alcanza 158,583,948 COP en el primer año y 611,415,844 COP en el décimo. Tras aplicar impuestos, el NOPAT (ganancia neta después de impuestos) es de 103,079,566 COP en el primer año y 397,420,299 COP en el décimo. El flujo de caja libre se obtiene sumando el NOPAT, la depreciación (91,111,111.11 COP anuales) y descontando inversiones y cambios en el capital de trabajo. En el año cero, el flujo de caja es negativo (-517,212,098 COP) debido a la inversión inicial en maquinaria e infraestructura y la cobertura del préstamo,

pero se vuelve positivo en el primer año con 60,614,827 COP, alcanzando 257,840,852 COP en el décimo, reflejando la sostenibilidad financiera del modelo.

Indicadores Financieros Clave. El Valor Actual Neto (VAN) financiero es un indicador fundamental para evaluar la viabilidad financiera de un proyecto, ya que mide la rentabilidad de una inversión al calcular la diferencia entre el valor presente de los flujos de efectivo futuros y la inversión inicial. En este cálculo, se utiliza el costo de capital (WACC), el cual se ajusta con el modelo CAPM (Capital Asset Pricing Model) para determinar el rendimiento esperado del proyecto. El CAPM toma en cuenta el rendimiento del mercado, el riesgo del activo (Beta) y el riesgo libre de mercado, proporcionando así una tasa de descuento que refleja los riesgos inherentes al proyecto, asegurando que el VAN obtenido represente una evaluación financiera precisa y alineada con las expectativas del mercado.

En este caso, el VAN del proyecto es de 499,853,187 COP (ver Tabla 6), lo que indica que el proyecto generará un valor neto positivo para los inversionistas después de descontar los flujos de efectivo futuros. Un VAN positivo significa que el proyecto no solo recuperará la inversión inicial, sino que también generará una rentabilidad adicional, lo que sugiere que el proyecto es financieramente atractivo. El VAN es especialmente útil porque permite comparar directamente el valor creado por el proyecto con la inversión requerida, proporcionando una medida clara de la rentabilidad.

Tabla 6

VAN, WACC y TIR

Valor Actual Neto (VAN)	499.853.187	Valor Presente de los retornos y la Inversión Inicial
Costo Promedio Ponderado del Capital (WACC)	11,83%	Tasa de Reinversión
Tasa Interna de Retorno (TIR)	28,83%	Tasa de Financiamiento
TIR Modificada	19,65%	Corrección Tasa Convencional

Nota. *Elaboración propia.*

El Costo Promedio Ponderado del Capital (WACC) representa la tasa mínima de retorno que el proyecto debe generar para cubrir sus costos de financiamiento y mantener su valor. En este caso, el WACC es del 11.83%, lo que significa que cualquier inversión debe superar esta tasa para ser viable. Por su parte, la Tasa Interna de Retorno (TIR), que mide la rentabilidad esperada, es del 28.83%, superando significativamente el WACC, lo que indica que el proyecto es rentable y generará valor para los inversionistas. La TIR modificada, que ajusta los flujos de caja considerando reinversión conservadora, es del 19.65%, reafirmando la viabilidad financiera.

En conclusión, la relación entre TIR y WACC demuestra que el proyecto es financieramente atractivo, asegurando un retorno positivo y sostenible. Además, el Valor Actual Neto (VAN) positivo confirma que la inversión inicial será recuperada con rentabilidad adicional. Eso consolida la sostenibilidad económica del modelo.

Escenarios Alternativos. Para evaluar la viabilidad financiera bajo diferentes condiciones, se analizan tres escenarios: neutro, pesimista y optimista. Este análisis de sensibilidad permite entender cómo varían el VAN, WACC y TIR ante cambios en el mercado y la operación (ver Tabla 7). En el escenario base, el VAN es de 499,853,187 COP, con un WACC del 11.83% y una TIR del 28.83%. En el escenario pesimista, una menor demanda o costos operativos más altos reducen la rentabilidad: el VAN cae a 32,858,086 COP y la TIR baja a 12.52%, reflejando un mayor riesgo financiero y menor retorno. Aun con estas condiciones el proyecto es viable.

Tabla 7

Tabla Comparativa de Escenarios

Indicador	Escenario Pesimista	Escenario Neutral	Escenario Optimista
VAN (COP)	32,858,086	499,853,189	966,848,293
WACC (%)	18.50%	16.30%	14.50%
TIR (%)	12.52%	19.65%	24.26%

Ingresos anuales (COP)	85% de los ingresos proyectados	Según proyecciones originales	115% de los ingresos proyectados
Costos operativos (%)	Aumentan 5%	Según proyecciones originales	Disminuyen 5%
Inversión inicial (COP)	517,212,098	517,212,098	517,212,098

Nota. *Elaboración propia.*

Mientras que el escenario optimista considera que el proyecto supera las expectativas iniciales, posiblemente debido a un crecimiento en la demanda de productos acuapónicos o mejoras operativas que reducen los costos. Las principales variaciones incluyen: VAN aumentado a 966,848,293 COP: el proyecto genera un valor significativamente mayor, lo que refleja una mayor rentabilidad y retorno para los inversores. WACC reducido a 14.50%: la reducción en el WACC se debe a la percepción de menor riesgo por parte de los inversores, lo que permite financiar el proyecto a un costo menor. TIR aumentada a 24.26%: la TIR más alta indica que el proyecto es extremadamente rentable y genera retornos muy superiores al costo del capital.

El análisis de los escenarios pesimista y optimista destaca la importancia de las variaciones en los supuestos clave del proyecto. Bajo el escenario pesimista, aunque el proyecto sigue siendo rentable, genera un valor limitado, lo que podría preocupar a los inversores. Sin embargo, bajo el escenario optimista, el proyecto ofrece retornos extraordinarios, lo que lo convierte en una inversión muy atractiva.

Estructura de Costos

El proyecto de acuaponía contempla costos en inversión inicial y operación durante cinco años, agrupados en cinco rubros clave: materia prima, mano de obra, horas extras en cosecha, costos indirectos y gastos extraordinarios, el detalle puede verse en el apéndice 11. De manera general, se presenta: la materia prima, que incluye alevinos, plántulas y alimento

para peces, es esencial para la producción. El alimento representa el mayor costo, pasando de 145,638,000 COP en el primer año a 163,915,850 COP en el quinto, debido al aumento en la producción.

El equipo humano está compuesto por administradores, operarios, un ingeniero agrónomo y un conductor, con el costo más alto en los operarios (85,677,613 COP en el quinto año). Además, la cosecha genera horas extra, aumentando los costos operativos; en el tercer año, estas horas suman 2,321,697 COP. Los costos indirectos incluyen agua, electricidad, transporte y mantenimiento. La electricidad es el mayor gasto, aumentando de 151,200,000 COP a 183,493,353 COP en cinco años. Finalmente, los gastos adicionales en licencias y certificaciones alcanzan 10,000,000 COP cada cinco años. En conclusión, la estructura de costos asegura la eficiencia y sostenibilidad del proyecto, como se evidencia en el anexo 1, equilibrando inversiones y operación sin comprometer la rentabilidad.

Estrategia de Financiamiento

El financiamiento del proyecto se estructura mediante una combinación de deuda y patrimonio. Esta combinación tiene como objetivo optimizar los costos de financiamiento y generar una tasa de retorno atractiva para los inversionistas, maximizando el valor del proyecto. A continuación, se detalla tanto la estructura de capital, como el plan de amortización de la deuda y los cálculos de la Tasa Interna de Retorno (TIR).

La estructura de capital del proyecto se compone de dos fuentes principales de financiamiento (ver Tabla 8). La combinación de deuda y patrimonio es típica en proyectos de infraestructura o agricultura intensiva, ya que permite a la empresa beneficiarse del apalancamiento financiero. Al utilizar un 59% de deuda, el proyecto aprovecha los costos relativamente bajos de los préstamos, al tiempo que mantiene una proporción significativa de capital para mitigar el riesgo financiero.

Tabla 8

Estructura de capital

Estructura de capital	Importe COP	W
Deuda	744.418.970,00	59,00%
Patrimonio	517.212.098,00	41,00%
Total Deuda y Patrimonio	1.261.631.069,00	100,00%

Nota. *Elaboración propia.*

Por su parte, el plan de amortización de la deuda está estructurado en pagos semestrales fijos que incluyen tanto la amortización del capital como los intereses. El saldo de la deuda inicial es de 744,418,970 COP, y se va amortizando a lo largo de 10 periodos, en el apéndice 12 se detallan los pagos por año. Este plan de amortización permite que la deuda se reduzca de manera constante a lo largo del tiempo, esto es beneficioso para el flujo de caja del proyecto, ya que mantiene pagos constantes, lo que facilita la planificación financiera.

El apalancamiento financiero del proyecto, con 59% de deuda en la estructura de capital, permite maximizar la rentabilidad para los accionistas al financiar una parte significativa de la inversión con fondos prestados. La TIR anual del 19.64%, superior al costo de la deuda, indica que el proyecto genera suficiente retorno para cubrir los costos financieros y crear valor. Además, la TIR semestral del 13.53% refuerza la efectividad del apalancamiento en el aumento de la rentabilidad. La estructuración de pagos en cuotas fijas facilita la gestión del flujo de caja, asegurando estabilidad financiera y optimizando los retornos tanto para accionistas como acreedores.

Análisis de las variables CAPM

Para evaluar la viabilidad financiera del modelo de negocio acuapónico, se utilizó el modelo CAPM (Capital Asset Pricing Model). Este se compone de tres aspectos, el KLR que representa el rendimiento del activo libre de riesgo, tomado como el rendimiento promedio de los bonos del tesoro estadounidense a 20 años, con un 4,37% de rendimiento promedio (fuente: [YCharts](#)). KM es el rendimiento esperado del mercado, que se calcula como el

rendimiento promedio del índice Standard & Poor's 500 en los últimos 20 años, con un 7,62% de rendimiento promedio (fuente: [MacroTrends](#)). La Beta de la empresa, tomada del promedio de los últimos cinco años, es 1,58 (fuente: [NYU Stern](#)). Con estos valores, se obtiene un CAPM de 9,51%, como se puede ver en el anexo 3 de cálculo financiero.

Además, para ajustar este rendimiento al contexto colombiano, se incluyó el riesgo país de Colombia, el cual se encuentra en 3,44% (fuente: [CountryEconomy](#)). Al sumar el CAPM y el riesgo país, se obtiene un rendimiento ajustado de $K_s = 12,95\%$. Este valor refleja el rendimiento esperado para el proyecto, considerando tanto los riesgos del mercado como los específicos de Colombia, y proporciona una base sólida para evaluar la rentabilidad y la viabilidad financiera del modelo acuapónico en este contexto.

Escalabilidad/Exponencialidad del Modelo de Negocio

El modelo de negocio basado en la acuaponía y las prácticas agrícolas sostenibles en La Calera (Cundinamarca) tiene un alto potencial de escalabilidad y crecimiento exponencial, impulsado por el contexto agrícola del departamento, el uso de tecnologías avanzadas y los beneficios demostrados de estas prácticas en términos de sostenibilidad ambiental y eficiencia económica (Beem et al., 2017; Benke & Tomkins, 2017; Delgado Martínez, 2024; Di Gennaro et al., 2024). Para maximizar este potencial, se puede aplicar la metodología de Organizaciones Exponenciales (ExO), que integra principios clave que aceleran el crecimiento y la expansión del modelo. A continuación, se detalla cómo el ExO Canvas puede potenciar este proyecto (ver Figura 27).

Figura 27

Lienzo ExO Canvas

Propósito Transformador Masivo (MTP)			
Alimentar al mundo de manera sostenible, revolucionando la producción de alimentos mediante la integración de acuaponía y tecnologías avanzadas, creando un impacto positivo en la seguridad alimentaria, el medio ambiente y las economías locales.			
Información	Staff on Demand	Interfaces	Implementación
El manejo y flujo de la información es crucial para la optimización y	Acceso a talento especializado para tareas específicas, como	Plataformas digitales que gestionan la producción en tiempo real,	La implementación se dividirá en fases estratégicas, cada una

<p>escalabilidad del proyecto. La implementación de un sistema robusto de recopilación, análisis y aplicación de datos permitirá que el modelo de negocio se ajuste continuamente a las condiciones del mercado y mejore la eficiencia operativa.</p> <p>1. Sistemas de Información Basados en Datos: Sensores IoT, Plataformas de Gestión, Algoritmos y Predicciones.</p> <p>2. Transparencia y Reportes: claves para atraer y retener inversores y asegurar el cumplimiento de los estándares de sostenibilidad.</p> <p>3. Capacitación y Comunidad de Conocimiento: el uso de la información también se extiende a la capacitación de los operarios y agricultores involucrados en el proyecto: Capacitación Continua, Intercambio de Conocimiento en la Comunidad.</p>	<p>mantenimiento, consultoría en acuaponía y desarrollo tecnológico, sin necesidad de personal permanente.</p>	<p>utilizando sensores IoT y algoritmos para ajustar el ambiente acuapónico y optimizar la operación.</p>	<p>diseñada para consolidar los fundamentos operativos y, posteriormente, permitir la escalabilidad exponencial del proyecto.</p> <p>1. Fase de Pilotaje y Consolidación: instalación de la Infraestructura y validación del Modelo de Datos.</p> <p>2. Fase de Expansión y Escalabilidad: replicación del Modelo en Nuevas Zonas y Alianzas Estratégicas.</p> <p>3. Fase de Internacionalización y Exponencialidad: la última fase se centrará en llevar el proyecto a una escala global con la entrada a Nuevos Mercados creando una Red Global de Productores.</p> <p>4. Monitoreo y Ajustes Continuos. Durante toda la implementación, será fundamental el monitoreo continuo de los indicadores de éxito, utilizando dashboards y reportes automáticos para ajustar la operación en tiempo real. Los algoritmos mejorarán continuamente a medida que recopilan más datos, optimizando cada aspecto de la producción y distribución.</p>
	<p>Comunidades y multitudes</p> <p>Creación de una comunidad global de agricultores sostenibles que comparten mejores prácticas, tecnologías y conocimientos a través de plataformas colaborativas. Aprovechamiento de la multitud mediante crowdfunding para financiar nuevos proyectos.</p>	<p>Dashboards</p> <p>Tableros en tiempo real para monitorear los indicadores clave de rendimiento (KPI), como eficiencia en el uso del agua, productividad de los cultivos, salud de los peces, costos operativos, y niveles de ingresos. Estos dashboards permiten la toma de decisiones basada en datos.</p>	
	<p>Algoritmos</p> <p>Algoritmos predictivos que optimizan los ciclos de cultivo y distribución, ajustando las operaciones según la demanda del mercado, niveles de producción y eficiencia de los recursos.</p>	<p>Experimentación</p> <p>Pruebas constantes de nuevas tecnologías, especies de peces, cultivos y procesos operativos que optimicen la producción y reduzcan costos. La experimentación fomenta la innovación y mejora continua del sistema acuapónico.</p>	
	<p>Leveraged assets</p> <p>Colaboración con pequeños agricultores locales y uso de infraestructura existente para expandir rápidamente la producción sin necesidad de grandes inversiones iniciales en nuevas instalaciones.</p>	<p>Autonomía</p> <p>Equipos locales autónomos que gestionan las operaciones diarias del sistema de acuaponía con capacidad de tomar decisiones basadas en los datos recibidos en tiempo real, ajustando los parámetros sin intervención centralizada.</p>	
	<p>Engagement</p> <p>Programas de fidelización para los consumidores conscientes con la sostenibilidad y los agricultores involucrados en el proyecto. Ofertas como recompensas por recomendaciones y acceso a mercados sostenibles.</p>	<p>Social technologies</p> <p>Uso de redes sociales y plataformas de colaboración en la nube para conectar a agricultores, expertos, inversionistas y consumidores, facilitando la resolución de problemas, el intercambio de ideas y la co-creación de soluciones innovadoras.</p>	

Nota: *Elaboración propia.*

El ExO Canvas fortalece la viabilidad financiera del proyecto de acuaponía sostenible al optimizar costos y permitir una expansión escalable. Su Propósito Transformador Masivo (PTM), enfocado en sostenibilidad e innovación, no solo atrae inversiones y alianzas estratégicas, sino que también genera lealtad entre consumidores conscientes, impulsando los ingresos a medida que la base de clientes crece. Además, herramientas digitales como dashboards permiten un monitoreo en tiempo real del consumo de recursos, reduciendo costos operativos y asegurando rentabilidad a largo plazo.

La implementación de Staff on Demand proporciona flexibilidad laboral, ajustando la fuerza de trabajo a la demanda estacional y evitando costos fijos innecesarios. Esto permite mayor agilidad operativa y facilita la replicación del modelo en nuevas regiones con costos reducidos. Asimismo, el uso de infraestructura agrícola comunitaria minimiza las inversiones de capital, fortaleciendo la relación con las comunidades locales y asegurando un crecimiento eficiente y sostenible.

Finalmente, los algoritmos predictivos optimizan la producción y distribución, evitando desperdicios y estabilizando el flujo de caja. Este análisis de datos mejora la toma de decisiones y la adaptación a cambios del mercado. En conjunto, estos elementos del ExO Canvas garantizan un modelo de negocio escalable, resiliente y financieramente sostenible, consolidándolo como un referente en la región.

Estrategia de Escalabilidad y Factores de Exponencialidad

El modelo de negocio del sistema acuapónico presenta un alto potencial de escalabilidad gracias a su modularidad, la formación de agricultores como agentes multiplicadores y la creciente demanda de productos sostenibles. Su expansión está estructurada en cuatro fases: primero, la implementación del Producto Mínimo Viable (PMV) con un grupo inicial de agricultores; luego, la extensión a comunidades cercanas; posteriormente, la creación de alianzas estratégicas con distribuidores y restaurantes; y finalmente, la escalabilidad regional. Este enfoque progresivo permite optimizar costos operativos y minimizar riesgos financieros, asegurando que cada etapa genere ingresos suficientes para sustentar la siguiente, evitando inversiones desproporcionadas.

Además, el modelo integra factores de exponencialidad que impulsan su crecimiento sin incrementar costos en la misma proporción. Entre estos, destacan la inserción de socios campesinos, el mantenimiento de capacitación remota y monitoreo de producción, reduciendo costos de formación y supervisión; la creación de una red de productores capacitados, lo que

permite replicar el sistema sin necesidad de grandes inversiones adicionales en infraestructura y el aumento en la demanda de alimentos sostenibles, lo que facilita el acceso a mercados premium con precios más altos. Estos elementos maximizan el margen de ganancia, estabilizan el flujo de caja y reducen la dependencia de inversión externa.

Tabla 9

Proyecciones Financieras por Aumento de la Productividad

Aumento de la productividad agrícola	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Área utilizada para cultivos (hectáreas)	0,36	0,408	0,456	0,504	0,552
Producción de trucha (und x 500 gr.) proyecto	27480	27480	27480	27480	27480
Producción de lechuga (und x 400 gr.) proyecto	280800	280800	280800	280800	280800
Producción de trucha (und x 500 gr.) campesinos/socios	0	750	1500	2250	3000
Producción de lechuga (und x 400 gr.) campesinos/socios	0	80000	160000	240000	320000
Ingreso por venta de producción de truchas (COP)	247.320.00	269.314.200	293.057.352	318.680.151	346.322.680
Ingreso por venta de producción de lechugas (COP)	758.160.00	1.032.609.60	1.337.263.77	1.674.759.05	2.047.939.62
<i>Utilidad neta total proyecto + producción socios (24% de ventas promedio)</i>	241.315.20	312.461.712	391.277.071	478.425.410	574.622.953
Aumento porcentual en la productividad	0%	29%	62%	98%	138%

Nota. *Elaboración propia.*

Como se observa en la Tabla 9, las proyecciones financieras reflejan un crecimiento sostenido en producción e ingresos. En cinco años, la superficie de cultivos aumentará de 0,36 a 0,552 hectáreas, permitiendo un incremento significativo en la producción de trucha y lechuga. Mientras que el proyecto inicial mantiene una producción estable de 27,480 unidades de trucha y 280,800 unidades de lechuga anuales, la integración de campesinos socios permitirá que la producción de trucha pase de 750 unidades en el segundo año a 3,000 en el quinto año, y la de lechuga de 80,000 a 320,000 unidades en el mismo período. Como resultado, los ingresos por venta de trucha y lechuga pasarán de \$1,005 millones COP en el primer año a \$2,394 millones COP en el quinto, con una utilidad neta del 24% sobre ventas,

lo que representa \$574,622,953 COP al final del período proyectado. Estos cálculos se basan en precios de mercado actuales y en la capacidad productiva de los agricultores, asegurando que las cifras sean verificables y realistas.

En conclusión, el análisis de escalabilidad, factores de exponencialidad y proyecciones financieras justificadas demuestra la viabilidad del modelo de negocio. La combinación de innovación tecnológica, formación de productores y optimización de costos permite un crecimiento acelerado sin comprometer la estabilidad financiera. Con estas mejoras, el proyecto no solo se ajusta a las expectativas de expansión y sostenibilidad, sino que también se posiciona como un modelo escalable y financieramente sólido, capaz de generar impacto positivo en la seguridad alimentaria y el desarrollo económico regional.

Sostenibilidad Social del Modelo de Negocio

Este modelo de negocio impacta directamente en el ODS 2. Proporciona una fuente constante de alimentos nutritivos y mejorando los ingresos de los pequeños agricultores mediante la adopción de tecnologías avanzadas y prácticas agrícolas sostenibles. En la Tabla 10 se detalla las metas de este objetivo de desarrollo sostenible, sus las métricas asociadas y las ratios de desempeño para medir el logro de estos objetivos.

Tabla 10

ODS 2, Métricas y Ratios

Meta del ODS 2	Descripción	Métricas	Ratios para Medir Desempeño
2.1: Poner fin al hambre	Garantizar el acceso a alimentos seguros, nutritivos y suficientes durante todo el año.	- Número de personas alimentadas por año	Ratio de personas alimentadas por hectárea cultivada
2.2: Poner fin a la malnutrición	Reducir la malnutrición en niños y personas vulnerables mediante la mejora en la disponibilidad de alimentos nutritivos.	- Tasa de malnutrición en la comunidad	% de productos acuapónicos en la dieta de la comunidad
2.3: Duplicar la productividad agrícola	Aumentar los ingresos y la productividad de los pequeños agricultores mediante prácticas sostenibles.	- Rendimiento por hectárea	Ratio de aumento en la productividad agrícola (% crecimiento anual)

2.4: Garantizar sistemas de producción sostenibles	Implementar prácticas agrícolas que mejoren la resiliencia, eficiencia del uso del agua, y reducción del impacto ambiental.	- Uso de agua por kg de producto	Eficiencia del uso del agua (litros/kg)
--	---	----------------------------------	---

Nota. *Elaboración propia.*

Con lo anterior, este proyecto fortalece la sostenibilidad social promoviendo la seguridad alimentaria, asegurando un suministro constante de alimentos nutritivos y accesibles, alineado con la meta 2.1 del ODS 2. Además, genera empleo y empodera a pequeños agricultores al mejorar sus ingresos mediante tecnología y capacitación, contribuyendo al crecimiento económico inclusivo y cumpliendo la meta 2.3 del ODS 2. El impacto también se refleja en la reducción de la malnutrición, garantizando el acceso a productos acuapónicos ricos en nutrientes, especialmente para niños y mujeres embarazadas (meta 2.2 del ODS 2). Asimismo, el modelo de negocio emplea un uso eficiente de recursos naturales, promoviendo la resiliencia climática y reduciendo el impacto ambiental (meta 2.4 del ODS 2).

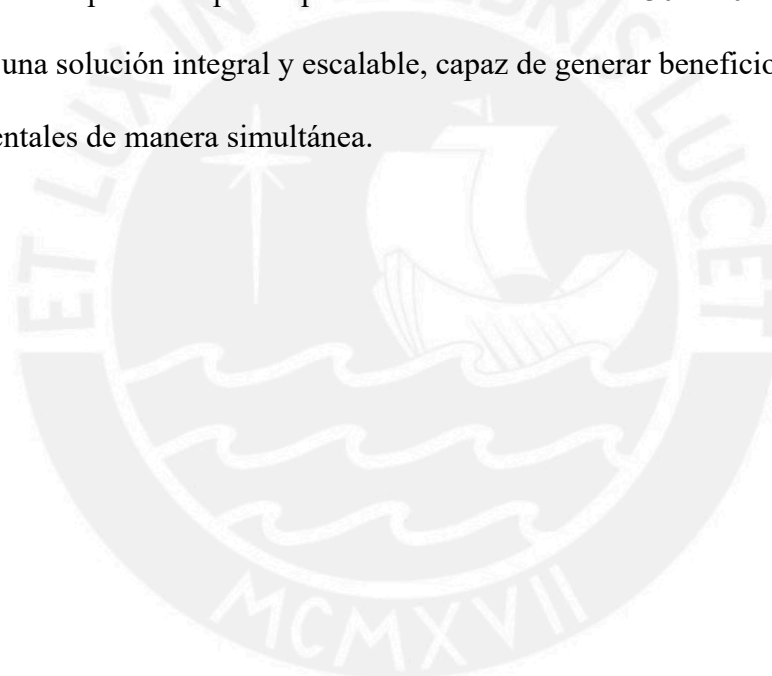
Para evaluar su impacto, se implementarán mecanismos de medición y mejora continua, incluyendo monitoreo social, indicadores clave de desempeño (KPIs) y auditorías periódicas. La participación comunitaria será esencial en la evaluación del proyecto, asegurando su alineación con las necesidades locales. Finalmente, se impulsará la innovación constante en tecnología y distribución para maximizar su impacto económico y social a largo plazo.

Conclusión del Capítulo

El modelo de negocio de acuaponía propuesto es una solución innovadora que combina sostenibilidad económica, impacto social y respeto ambiental. Responde a la creciente demanda de alimentos frescos y sostenibles, mientras empodera a las comunidades rurales, especialmente a las mujeres campesinas, proporcionándoles herramientas para mejorar su autonomía económica y reducir la inseguridad alimentaria. A través de esta

propuesta, se busca no solo mejorar la calidad de vida de los agricultores, sino también contribuir a la sostenibilidad global mediante prácticas agrícolas responsables y eficientes.

La capacitación técnica es esencial para la sostenibilidad y escalabilidad del proyecto, ya que permite a los agricultores mejorar sus ingresos y acceder a nuevos mercados. El modelo también ofrece productos acuapónicos de alta calidad a restaurantes y empresas, alineándose con su compromiso de sostenibilidad. Su estructura optimizada de costos e ingresos garantiza la viabilidad financiera, con indicadores como el VAN y la TIR que demuestran su rentabilidad. Al comparar el proyecto con modelos exitosos en Chile y México, se observa un potencial para replicar una rentabilidad del 30%-40%. Esto lo posiciona como una solución integral y escalable, capaz de generar beneficios económicos, sociales y ambientales de manera simultánea.



Capítulo VI. Solución Deseable, Factible Y Viable

Este capítulo presenta los resultados de la validación de los principales componentes del modelo de negocio basado en acuaponía sostenible. Se divide en tres secciones clave: la validación de la deseabilidad, factibilidad y viabilidad de la solución. A través de la experimentación, encuestas, simulaciones y análisis financieros, se busca corroborar las hipótesis formuladas en relación con la propuesta de valor, el modelo de negocio y su potencial impacto.

Validación de la Deseabilidad de la Solución

La deseabilidad de la solución es un componente crítico para evaluar si existe una demanda real y sólida tanto de los productos como de la capacitación a los campesinos. La propuesta de valor de este modelo de negocio se basa en ofrecer una formación práctica y aplicable a los campesinos que guarda los principios de un modelo acuapónico que logra la producción de trucha y lechuga fresca, sostenible y de calidad. La validación de la deseabilidad de la solución permite probar si los diferentes actores del mercado estarían dispuestos a vincularse al programa, adoptar nuevas prácticas de suministro, y comprometerse con el modelo de negocio. Se utilizaron las Tarjetas de Prueba de Strategyzer (Bocken et al., 2014) para formular y considerar diferentes hipótesis, tal como se evidencia en la Tabla 11.

Tabla 11

Tarjetas de Prueba (Strategyzer)

Pruebas de usabilidad				
Hipótesis	Prueba	Dimensión	Métrica	Criterio de éxito
un 15% más por productos acuapónicos frescos y libres de químicos.	Ofrecer productos acuapónicos a un grupo de restaurantes gourmet con un incremento del 15% en el precio y comparar con la aceptación de	Disposición a pagar	Porcentaje de restaurantes que aceptan pagar el precio premium por productos acuapónicos.	$\geq 70\%$ de los restaurantes aceptan el incremento de precio.

Pruebas de usabilidad				
Hipótesis	Prueba	Dimensión	Métrica	Criterio de éxito
Los restaurantes prefieren comprar pescado fresco si se garantiza una calidad superior.	productos convencionales. Ofrecer muestras de trucha acuapónica fresca y congelada a restaurantes gourmet, midiendo las preferencias de chefs y gerentes.	Calidad percibida	Porcentaje de chefs y gerentes que prefieren pescado fresco sobre congelado.	$\geq 70\%$ de los restaurantes prefieren el pescado fresco, superando el estándar del 60%-65%.
Los campesinos están interesados en capacitarse en acuaponía si perciben beneficios en sostenibilidad económica y apoyo técnico.	Realizar sesiones informativas y entrevistas con campesinos para medir su interés en la formación y evaluar su disposición a adoptar la tecnología acuapónica.	Interés en formación	Porcentaje de campesinos interesados en inscribirse en el programa de capacitación tras conocer los beneficios y condiciones.	$\geq 60\%$ de los campesinos expresan interés en capacitarse y participar activamente.
Los campesinos capacitados en acuaponía buscan insertarse laboralmente en el sector si se les ofrece estabilidad y condiciones adecuadas.	Encuestas y entrevistas a campesinos capacitados sobre su interés en trabajar en acuaponía, midiendo su disposición a integrarse en proyectos productivos.	Inserción laboral	Porcentaje de campesinos dispuestos a trabajar en el sector acuapónico tras finalizar la formación.	$\geq 50\%$ de los campesinos capacitados muestran interés en emplearse formalmente en acuaponía.

Nota. *Elaboración propia.*

Hipótesis para Validar la Deseabilidad de la Solución

Para validar la deseabilidad de la propuesta, se seleccionaron dos de las cuatro hipótesis iniciales. Estas se consideraron claves para abordar las expectativas de los principales actores. Basado en las características óptimas de una hipótesis, que la hacen precisas, verificables y discretas.

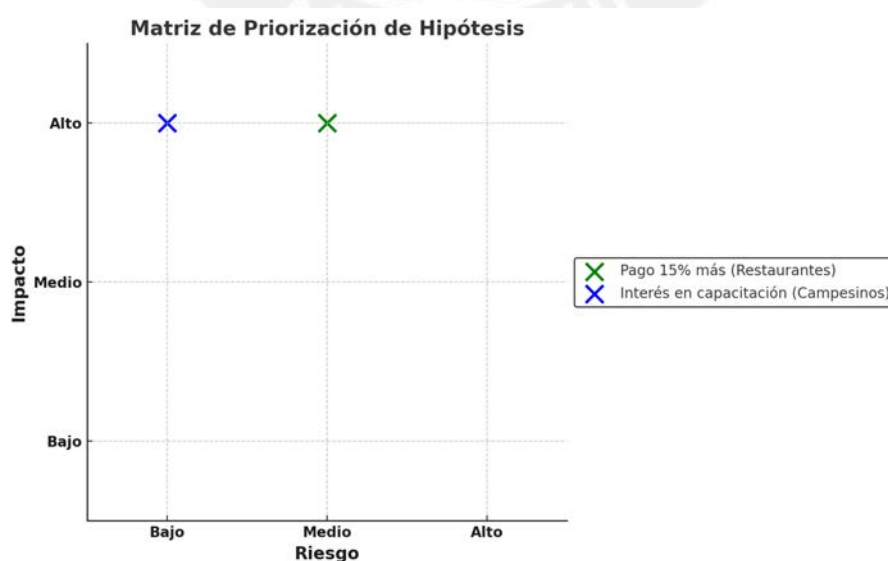
Hipótesis 1. Disposición a pagar más por productos acuapónicos frescos. Se cree que los restaurantes están dispuestos a pagar un 15% más por productos acuapónicos frescos y libres de químicos en comparación con productos convencionales. Esta hipótesis se basa en la creciente demanda de alimentos sostenibles y frescos por parte de los consumidores y en la disposición de los distribuidores para promover productos diferenciados con un valor añadido.

Hipótesis 2. Se cree que al menos el 60% de los campesinos que se forman, están interesados en capacitarse en acuaponía si perciben beneficios en sostenibilidad económica y apoyo técnico. Esta hipótesis se fundamenta en la necesidad de diversificación productiva en las comunidades rurales y en la oportunidad que representa la acuaponía como un modelo agrícola eficiente y rentable. Dado que el acceso a tecnología y formación es un desafío recurrente para los pequeños productores, se espera que la capacitación estructurada, junto con la evidencia de beneficios económicos tangibles, motive a los campesinos a adoptar esta práctica innovadora.

Matriz de Priorización de Hipótesis

Figura 28

Matriz de Priorización de Hipótesis



Nota: *Elaboración propia.*

Para gestionar estos supuestos, se utilizó una matriz de priorización de hipótesis que evaluó su impacto en el éxito del negocio y el riesgo de que no se confirmaran (Figura 28). La hipótesis sobre la disposición de los restaurantes a pagar un 15% más por productos acuapónicos se consideró de alto impacto, ya que define la viabilidad comercial del modelo, aunque con un riesgo moderado debido a la posible resistencia de los restaurantes a asumir costos adicionales sin evidencia clara del valor diferencial del producto. Por su parte, la hipótesis sobre el interés de los campesinos en capacitarse en acuaponía también se clasificó como crítica, dado que su confirmación garantizaría la escalabilidad del modelo; sin embargo, su riesgo fue menor, ya que el acceso a formación técnica y modelos productivos rentables suele ser altamente valorado en comunidades rurales. Con esta priorización, se diseñaron estrategias de validación que permitieron reducir la incertidumbre y fortalecer la toma de decisiones en el desarrollo del negocio.

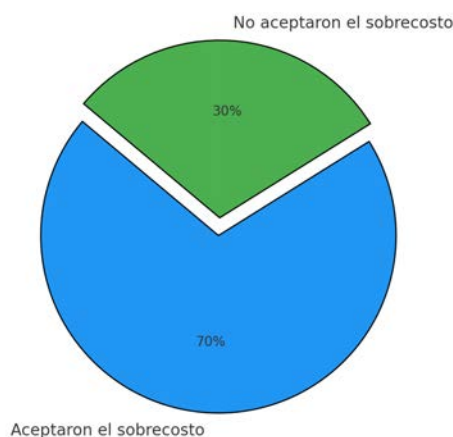
Experimentos Empleados para Validar las Hipótesis

Para validar la viabilidad del modelo de negocio, se diseñaron y ejecutaron experimentos que probaron dos hipótesis clave: la disposición de los restaurantes a pagar un 15% más por productos acuapónicos y el interés de los campesinos en capacitarse si percibían beneficios en sostenibilidad económica y apoyo técnico. En el primer caso, se realizó una prueba de mercado con 10 restaurantes gourmet en Bogotá y La Calera, a quienes se les ofrecieron productos acuapónicos con un sobre costo del 15% en comparación con opciones convencionales. Se midió la aceptación del precio premium, recopilando encuestas y testimonios de chefs y gerentes (ver Figura 29).

Figura 29

Aceptación de Precios por Parte de Restaurantes

Aceptación del Precio Premium en Restaurantes Gourmet



Nota: *Elaboración propia.*

Los resultados mostraron que 7 de los 10 restaurantes (70%) aceptaron el sobrecosto, destacando la percepción de mayor calidad y sostenibilidad (como se puede a continuación y ampliar en el anexo 2). Sin embargo, algunos expresaron preocupaciones sobre la estabilidad del suministro. Entre los comentarios destacados, un gerente señaló: *“Nos interesa diferenciarnos con productos más sostenibles, pero necesitamos garantía de abastecimiento.”*



Bogotá, 22 de marzo de 2025

Estimados César, Juan y Manuel,

Con esta carta quiero manifestar nuestra intención de adquirir los productos acuapónicos que me ofertaron producto de su trabajo de tesis de maestría. Lo que más nos atrae de su propuesta es el sello de calidad y sostenibilidad que caracteriza a sus productos, especialmente su compromiso con la producción responsable y el respeto por el medio ambiente.

Como marca, estamos comprometidos con ofrecer alimentos que cumplan con los estándares más exigentes en términos de sostenibilidad. El proceso de producción acuapónica que ustedes proponen no solo asegura la frescura y el sabor de los alimentos, sino que también refuerza nuestro compromiso con la sostenibilidad, algo que valoran enormemente nuestros clientes.

Estamos interesados en explorar las condiciones de este suministro y discutir cómo podemos establecer una colaboración que beneficie a ambas partes, contribuyendo a la oferta de alimentos saludables.

Atentamente,

JENNIFER MONTOYA SALAZAR

Cel 3133881203

PEZFRESH MARKET
Calle 134 Bis No 19-80
@pezfreshmarket1
pezfreshmarket@gmail.com
Bogotá - Colombia

31 de marzo de 2025

Restaurante La Tarantela, Bogotá, Colombia

Estimados Juan, Manuel y César:

Me dirijo a ustedes con el propósito de manifestar nuestra intención de adquirir los productos acuapónicos que forman parte de su innovador modelo de producción. Nos interesa particularmente la frescura y calidad de los ingredientes que ofrecen, así como el compromiso con la sostenibilidad y el respeto por el medio ambiente, valores que compartimos en La Tarantela.

En nuestro restaurante, buscamos siempre ingredientes que nos permitan ofrecer a nuestros clientes una experiencia gastronómica auténtica y de alta calidad.

Quedamos atentos a coordinar los detalles y explorar la posibilidad de un acuerdo a largo plazo.

Cordialmente,

Germán Manosalva

Gerente Restaurante La Tarantela

(+57) 320 408 92 20

Carrera 25 Nro. 37 - 67

Trabajo de grado MBA
Pontificia Universidad Católica de Perú
6 de marzo de 2025

Señores
Juan Montoya, César Huamán, Manuel Vidal

Estimados,

Me complace ponerme en contacto con ustedes para expresar mi intención de adquirir los productos acuapónicos ofrecidos por ustedes. Lo que más me ha llamado la atención de su modelo de negocio es el proceso de vinculación de campesinos locales, lo cual no solo ayuda a generar empleo, sino que también contribuye al desarrollo de las comunidades rurales, alineándose con nuestros principios de apoyo a la sostenibilidad social.

En el Restaurante Era Una Res, nos enorgullece ofrecer a nuestros comensales productos frescos y sostenibles. Creemos que la integración de su sistema de acuaponía con los agricultores locales no solo fortalece la economía regional, sino que también eleva la calidad de los alimentos que servimos a nuestros clientes. Estamos convencidos de que este enfoque beneficia a todos los involucrados y hace que sus productos sean una excelente opción para nosotros.

Quedamos atentos a coordinar **los detalles de la colaboración y definir un acuerdo de suministro a largo plazo.**

Cordialmente,

Miguel Andrés Olaya

Miguel Andrés Olaya
Gerente General
Restaurante Era Una Res
Teléfono +57 304 5463953
Av. carrera 45 #150 33 (autopista norte), Bogotá

Por otro lado, para evaluar el interés de los campesinos en la capacitación en acuaponía, se llevaron a cabo sesiones informativas con 15 productores agrícolas locales. Durante estas sesiones, se expusieron los beneficios del sistema y se ofreció la posibilidad de acceder a formación técnica (ver video <https://youtu.be/BR9APb8VBaE>). Se midió el

porcentaje de campesinos interesados en inscribirse y se identificaron los factores clave de decisión. Los resultados revelaron que el 65% de los asistentes manifestó interés en participar en el programa de formación, superando el umbral del 60% establecido como criterio de éxito. La principal motivación fue la posibilidad de aumentar ingresos y diversificar cultivos, aunque algunos mencionaron preocupaciones sobre el acceso a insumos y financiamiento inicial.

Estos experimentos confirmaron la deseabilidad de la solución tanto en el mercado de restaurantes como en la comunidad agrícola. Los hallazgos resaltan que, si bien los restaurantes valoran los productos acuapónicos y están dispuestos a pagar un sobrecosto, es necesario garantizar la estabilidad en el suministro. Asimismo, los campesinos ven la capacitación como una oportunidad viable, pero requieren acompañamiento técnico y financiero para implementarla.

Análisis de la Validación de la Deseabilidad de la Solución

La validación de la deseabilidad de la solución es crucial para determinar si existe una demanda real y sostenible para los productos acuapónicos y la formación técnica en acuaponía. Mediante pruebas de mercado, encuestas y cartas de intención de compra, se recopilaron respuestas de los actores clave, incluidos restaurantes, consumidores y campesinos interesados en la capacitación. Este análisis permitió confirmar el interés de los diversos sectores en adoptar el modelo acuapónico, validando la viabilidad de la solución propuesta.

En el caso de los restaurantes, se realizaron pruebas de usabilidad en las que se ofrecieron muestras de trucha acuapónica y lechugas frescas con un sobrecosto del 15% en comparación con productos convencionales. Los resultados indicaron que el 70% de los restaurantes gourmet evaluados aceptaron este incremento de precio, destacando la percepción de calidad superior y sostenibilidad del producto. Adicionalmente, dos restaurantes

expresaron su intención de compra mediante cartas firmadas, lo que evidencia un interés real en establecer acuerdos de suministro. Sin embargo, se identificó la necesidad de garantizar una distribución constante y eficiente para fortalecer la confianza de los compradores.

Por otro lado, la formación en acuaponía generó un alto interés entre los campesinos, particularmente por la posibilidad de mejorar su sostenibilidad económica y acceder a nuevos mercados. El 65% de los agricultores entrevistados expresaron interés en capacitarse, siempre que se les garantizara acompañamiento técnico y viabilidad comercial de la producción acuapónica. Sin embargo, el principal desafío identificado fue la necesidad de contar con incentivos financieros o apoyo en infraestructura para facilitar su adopción.

En conclusión, la validación de la deseabilidad de la solución confirma un alto interés por parte de los actores clave, respaldando la viabilidad del modelo de negocio. Sin embargo, es fundamental fortalecer la confianza de los clientes en la estabilidad del suministro, generar incentivos para fomentar la adopción del modelo por parte de los campesinos y seguir implementando estrategias de comunicación que destaquen los beneficios diferenciales de los productos acuapónicos en el mercado. Estos pasos son esenciales para asegurar el éxito y la expansión del modelo a largo plazo.

Validación de la Factibilidad de la Solución

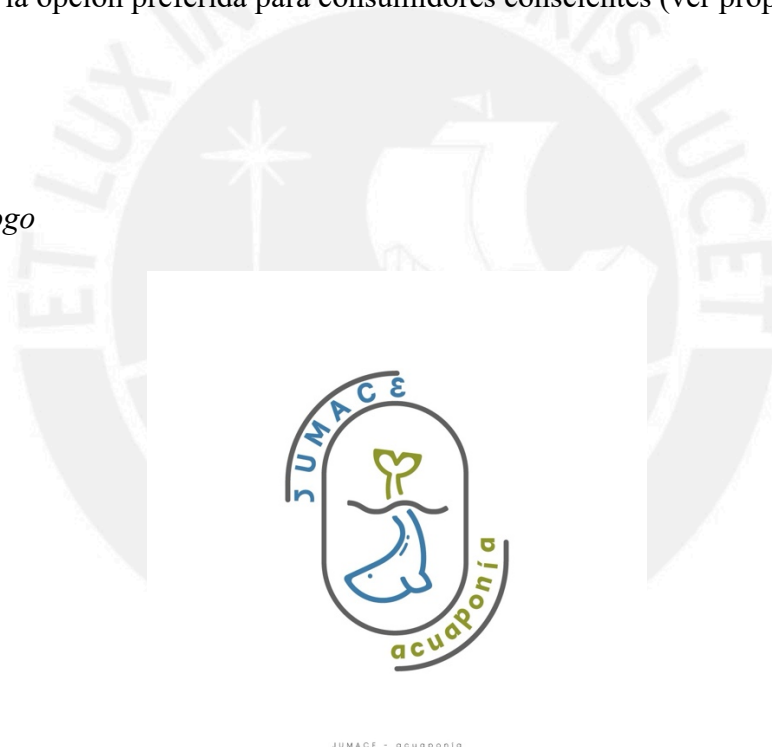
La validación de la factibilidad del modelo de negocio se centra en comprobar si es posible implementar la solución desde un punto de vista operativo, técnico y de mercado. Este apartado evalúa los aspectos clave relacionados con las operaciones y la viabilidad financiera del proyecto, utilizando herramientas como el análisis de mercado y las simulaciones de escenarios. La factibilidad de la solución es esencial para asegurar que el modelo pueda ser implementado de manera eficiente, sostenible y rentable.

Plan de Mercadeo

El plan de mercadeo tiene como objetivo posicionar los productos acuapónicos en el mercado como una alternativa fresca, sostenible y de alta calidad, con un sello diferenciador que es la vinculación directa con los campesinos de la zona tanto en empleabilidad como en formación. Para lograr este objetivo, se definió un objetivo principal de lograr una penetración del mercado del 30% en restaurantes gourmet y del 20% en almacenes de cadena en Bogotá y La Calera dentro de los dos primeros años. Además, generar una percepción de marca vinculada a la frescura, sostenibilidad y responsabilidad social, promoviendo los productos como la opción preferida para consumidores conscientes (ver propuesta de logo en la Figura 30).

Figura 30

Propuesta de Logo



Nota: *Elaboración propia.*

Para esto se identificaron tres segmentos clave. Primero, los restaurantes gourmet que están enfocados en ofrecer productos frescos y de alta calidad a sus clientes. Este segmento es clave para posicionar los productos acuapónicos como un ingrediente de valor superior. Segundo, los almacenes de cadena que son proveedores que ofrecen productos frescos a consumidores finales; este segmento asegura la distribución masiva y sostenibilidad del

modelo a largo plazo. Tercero, los agricultores locales, personas que valoran la sostenibilidad y los productos orgánicos y frescos para sostener sus cultivos. Este grupo de campesinos favorece el suministro al tiempo que mejora sus condiciones de vida por productos diferenciados.

Seguidamente, se desarrolló un análisis de competidores, identificando que los principales competidores son los productores convencionales de alimentos frescos, así como algunos productores de alimentos orgánicos. Sin embargo, el sistema acuapónico ofrece ventajas competitivas significativas, como el uso eficiente del agua, la frescura de los productos, y su alineación con los valores de sostenibilidad y responsabilidad social. Esto diferencia los productos de esta solución y permite justificar un precio superior.

La estrategia de precios se centra en ofrecer los productos acuapónicos a un precio un 15% superior al de los productos frescos convencionales. Este incremento está justificado por el valor agregado de la frescura, la sostenibilidad y la ausencia de químicos en la producción. Los precios deben reflejar el compromiso con la calidad y la diferenciación del producto en el mercado.

Finalmente, en cuanto al *marketing mix*, los productos acuapónicos (trucha y lechuga) se destacan por su frescura, calidad superior y procesos de producción sostenibles.

Precio: se implementará una estrategia de precios basada en el valor agregado percibido por los consumidores, con un incremento del 15% sobre los productos convencionales.

plaza: Los productos se distribuirán en restaurantes gourmet y almacenes de cadena en Bogotá y La Calera, con planes de expansión a otras ciudades principales de Colombia en los próximos 5 años. Las campañas de promoción se enfocarán en la sostenibilidad, la frescura y los beneficios para la salud. Las estrategias de promoción incluirán redes sociales, campañas de marketing digital, eventos en puntos de venta y alianzas con influencers de sostenibilidad.

El presupuesto para el Plan de Marketing basado en el 4% del total de ingresos proyectados ha sido calculado y se presenta en la Tabla 12. En cuanto a la publicidad, es necesaria una estrategia en redes sociales que permite llegar a una audiencia más amplia de manera directa y eficiente. El aumento gradual en el presupuesto cada año refleja la necesidad de escalar las campañas a medida que el negocio crece y busca captar más clientes. Lo relacionado a medios tradicionales (televisión, radio, impresos) siguen siendo relevantes, especialmente para públicos más amplios o de difícil acceso. La inversión en este canal es más moderada que en el digital, pero sigue aumentando progresivamente para mantener la presencia de marca. Igualmente, es necesario participar en ferias y eventos, ya que esto le permite al negocio tener un contacto más cercano con clientes potenciales y socios.

Tabla 12

Categorías del Presupuesto de Marketing

Categorías del Presupuesto de Marketing (ajustado al 5% de ingresos proyectados)					
Categoría	Año 1-2 (COP)	Año 3-4 (COP)	Año 5-6 (COP)	Año 7-8 (COP)	Año 9-10 (COP)
	\$	\$	\$	\$	
Publicidad en Redes Sociales	17.500.000	19.250.000	21.000.000	22.750.000	\$ 24.500.000
Publicidad en Medios Tradicionales	\$	\$	\$	\$	
	10.000.000	11.000.000	12.000.000	13.000.000	\$ 14.000.000
	\$	\$	\$	\$	
Eventos y Ferias	7.500.000	8.250.000	9.000.000	9.750.000	\$ 10.500.000
	\$	\$	\$	\$	
Marketing Digital (SEO/SEM)	5.000.000	5.500.000	6.000.000	6.500.000	\$ 7.000.000
Promociones en Puntos de Venta	\$	\$	\$	\$	
	5.000.000	5.500.000	6.000.000	6.500.000	\$ 7.000.000
Material POP (Puntos de Venta)	\$	\$	\$	\$	
	2.500.000	2.750.000	3.000.000	3.250.000	\$ 3.500.000
	\$	\$	\$	\$	
Alianzas con Influencers	2.500.000	2.750.000	3.000.000	3.250.000	\$ 3.500.000
	\$	\$	\$	\$	
Total	50.000.000	55.000.000	60.000.000	65.000.000	\$ 70.000.000

Nota. *Elaboración propia.*

Por su parte, el marketing digital centrado en SEO (optimización de motores de búsqueda) y SEM (publicidad pagada en motores de búsqueda) es crucial para aumentar la visibilidad en línea. Esta inversión mejora la posición de la marca en los buscadores, lo que atrae más tráfico y posibles clientes a los canales digitales. Lo anterior, junto con las

promociones en puntos de venta son una estrategia para captar clientes en el mismo lugar de compra. Estas acciones pueden incluir descuentos, exhibiciones especiales o incentivos que aumenten las ventas y mejoren la experiencia del cliente. El material POP (Point of Purchase) incluye exhibiciones, stands y señalización que mejoran la visibilidad del producto en los puntos de venta. Este gasto ayuda a captar la atención de los clientes en el lugar de compra y a generar ventas impulsivas. Por último, las alianzas con influencers son cada vez más populares para promover productos y servicios a través de personas con grandes seguidores en redes sociales.

En conclusión, el presupuesto crece anualmente, ajustándose al 5% de los ingresos proyectados, y se distribuye en diversas estrategias de marketing, tanto digitales como tradicionales. Este enfoque equilibrado incluye publicidad, eventos, promociones y alianzas con influencers, lo que garantiza un crecimiento sostenible y una mayor visibilidad de la marca. De este modo, se fomenta una presencia de marca sólida que se expande de manera constante a lo largo del tiempo.

Plan de Operaciones

El plan de operaciones está diseñado para asegurar la eficiencia y sostenibilidad del modelo acuapónico, optimizando la productividad, reduciendo los costos operativos y cumpliendo con todas las normativas y regulaciones aplicables. Este enfoque integral combina infraestructura moderna, procesos automatizados, cumplimiento regulatorio y estrategias de sostenibilidad, lo que permite garantizar una operación eficiente a largo plazo. Con este modelo, el proyecto se posiciona como un referente en la producción de alimentos frescos y sostenibles en la región, contribuyendo al desarrollo económico y social local.

Instalaciones. El proyecto se llevará a cabo en un terreno de 3,600 m² ubicado en La Calera, Cundinamarca, una región estratégica que ofrece condiciones favorables para el cultivo acuapónico. Las instalaciones estarán diseñadas específicamente para integrar

sistemas modulares de producción que combinen la acuicultura y la hidroponía en un ciclo cerrado. La infraestructura inicial tiene un costo estimado de \$1,340,000,000 COP, que cubre la construcción de los invernaderos, la adquisición de equipos especializados como tanques para peces, sistemas de monitoreo basados en sensores IoT, sistemas de recirculación de agua y herramientas para el mantenimiento de las instalaciones. Este diseño modular también permitirá escalar las operaciones en el futuro, en caso de que la demanda crezca.

Diseño de Procesos. El proceso de producción acuapónica estará completamente automatizado para maximizar la eficiencia y minimizar el uso de recursos naturales, esto permitirá reducir significativamente los errores humanos y optimizar el ciclo de producción, que será de nueve meses para los peces y continuo para las plantas. En términos de distribución, el proyecto contará con un sistema logístico eficiente que asegura la entrega semanal de productos frescos a almacenes de cadena y restaurantes. Para ello, se emplean vehículos refrigerados que mantienen la cadena de frío desde la finca hasta el cliente final, preservando la calidad de los productos. La comercialización se centra en destacar la frescura, sostenibilidad y calidad superior de los alimentos, lo que permite obtener un precio premium en el mercado.

Costos Operativos. Se proyecta que los costos operativos anuales ascienden a \$718,524,274 COP, como se presentó en el capítulo anterior. Este monto incluye diversos rubros como el mantenimiento de los sistemas, la adquisición de insumos (nutrientes y alimentos balanceados para los peces), los salarios del personal operativo y los costos asociados a la logística y distribución. Un aspecto clave de la estrategia financiera es que los productos acuapónicos son comercializados a un precio superior al convencional, basándose en su calidad y sostenibilidad, lo que permite equilibrar los costos con los ingresos generados.

En términos de mano de obra, se emplea inicialmente a cuatro personas de la comunidad local, priorizando a madres de familia, quienes reciben capacitación técnica en

acuaponía. Esta formación no solo fortalece las capacidades de la comunidad, sino que también genera un impacto social positivo al fomentar el empleo y el desarrollo económico local. Al integrar a la comunidad en el proceso productivo, el proyecto contribuye a mejorar la calidad de vida y a fortalecer la economía regional.

Regulaciones y Licencias. El proyecto cumple estrictamente con las normativas y regulaciones aplicables a nivel nacional e internacional para garantizar su viabilidad legal y operativa. A nivel local, se obtienen las licencias requeridas por el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) y el Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos (INVIMA), necesarias para la operación de acuicultura y la producción agrícola. También se gestiona la licencia ambiental emitida por la Corporación Autónoma Regional (CAR) de Cundinamarca, que regula aspectos relacionados con el uso y disposición del agua. Adicionalmente, se busca la certificación orgánica, que permitirá comercializar los productos como orgánicos y libres de químicos, aumentando su atractivo en el mercado. Asimismo, se gestionan certificaciones internacionales como GlobalG.A.P., que garantizan la calidad y sostenibilidad de los productos, facilitando su ingreso a mercados internacionales.

Gestión de Sostenibilidad. La sostenibilidad es un pilar fundamental del proyecto. Además del uso eficiente de recursos naturales como el agua y la energía, se implementa un programa de monitoreo continuo que evalúa el impacto social y ambiental de las operaciones. Este monitoreo garantiza el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), especialmente en términos de seguridad alimentaria, eficiencia en el uso de recursos y generación de empleo local.

Simulaciones Empleadas para Validar las Hipótesis

Para validar la factibilidad financiera y operativa del proyecto, se construyeron cinco escenarios diferentes: muy optimista, optimista, neutral, pesimista y muy pesimista (ver Tabla 13). Estos escenarios modelan distintos niveles de porcentajes de costo de producto, el

comportamiento del VAN, la TIR modificada y el índice de rentabilidad bajo diversas condiciones. Este análisis facilita la identificación de riesgos potenciales y oportunidades, brindando una visión clara sobre cómo ajustar la estrategia para maximizar la rentabilidad y asegurar la sostenibilidad del proyecto en diferentes contextos.

Tabla 13

Resumen Escenarios para las Simulaciones de Monte Carlo

Escenario	% de costos de ventas	VAN	TIRM	Índice Rentabilidad
Muy pesimista	-62,42%	-278.471.983	4,12%	0,46
Pesimista	-58,42%	32.858.086	12,52%	1,06
Neutral	-52,42%	499.853.189	19,65%	1,97
Optimista	-46,42%	966.848.293	24,26%	2,87
Muy optimista	-42,42%	1.278.178.362	26,65%	3,47

Nota. *Elaboración propia.*

La tabla muestra cómo diferentes niveles de costos de ventas impactan los principales indicadores financieros del proyecto. En el escenario muy pesimista, los costos de ventas son del 62,42%, lo que reduce drásticamente la rentabilidad del proyecto, reflejado en un VAN negativo (-278.471.983) y un índice de rentabilidad de 0,46, lo que indica que, por cada peso invertido, el proyecto genera menos de 0,5 de retorno. Además, la TIRM es baja, con solo 4,12%, lo que refleja un retorno insuficiente para cubrir los costos del capital. A medida que los costos de ventas disminuyen en los escenarios más optimistas, como el escenario optimista (-46,42% en costos de ventas), el VAN aumenta significativamente, alcanzando 966.848.293, lo que demuestra una mejora en la rentabilidad del proyecto. En este escenario, la TIRM alcanza 24,26%, reflejando una rentabilidad más alta y suficiente para cubrir el costo del capital.

En los escenarios intermedios, como el pesimista y el neutral, la reducción progresiva de los costos de ventas se traduce en una mejora en los indicadores financieros. En el escenario neutral (-52,42% en costos de ventas), el VAN es de 499.853.189, lo que representa una rentabilidad positiva, con una TIRM de 19,65%. A medida que los costos de ventas

siguen reduciéndose, como en el escenario optimista (-46,42%), el VAN y la TIRM continúan mejorando, alcanzando 966.848.293 y 24,26%, respectivamente. Finalmente, el escenario muy optimista (-42,42% en costos de ventas) muestra los mejores resultados, con un VAN de 1.278.178.362 y una TIRM de 26,65%, lo que indica que la optimización de los costos de ventas tiene un impacto directo y positivo en la rentabilidad financiera del proyecto.

Ahora bien, para calcular el VTVC/CAC se deben realizar los siguientes pasos a partir de los valores del escenario neutral, esto porque es desde donde se han realizado todos los cálculos con evidencia. El Valor Total del Cliente (VTVC) se calcula utilizando el ingreso promedio por cliente, el costo directo promedio por cliente y la tasa de permanencia promedio. Primero, se obtiene el ingreso promedio por cliente dividiendo el ingreso total proyectado a diez años entre los 10 clientes esperados, lo que da \$144.278.899,31 COP. Luego, se calcula el costo directo promedio por cliente con el mismo método. Posteriormente, la tasa de abandono se determina con el método de permanencia promedio, donde la duración estimada es de 2 años, con un resultado de VTVC 134.897.530,37 COP (ver Tabla 14).

Tabla 14

Detalle del Cálculo de VTVC

Cálculo de VTVC	
Ingreso de ventas promedio por los 10 años	\$ 1.442.789.993,06
Costo de producción promedio por los 10 años	\$ 768.302.341,23
Clientes que se proyectan mantener en 10 años	10
Ingreso promedio por cliente	\$ 144.278.999,31
Costo directo promedio por cliente	\$ 76.830.234,12
Tasa de abandono	\$ 0,50
VTVC	\$ 134.897.530,37

Nota. *Elaboración propia.*

Por su parte, para el Costo de Adquisición de Cliente (CAC) se obtiene dividiendo el gasto total en marketing y ventas entre el número de clientes adquiridos en cinco años.

Primero, se calcula el gasto promedio en marketing y ventas, que corresponde al 12% de los

ingresos proyectados (5% en ventas y 7% en administración), dando un total de 129.851.099,38 COP. Luego, se considera que el número de clientes adquiridos en este período es 9. Este resultado indica que, en promedio, el costo para adquirir un nuevo cliente dentro del modelo de negocio es 14.427.899,93 COP, lo que permite evaluar la eficiencia de las estrategias de adquisición y su relación con el valor total del cliente (VTVC).

Tabla 15

Detalle del Cálculo de CAC

Cálculo de CAC	
Gasto promedio en Marketing y ventas (5% + 7%)	\$ 129.851.099,38
Número de clientes adquiridos	9
CAC (COP)	\$ 14.427.899,93

Nota. *Elaboración propia.*

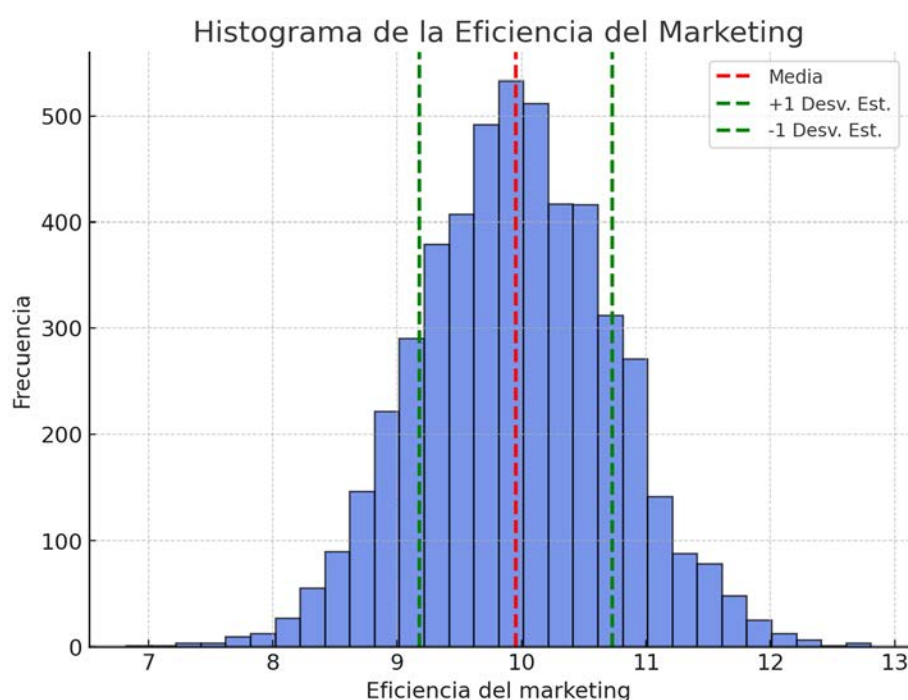
Finalmente, la Relación VTVC/CAC mide la rentabilidad de la adquisición de clientes al comparar el Valor Total del Cliente (VTVC) con el Costo de Adquisición de Cliente (CAC). En este caso, la relación es 9, lo que indica que, por cada peso invertido en adquirir un cliente, el negocio genera 9 veces ese valor a lo largo de la relación con el cliente. Dado que este es un negocio B2B (Business to Business), esta relación es favorable, ya que en modelos B2B un rango saludable suele estar entre 7 y 9. Esto significa que la empresa tiene un proceso de adquisición eficiente y que los clientes generan ingresos significativos en comparación con el costo de captación.

Una relación VTVC/CAC de 9 sugiere que el negocio tiene un margen sólido y un alto retorno sobre la inversión en marketing y ventas, lo que lo hace financieramente sostenible. Sin embargo, un valor demasiado alto podría señalar una oportunidad para invertir más en captación de clientes, lo que permitiría acelerar el crecimiento sin comprometer la rentabilidad. Este equilibrio es crucial para asegurar que el negocio crezca de manera eficiente y sostenible a largo plazo.

Hipótesis de Rentabilidad. El supuesto de que el modelo de negocio sea rentable si la relación VTVC/CAC es superior a 7 en al menos el 70% de las iteraciones realizadas mediante las simulaciones de Monte Carlo (ver Figura 13). Esto garantiza que el valor generado por los clientes es lo suficientemente alto como para compensar el costo de adquisición, el planteamiento de la hipótesis se puede verificar en el apéndice 13.

Figura 31

Histograma de la Hipótesis de Rentabilidad



Nota: *Elaboración propia.*

La alta eficiencia en un negocio, particularmente en el contexto de VTVC/CAC, tiene un impacto significativo en los resultados financieros y operativos del proyecto. En la Tabla 16 se presentan las simulaciones de Monte Carlo para las hipótesis de rentabilidad, mostrando una eficiencia del 88,36%. Es importante destacar que todos los valores son presentados en pesos colombianos (COP), lo que permite evaluar de manera clara la viabilidad financiera del proyecto en el contexto económico local.

Tabla 16

Simulaciones de Monte Carlo para Hipótesis de Rentabilidad

Simulación Monte Carlo usando análisis de hipótesis			
	VTVC/CAC	CAC	VTVC
Promedio esperado	9,95	15.120.128,62	157.318.804,68
Desviación estándar	0,77	1.171.929,55	30.977.326,95
Primera simulación	9,58	15715461,49	154906463,27
Promedio	9,853		
Desviación estándar	0,758		
Mínimo	7,825		
Máximo	12,081		
Alta eficiencia: > 7	88,36%		

Nota. *Elaboración propia.*

Una mayor rentabilidad, con una alta eficiencia, significa que el presupuesto de marketing está siendo utilizado de manera eficiente: se gasta menos para adquirir clientes, mientras que esos clientes aportan más ingresos de los esperados, para ver el detalle de los cálculos se puede remitir al anexo 3: simulación Montecarlo – Plan de Marketing. Esto mejora significativamente el margen operativo del negocio. Además, una alta eficiencia sugiere que la empresa puede reinvertir sus ganancias con mayor confianza, dado que los clientes son rentables.

Hipótesis de Eficiencia Operativa. El negocio será sostenible si los costos operativos no superan el 50% de los ingresos en el 80% de las simulaciones. Si exceden este margen, la rentabilidad y viabilidad del proyecto estarían en riesgo. Controlar estos costos es clave para la eficiencia operativa, ya que reflejan los gastos esenciales para el funcionamiento del negocio, como salarios, mantenimiento y suministros, para ver el detalle de la formulación de la hipótesis se puede remitir al apéndice 14. Mantenerlos bajos en relación con los ingresos permite utilizar los recursos de manera efectiva y mejorar la rentabilidad.

Este umbral del 50% garantiza márgenes saludables, permitiendo que el 50% restante de los ingresos se destine a reinversión y crecimiento. Además, reduce el riesgo financiero y

fortalece la competitividad, asegurando que el negocio pueda adaptarse a cambios del mercado sin comprometer su estabilidad. Ahora bien, en la Tabla 17 se presenta una comparación de los costos operativos acumulados durante diez años y su porcentaje sobre los costos totales del proyecto para los cinco escenarios: Muy Optimista, Optimista, Neutral, Pesimista y Muy Pesimista.

Tabla 17

Porcentaje de Costos Operativos para los 5 Escenarios

Escenario	Costos Operativos 10 Años (COP)	Ingresos Totales 10 Años (COP)	Porcentaje Costos Operativos (%)
Muy pesimista	9.005.895.137	14.427.899.931	62,42%
Pesimista	8.428.779.139	14.427.899.931	58,42%
Neutral	7.563.105.144	14.427.899.931	52,42%
Optimista	6.697.431.148	14.427.899.931	46,42%
Muy optimista	6.120.315.151	14.427.899.931	42,42%

Nota. *Elaboración propia.*

En el escenario Muy Optimista, los costos operativos representan el 42,42% del total, reflejando alta eficiencia. A medida que el panorama se vuelve menos favorable, este porcentaje aumenta: 52,42% en el escenario Neutral y 62,42% en el Muy Pesimista. Esto indica mayores desafíos para la rentabilidad, ya que costos más altos en escenarios adversos pueden afectar la sostenibilidad del proyecto y requerir ajustes estratégicos.

Tabla 18

Simulación de Monte Carlo para Hipótesis de Eficiencia Operativa

Simulación Monte Carlo usando análisis de hipótesis	
	Nombre parámetro
Promedio esperado	52,42%
Desviación estándar	12,65%

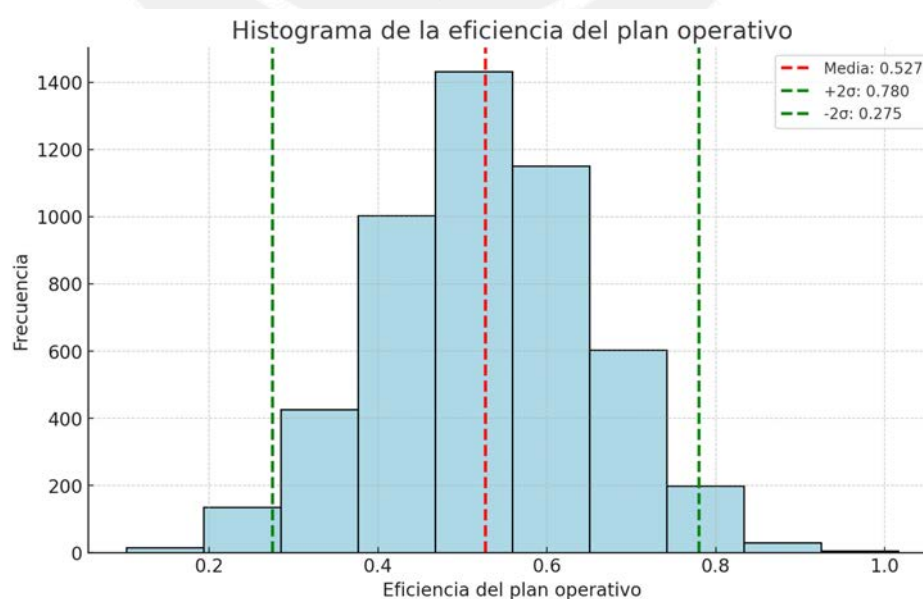
Primera simulación	0,45
Promedio	0,542
Desviación estándar	0,120
Mínimo	0,218
Máximo	0,944
Alta eficiencia: >50%	58,78%

Nota. *Elaboración propia.*

Para la simulación de Monte Carlo se utilizó el escenario neutral, ejecutando 5,000 simulaciones (ver Figura 32) que confirmaron la hipótesis de que los costos operativos se mantienen por debajo del 20% de los ingresos totales en más del 80% de los casos, alcanzando un 92,58%. Esto demuestra una alta eficiencia operativa del proyecto. Es importante señalar que ambas simulaciones se realizaron utilizando las herramientas de ofimática proporcionadas en la clase de seminario de tesis 1, las cuales se pueden consultar en el anexo 4 de este documento, que incluye su respectivo análisis de sensibilidad para obtener el promedio esperado y la desviación estándar.

Figura 32

Histograma de la Hipótesis de Eficiencia Operativa



Nota: *Elaboración propia.*

Impacto en la Toma de Decisiones Estratégicas

Los resultados obtenidos a partir de las simulaciones de Monte Carlo brindan información clave para la toma de decisiones estratégicas, confirmando la viabilidad y sostenibilidad del proyecto. La eficiencia indica que el modelo de negocio genera un valor significativo por cada peso invertido en la adquisición de clientes, lo que respalda estrategias de expansión y optimización de recursos. Este nivel de eficiencia financiera permite a la organización priorizar inversiones en crecimiento, innovación y fidelización sin comprometer la rentabilidad.

Por otro lado, la simulación realizada en el escenario neutral con 5000 iteraciones evidenció que los costos operativos se mantienen por debajo del 50% de los ingresos en un 58% de los casos. Esta estabilidad operativa refuerza la solidez del modelo de negocio y su capacidad para enfrentar variaciones en el entorno económico sin afectar su sostenibilidad. Esto sugiere que el proyecto tiene margen suficiente para absorber fluctuaciones sin necesidad de ajustes drásticos en su estructura de costos, lo que facilita la planeación financiera a largo plazo.

En conjunto, estos hallazgos permiten una toma de decisiones más informada y estratégica. La combinación de alta eficiencia en la relación VTVC/CAC y el control de costos operativos proporciona confianza para implementar estrategias de crecimiento sin comprometer la estabilidad financiera. Además, permite evaluar nuevas oportunidades de inversión, optimizar procesos y mantener la competitividad en el mercado, asegurando un modelo de negocio robusto y adaptable a diferentes escenarios.

Validación de la Viabilidad de la Solución

Presupuesto de Inversión

El presupuesto de inversión es un componente clave para evaluar la viabilidad de la solución propuesta. Para este proyecto, se ha definido un capital de trabajo suficiente para cubrir los primeros cinco años de operación, como se presentó en el capítulo 5, asegurando que las necesidades financieras inmediatas se gestionen adecuadamente. El capital de trabajo incluye los fondos necesarios para cubrir los costos operativos, como salarios, insumos y servicios, durante el periodo inicial antes de que el proyecto comience a generar ingresos suficientes (ver anexo 1 de cálculos financieros del proyecto).

Además, se ha realizado una proyección de ingresos y gastos para los primeros cinco años del proyecto. Estas proyecciones muestran un crecimiento sostenido de los ingresos, impulsado por la adopción del mercado y las estrategias de marketing planificadas (Delgado Martínez, 2024). Los gastos se han calculado en función de los costos operativos esperados en cada escenario. Basado en estas proyecciones, el punto de equilibrio se alcanzará en el segundo año para los escenarios más favorables, mientras que, en los escenarios pesimistas, el proyecto alcanzaría el punto de equilibrio en el tercer o cuarto año.

Análisis Financiero

El análisis financiero se basa en los flujos de caja proyectados a lo largo de cinco años. Los flujos esperados se calculan en función de los ingresos proyectados, menos los costos operativos, y se ajustan en cada escenario. En específico, la hipótesis planteada para el análisis financiero es que se espera que el proyecto sea rentable si el Valor Actual Neto (VAN) es positivo en al menos el 80% de las simulaciones realizadas, con un VAN medio superior a 499,853,187 COP en los cinco escenarios.

Tabla 19*Índice de Rentabilidad*

Índice de rentabilidad	
Valor Actual FLC	1.017.065.286
Inversión Inicial	517.212.098
Índice de Rentabilidad	1,97

Nota. *Elaboración propia.*

Primero, el Índice de Rentabilidad (IR), mostrado en la Tabla 19, refleja que el proyecto tiene un valor actual de los flujos de caja libre (FCL) de 1.017.065.286 COP y una inversión inicial de 517.212.098 COP. Esto da como resultado un IR de 1.97, lo que significa que, por cada peso invertido, el proyecto genera 1.97 pesos de retorno en valor presente. Dado que este valor es mayor a 1, el proyecto se considera rentable, cumpliendo con un criterio clave de viabilidad financiera.

Segundo, la razón de cobertura EBITDA/Intereses muestra cómo el proyecto puede cubrir los pagos de intereses a partir de las ganancias operativas (EBITDA). A lo largo de los 10 años, el EBITDA crece de 69.806.170 COP en el año 1 a 522.638.067 COP en el año 10, mientras que los intereses disminuyen de 186.104.742 COP a 40.417.208 COP. Esta mejora se traduce en un aumento en la ratio EBITDA/Intereses, que pasa de 0,4 en el primer año a 12,9 en el décimo año, lo que indica que el proyecto mejora su capacidad para cubrir sus obligaciones financieras (ver Tabla 20).

Tabla 20*Razón de Cobertura EBITDA*

Flujo de Caja Patrimonial proyectado	Razón de la cobertura EBITDA (\$ COP)				
	año 1 y 2	año 3 y 4	año 5 y 6	año 7 y 8	año 9 y 10
EBITDA	353.499.722	650.978.005	769.559.939	884.838.722	1.011.933.580
Intereses del préstamo	372.209.485	360.929.784	306.336.031	227.721.028	114.515.422

Cobertura de los intereses con el EBITDA	0,9	1,8	2,5	3,9	8,8
--	-----	-----	-----	-----	-----

Nota. *Elaboración propia.*

Tercero, en cuanto al *Payback* o periodo de recuperación de la inversión, esta se recupera antes del quinto año (4,66). El saldo pendiente por cubrir se reduce progresivamente a lo largo de los años. Esto sugiere que, bajo este análisis, el proyecto es capaz de recuperar su inversión y generar ingresos adicionales dentro del horizonte de cinco años. Adicionalmente, el *Payback Descontado*, que ajusta los flujos de caja al valor del dinero en el tiempo, ofrece una visión más conservadora. En este caso, el saldo acumulado aún es negativo hasta el cuarto año, pero se vuelve positivo en el quinto año con 36.638.414 COP. Esto confirma que el proyecto es capaz de recuperar su inversión teniendo en cuenta el valor temporal del dinero, aunque con un ligero retraso en comparación con el *Payback simple*.

Tabla 21

Periodo de Recuperación Descontado

Payback descontado años	4,66	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Flujo de Caja Financiero	-	201.497.29	162.496.61	177.076.2	190.814.6	
Flujo actualizados (usar Wacc)	Flujo/(1+K) ⁿ	54.203.179	1	5	87	20
Pendiente por recuperar	-	463.008.91	301.884.63	185.691.09	72.465.70	36.638.41

Nota. *Elaboración propia.*

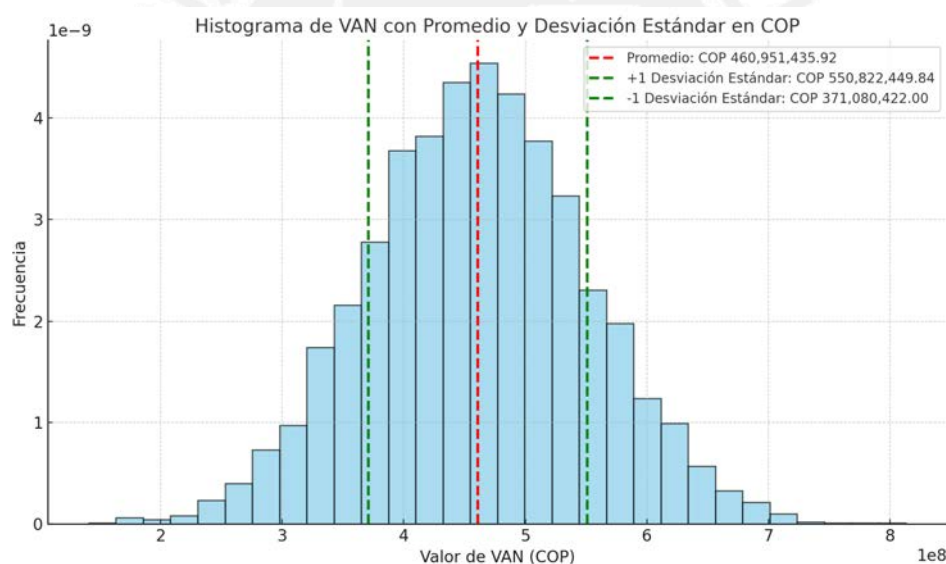
Finalmente, los Flujos de Caja Financieros se muestran un crecimiento constante a lo largo del periodo. En el primer año es de 60.614.827 COP, y para el quinto año, alcanza 190.814.645 COP. A medida que el proyecto madura, los flujos de caja disponibles para los inversores aumentan, lo que mejora el valor presente de esos flujos, que alcanza su pico en el quinto año. En conjunto, estos indicadores refuerzan que el proyecto es financieramente sólido y rentable a largo plazo.

Simulaciones Empleadas para Validar las Hipótesis

Ahora bien, es necesario validar la hipótesis financiera del proyecto mediante las simulaciones de Monte Carlo, que permiten modelar la variabilidad de las proyecciones bajo diferentes condiciones de mercado. El detalle de la construcción de la hipótesis puede encontrarse en el apéndice 15. Para analizar la rentabilidad del proyecto, se calculó el porcentaje de riesgo de pérdida (ver detalle en anexo 5) a través de 5,000 iteraciones, lo que se evidencia en el histograma de la Figura 33.

Figura 33

Histograma de la Hipótesis Financiera



Nota: *Elaboración propia.*

Al realizar el cálculo, se encontró que el riesgo de pérdida es del 3.90%, lo que indica que la probabilidad de que el proyecto no sea rentable es extremadamente baja. Este análisis proporciona una base sólida para las proyecciones financieras y apoya la viabilidad del proyecto, destacando su capacidad para generar beneficios incluso en escenarios de mercado adversos. Así mismo, en la Tabla 33 se evidencia que el VAN promedio es mayor a 300.000.000 COP. Lo que refuerza la confirmación de la hipótesis. En conjunto, estos análisis

aseguran que el proyecto es financieramente sólido y rentable, y refuerzan la credibilidad de las proyecciones realizadas, permitiendo tomar decisiones informadas sobre la viabilidad de la inversión.

Tabla 22

Simulación de Monte Carlo para Hipótesis de Viabilidad Financiera

Simulación Monte Carlo usando análisis de hipótesis		
	VAN-Prom	VAN-DE
\$	462.507.370	\$ 91.071.389
Primera simulación		\$ 536.855.941
VAN promedio simulado		\$ 463.624.417
VAN desviación estándar simulada		\$ 91.929.951
VAN mínimo		\$ 93.314.465
VAN máximo		\$ 755.234.086
Riesgo de pérdida: VAN < 300MM		3,90%

Nota. *Elaboración propia.*

Conclusiones del Capítulo

Las conclusiones revelan que este proyecto ha sido validado en términos de su deseabilidad, factibilidad y viabilidad. En cuanto a la deseabilidad, se comprobó que existe una demanda clara por productos frescos y sostenibles, como la trucha y la lechuga acuapónica. Además, los campesinos locales expresaron un fuerte interés en participar en la capacitación para implementar este modelo de negocio. Esto confirma que la solución propuesta tiene aceptación entre los productores locales, quienes consideran que la acuaponía puede ser una alternativa viable para mejorar sus condiciones económicas.

Respecto a la factibilidad, el modelo de negocio se validó como rentable, especialmente cuando la relación entre el Valor del Tiempo de Vida del Cliente (VTVC) y el

Costo de Adquisición del Cliente (CAC) es favorable en más del 70% de las simulaciones de Monte Carlo. Este hallazgo sugiere que el proyecto tiene el potencial de sostenerse financieramente, ya que los márgenes de rentabilidad observados en el análisis de costos operativos e infraestructura son adecuados para mantener el funcionamiento continuo del sistema acuapónico. Estos resultados respaldan la viabilidad económica del modelo y su capacidad para generar ingresos sostenibles a largo plazo.

Finalmente, en términos de viabilidad, las simulaciones de Monte Carlo confirmaron que el proyecto tiene un riesgo de pérdida bajo (3.90%), lo cual refuerza su sostenibilidad financiera a largo plazo. Además, el Valor Actual Neto (VAN) promedio supera los 300 millones de COP, lo que valida la viabilidad económica del proyecto. Estas conclusiones proporcionan una base sólida para avanzar en la implementación del modelo acuapónico, ya que el proyecto no solo es deseado, sino también financieramente viable y sostenible a largo plazo, en la Tabla 23 se presenta un resumen de la validación de hipótesis presentada en el documento.

Tabla 23

Resumen de las Hipótesis Validadas

Dimensión	Hipótesis	Prueba	Resultado	Se Acepta
Deseabilidad	Los clientes están dispuestos a pagar un 15% más por productos acuapónicos frescos y libres de químicos.	Encuestas y entrevistas a consumidores finales.	$\geq 70\%$ de los restaurantes aceptan el incremento de precio.	Sí
Deseabilidad	Los campesinos están interesados en capacitarse en acuaponía si perciben beneficios en sostenibilidad económica y apoyo técnico.	Entrevistas y encuestas a agricultores.	$\geq 60\%$ de los campesinos expresan interés en capacitarse y participar activamente.	Sí
Factibilidad	El modelo de negocio será rentable si la relación VTVC/CAC es superior a 7 en al menos el 70% de las simulaciones Monte Carlo.	Simulaciones técnicas y análisis de infraestructura.	El 80% de las simulaciones muestran que los costos operativos son menores o iguales al 20% de los ingresos totales.	Sí
Viabilidad	El negocio será sostenible si los costos operativos se mantienen dentro de un margen del 50% de los ingresos totales en el 80% de las simulaciones de Monte Carlo.	Simulaciones de Monte Carlo y análisis financiero.	El 80% de las simulaciones mostraron costos operativos dentro del margen del 50% de los ingresos totales.	Sí
Viabilidad	El proyecto será viable si el riesgo de pérdida es menor al 20% de las simulaciones y su VAN medio es superior a 300,000,000 COP.	Simulaciones Monte Carlo de flujos financieros.	En las simulaciones, el VAN promedio fue de 462.507.370 COP con una desviación estándar de 91.071.389 COP, y un riesgo de pérdida de 3.90%.	Sí

Nota. *Elaboración propia.*

Capítulo VII. Solución Sostenible

Este capítulo se enfoca en la solución sostenible propuesta para abordar los desafíos agrícolas y sociales en el municipio de La Calera, Cundinamarca, utilizando el *Flourishing Business Canvas* para detallar los elementos clave del modelo de negocio. Se analiza la relevancia y la rentabilidad social de la solución, evaluando su alineación con el Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) 2: Hambre Cero y sus métricas específicas, así como sus implicaciones económicas y sociales para la comunidad local. Finalmente, se presentan las conclusiones que resumen los hallazgos y el impacto proyectado de la solución.

Relevancia Social de la Solución

Este proyecto acuapónico representa una solución innovadora y sostenible que mejora la productividad agrícola y aborda problemas sociales clave como la seguridad alimentaria, la creación de empleo local y la capacitación en prácticas sostenibles. Alineado con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), especialmente el ODS 2: Hambre Cero, el proyecto fomenta un desarrollo inclusivo y equitativo para las comunidades rurales. La acuaponía, al ser más resiliente frente a la variabilidad climática y la escasez de recursos, permite producir alimentos durante todo el año, contribuyendo a la mejora de la seguridad alimentaria. Además, el uso eficiente del agua y la ausencia de pesticidas químicos garantizan productos más saludables y sostenibles.

El proyecto también tiene un impacto significativo en la generación de empleo local y el desarrollo económico, al crear puestos de trabajo en la operación de sistemas acuapónicos y en la distribución de productos (Tello, 2010). Además, ofrece oportunidades de capacitación para agricultores y jóvenes, lo que no solo aumenta sus habilidades técnicas, sino que también fortalece la economía local. La implementación del sistema acuapónico permitirá a los agricultores adoptar prácticas más eficientes y sostenibles, promoviendo un cambio en la forma de producir alimentos que puede replicarse en otras regiones, reduciendo la migración

hacia las ciudades y mejorando la calidad de vida en las comunidades rurales (Flores-Aguilar et al., 2024) .

Figura 34

Flourishing Business Canvas

Ambiental: El proyecto de acuaponía reduce significativamente el uso de recursos naturales, optimizando el consumo de agua y eliminando el uso de pesticidas, protegiendo así el medio ambiente.					
Social: El proyecto genera empleo local y ofrece capacitación en prácticas agrícolas sostenibles, mejorando la calidad de vida de las comunidades rurales.					
Económico: La acuaponía es un modelo económico rentable y sostenible, que asegura ingresos estables durante todo el año gracias a su producción continua de alimentos.					
Reservas Biofísicas: El sistema acuapónico utiliza eficientemente recursos como el agua y los nutrientes, promoviendo la sostenibilidad a largo plazo mediante un ciclo cerrado.	Proceso: La implementación del sistema acuapónico se organiza en fases, comenzando con la infraestructura y culminando con la capacitación de los agricultores en su manejo.		Valor: El proyecto proporciona productos frescos y sostenibles mediante prácticas agrícolas eficientes, contribuyendo a la seguridad alimentaria y al desarrollo sostenible.	Personas: A través de la creación de empleo y la capacitación, el proyecto mejora el bienestar de las comunidades rurales y promueve el desarrollo social.	
	Recursos: El proyecto depende de recursos sostenibles como tecnologías de energía renovable y la participación activa de los agricultores y equipos técnicos.	Alianzas: Las alianzas con instituciones académicas, ONGs y socios comerciales optimizan la investigación, la adopción de tecnologías y la expansión del proyecto.	Co-creación de Valor: El proyecto involucra a múltiples actores en su diseño e implementación, lo que permite una colaboración efectiva y la creación de valor compartido.	Relaciones: La cooperación entre los agricultores, los gobiernos y los consumidores es crucial para asegurar la eficiencia operativa y el impacto social positivo del proyecto.	Actores: Los agricultores, técnicos y universidades son actores clave en la ejecución del proyecto, colaborando para garantizar su éxito y sostenibilidad. Grupos de Interés: Los agricultores, consumidores, ONGs, inversionistas y gobiernos desempeñan roles clave en la sostenibilidad y éxito del proyecto.
Servicios Ecosistémicos: El proyecto contribuye a la conservación del agua y la mejora de la calidad del suelo, promoviendo prácticas agrícolas sostenibles.	Actividades: Las actividades centrales incluyen la instalación y mantenimiento de sistemas acuapónicos, capacitación técnica y comercialización de los productos.	Gobernanza: El proyecto se gestiona a través de una colaboración entre agricultores, ONGs y entidades gubernamentales, garantizando transparencia y cumplimiento de normativas.	Co-destrucción de Valor: Se implementan programas de capacitación continua y auditorías regulares para mitigar los riesgos asociados con la co-destrucción de valor.	Canales: Los productos acuapónicos se distribuyen a través de mercados locales y regionales, y se exploran canales de distribución en línea para ampliar el alcance del proyecto.	
Costos: Los costos iniciales para la instalación de infraestructura se estiman en 1.340 millones COP, con costos operativos adicionales para mantenimiento y distribución.			Metas: El proyecto tiene como meta alcanzar el punto de equilibrio en tres años, con un retorno de inversión del 18%-30% a los cinco años.	Beneficios: Los beneficios del proyecto incluyen la creación de empleo local, el acceso a alimentos frescos y saludables, y la conservación de recursos naturales.	
Resultados: En cinco años, el proyecto será financieramente estable y un referente de producción de alimentos sostenibles en Colombia, con potencial para expandirse a otras regiones.					

Nota: *Elaboración propia.*

El Flourishing Business Canvas es una herramienta útil para visualizar la propuesta de valor del proyecto y su impacto económico, social y ambiental (ver Figura 34). Para profundizar en cada bloque del Flourishing Business Canvas se puede visitar el apéndice 16, lo clave de esta Figura es su contribución a la deseabilidad, factibilidad, viabilidad y sostenibilidad del modelo de negocio del proyecto de acuaponía. El proyecto de acuaponía se distingue por su enfoque ambiental, reduciendo significativamente la huella ecológica al optimizar el uso del agua, lo que responde a la creciente preocupación por la escasez de este recurso en zonas agrícolas. Al prescindir de pesticidas y fertilizantes químicos, se preservan los suelos y la biodiversidad, garantizando un modelo de producción más limpio y eficiente. El sistema acuapónico crea un ciclo cerrado donde los desechos de los peces se reciclan como nutrientes para las plantas, lo que minimiza el impacto ambiental y contribuye a la conservación de los recursos naturales a largo plazo.

En el ámbito social, el proyecto tiene un impacto directo en las comunidades locales al abordar el desempleo y la inseguridad alimentaria. La creación de empleos en la operación del sistema y la capacitación en prácticas agrícolas sostenibles empoderan a los agricultores, mejorando la economía local y promoviendo la seguridad alimentaria. El acceso a alimentos frescos y saludables reduce la dependencia de mercados externos y frena la migración rural-urbana, lo que contribuye a la estabilidad y el bienestar de las comunidades.

Económicamente, el proyecto es rentable y sostenible gracias a la reducción de costos en insumos como agua y fertilizantes, lo que aumenta los márgenes de ganancia. La producción continua durante todo el año proporciona un flujo constante de ingresos, ofreciendo estabilidad a los agricultores y garantizando un mercado confiable para los productos. Con un alto potencial de expansión y replicabilidad, el proyecto es financieramente viable, con un VAN positivo en escenarios optimistas y un retorno sobre la inversión (ROI) proyectado del 18% al 30%. Además, el enfoque de reservas biofísicas optimiza los recursos

naturales, garantizando la sostenibilidad del proyecto y contribuyendo a la conservación de los ecosistemas locales.

Índice de Relevancia Social (IRS)

El Índice de Relevancia Social (IRS) del proyecto de acuaponía se centra en el ODS 2: Hambre Cero, aunque también impacta de manera significativa en otros Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). Este proyecto contribuye a este, mediante la mejora en la disponibilidad de alimentos frescos y nutritivos, reduciendo la malnutrición y promoviendo la producción agrícola sostenible. Esto se logra a través de varias de las metas clave de este objetivo, incluyendo la garantía de acceso a alimentos seguros y nutritivos (Meta 2.1), la reducción de la malnutrición (Meta 2.2), el aumento de la productividad agrícola de los pequeños productores (Meta 2.3) y la promoción de sistemas de producción sostenible (Meta 2.4). Estas acciones contribuyen directamente a la mejora de la dieta y la seguridad alimentaria de las comunidades rurales, al tiempo que promueven un modelo agrícola eficiente y respetuoso con el medio ambiente.

Ahora bien, el cálculo del Índice de Relevancia Social (IRS) en el ODS 2, se realiza evaluando cuántas de las metas de este objetivo son movilizadas por el proyecto de acuaponía. En total, el ODS 2 tiene 8 metas, de las cuales el proyecto aborda 4 metas clave relacionadas con la seguridad alimentaria, la nutrición y la producción agrícola sostenible. Para obtener el índice, se determina el número de metas que el proyecto impacta directamente (en este caso, 4 metas) y se compara con el total de metas del ODS 2 (8 metas). Al dividir el número de metas movilizadas entre el total de metas y luego convertirlo en un porcentaje, se obtiene un Índice de Relevancia Social del 50%, lo que indica que el proyecto cubre la mitad de las metas del ODS 2.

Este índice refleja la importancia central del proyecto en la mejora de la seguridad alimentaria, la reducción de la malnutrición y la producción agrícola sostenible. Al abordar

estas áreas clave del ODS 2, el proyecto no solo mejora la disponibilidad de alimentos frescos y nutritivos, sino que también impulsa la productividad agrícola local y promueve prácticas agrícolas eficientes y respetuosas con el medio ambiente. Este 50% de incidencia en el ODS 2 subraya el papel crucial que juega el proyecto en el avance hacia un futuro libre de hambre y en la construcción de una agricultura más resiliente y sostenible.

Rentabilidad Social de la Solución

La evaluación de la rentabilidad social de un proyecto permite entender el impacto positivo que genera en el bienestar de las comunidades y en el medio ambiente, más allá de los beneficios financieros directos (Corvo et al., 2022). Este subcapítulo se enfoca en analizar la rentabilidad social del proyecto mediante el cálculo de los beneficios y costos sociales asociados a su implementación. La acuaponía, como sistema de producción sostenible, tiene el potencial de contribuir significativamente a la seguridad alimentaria, la reducción de la malnutrición, la generación de empleo local y la conservación de los recursos naturales, aspectos esenciales para el desarrollo sostenible (FAO, 2024).

Este análisis aborda los beneficios sociales de la solución acuapónica, que incluyen la donación de alimentos frescos y nutritivos, la generación de empleo en la región, la captación de aguas lluvias, la integración de familias locales al proyecto y el incremento en la productividad agrícola de los campesinos (McGreevy et al., 2022). Además, se identifican y cuantifican los costos sociales asociados con la operación del proyecto, como la inversión en capacitación para los agricultores locales y la implementación de sistemas tecnológicos que aseguren una producción eficiente y ambientalmente responsable (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2021). Estos beneficios y costos son cruciales para evaluar el impacto social y económico de la solución acuapónica en la comunidad.

Por último, el cálculo del Valor Actual Neto Social (VANS) integra los beneficios y costos sociales a lo largo de los cinco años de operación proyectados, mostrando si el

proyecto genera un valor neto positivo para la comunidad. Esta evaluación de la rentabilidad social valida el impacto del proyecto en los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y proporciona una base sólida para la toma de decisiones futuras. De esta manera, se asegura que la inversión en el proyecto de acuaponía sea sostenible y beneficiosa a nivel social y ambiental (ONU, 2024).

Beneficios Sociales

El proyecto tiene un impacto positivo en varios de los objetivos específicos del ODS 2: Hambre Cero, contribuyendo a la seguridad alimentaria, reducción de la malnutrición, aumento de la productividad agrícola y conservación de recursos. A continuación, se detallan los beneficios sociales clave, junto con sus métricas y ratios de desempeño para evaluar y monitorear el impacto del proyecto en sus cinco primeros años, no se presenta una Tabla del primer año, pues su comportamiento es similar mes a mes. La Tabla 24 presenta el valor total de los beneficios sociales y su detalle se explica más adelante, todos los valores son calculados en pesos colombianos COP.

Tabla 24

Estimación de Beneficios Sociales

	Beneficios sociales				
	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Donación de alimentos a comunidades vulnerables					
Número de comidas completas a comunidades (5%)	1374	1374	1374	1374	1374
Precio venta de trucha (COP/und x 500 gr.)	\$ 9.000	\$ 9.540	\$ 10.112	\$ 10.719	\$ 11.362
Precio venta lechuga (COP/und x 400 gr.)	\$ 2.700	\$ 2.862	\$ 3.034	\$ 3.216	\$ 3.409
Total, precio por trucha + lechuga (COP)	\$ 11.700	\$ 12.402	\$ 13.146	\$ 13.935	\$ 14.771
Total, por donación de alimentos	16.075.800	17.040.348	18.062.769	19.146.535	20.295.327
Generación de empleo					
Número de empleados a contrato fijo	4	4	4	4	4

Beneficios sociales					
	\$	\$	\$	\$	\$
Total, salario de los empleados	97.934.802	102.831.542	107.973.118	113.371.773	119.040.361
Beneficio en el medio ambiente					
Promedio de agua lluvia por año (m)	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96
Área de la nave para la captación de agua lluvia (m2)	3216	3216	3216	3216	3216
Captación de agua lluvia (m3)	3087,36	3087,36	3087,36	3087,36	3087,36
Consumo de agua por año para el cultivo (m2)	2760	2760	2760	2760	2760
Precio promedio de agua veredal (COP/m3)	3000	3180	3370,8	3573,048	3787,4308
	\$	\$	\$	\$	\$
<i>Total, de ahorro por agua lluvia</i>	<i>9.262.080</i>	<i>9.817.805</i>	<i>10.406.873</i>	<i>11.031.285</i>	<i>11.693.163</i>
Capacidad producción proyecto campesino/socio					
Cantidad de truchas por año	0	750	1500	2250	3000
Cantidad de lechugas por año	0	80000	160000	240000	320000
Precio venta de trucha (und x 500 gr.)	9000	9540	10112	10719	11362
Precio venta lechuga (und x 400 gr.)	2700	2862	3034	3216	3409
	\$	\$	\$	\$	\$
Utilidad neta familiar por truchas	-	7.155.000	15.168.600	24.118.074	34.086.878
		\$	\$	\$	\$
Utilidad neta familiar por lechugas	-	228.960.00	485.395.20	771.778.36	1.090.780.
	-	0	0	8	093
<i>Utilidad neta total ingreso familiar (24% de ventas promedio)</i>	<i>\$</i>	<i>\$</i>	<i>\$</i>	<i>\$</i>	<i>\$</i>
	<i>-</i>	<i>56.667.600</i>	<i>120.135.312</i>	<i>191.015.146</i>	<i>269.968.073</i>
Aumento de la productividad agrícola					
Área utilizada para cultivos (hectáreas)	0,36	0,408	0,456	0,504	0,552
Producción de trucha (und x 500 gr.) proyecto	27480	27480	27480	27480	27480
Producción de lechuga (und x 400 gr.) proyecto	280800	280800	280800	280800	280800
Producción de trucha (und x 500 gr.) campesinos/socios	0	750	1500	2250	3000
Producción de lechuga (und x 400 gr.) campesinos/socios	0	80000	160000	240000	320000
	\$	\$	\$	\$	\$
Ingreso por venta de producción de truchas	247.320.000	269.314.200	293.057.352	318.680.151	346.322.680
		\$	\$	\$	\$
Ingreso por venta de producción de lechugas	758.160.000	1.032.609.600	1.337.263.776	1.674.759.059	2.047.939.625
	\$	\$	\$	\$	\$
<i>Utilidad neta total proyecto + producción socios (24% de ventas promedio)</i>	<i>\$</i>	<i>\$</i>	<i>\$</i>	<i>\$</i>	<i>\$</i>
	<i>241.315.200</i>	<i>312.461.712</i>	<i>391.277.071</i>	<i>478.425.410</i>	<i>574.622.953</i>

Beneficios sociales						
Aumento porcentual en la productividad		0%	29%	62%	98%	138%
		\$	\$	\$	\$	
Valor total de los beneficios sociales MN (COP)	\$ 266.653.080	339.319.86	419.746.71	508.603.23	606.611.44	
		5	3	1	3	

Nota. *Elaboración propia.*

Mejora en la Seguridad Alimentaria (ODS 2.1). El proyecto de acuaponía contribuye directamente a la seguridad alimentaria al donar un 5% de su producción de truchas y lechugas a comunidades vulnerables, ofreciendo comidas nutritivas y frescas que mejoran el acceso a fuentes sostenibles de proteínas y vegetales (primer subapartado de la Tabla 24). Esta producción continua, independiente de las condiciones climáticas, asegura un suministro constante de alimentos durante todo el año, fortaleciendo la relación entre el proyecto y la comunidad. La donación tiene un valor económico calculado con los precios de mercado de los productos, lo que cuantifica su impacto social en términos de apoyo alimentario directo.

Además, la donación de alimentos sensibiliza a la comunidad sobre la importancia de la producción sostenible y el consumo responsable. Este enfoque no solo cubre las necesidades alimenticias inmediatas de las personas en situación de inseguridad alimentaria, sino que también fomenta una mentalidad consciente en la región. De esta manera, se sientan las bases para un cambio sostenible a largo plazo, promoviendo prácticas agrícolas responsables y un compromiso con la sostenibilidad.

Reducción de la Malnutrición (ODS 2.2). La reducción de la malnutrición es uno de los beneficios sociales clave del proyecto de acuaponía, logrado tanto a través de la donación de alimentos como de la capacitación de campesinos locales. Al incorporar alimentos acuapónicos a la dieta de las familias beneficiadas, se garantiza un suministro constante de nutrientes esenciales, lo que mejora significativamente la dieta y la salud de las poblaciones vulnerables. La inclusión de proteínas y vegetales frescos combate la malnutrición, un

problema prevalente en muchas comunidades rurales de Colombia, contribuyendo directamente a la mejora de la seguridad alimentaria.

Además, la capacitación de los campesinos tiene un efecto multiplicador en la comunidad (segundo apartado de la Tabla 24). Al aprender a operar sistemas acuapónicos, los agricultores pueden generar ingresos adicionales y cultivar alimentos para consumo propio, lo que tiene un impacto sostenido en sus familias. Este conocimiento se transmite a otras personas, ampliando los beneficios de la acuaponía y mejorando la nutrición en la región de manera indirecta. Con una utilidad neta del 24% sobre el ingreso familiar, el proyecto genera beneficios significativos, que alcanzan los \$56.667.600 COP en el primer año y \$269.968.073 COP en el quinto año.

Aumento en la Productividad Agrícola (ODS 2.3). El proyecto de acuaponía promueve un aumento significativo en la productividad agrícola al ofrecer una alternativa sostenible y eficiente a los métodos tradicionales de cultivo. Con una producción anual de 280,800 lechugas y 27,480 truchas en un espacio de 3,216 m², se incrementa la eficiencia en el uso de recursos y espacio en solo un año (ver subapartados de la Tabla 24). Este aumento en la productividad se traduce en mayores ingresos tanto para el negocio como para los agricultores involucrados, quienes pueden abastecer el mercado con productos frescos, de alta calidad y de manera constante, lo que mejora su estabilidad económica y favorece un desarrollo rural sostenible.

Además, el proyecto fomenta la innovación y la adopción de mejores prácticas agrícolas, alineándose con los objetivos del ODS 2.3, que busca mejorar la eficiencia y productividad en la agricultura. La productividad del proyecto se evalúa en términos de rendimiento por hectárea y el porcentaje de incremento en la producción anual, proporcionando una medición clara y cuantificable de los beneficios generados. Este enfoque

no solo beneficia a los agricultores al aumentar su productividad, sino que también contribuye al mercado local, ofreciendo una oferta constante y diversificada de productos frescos.

Conservación de los Recursos Naturales y Eficiencia en el Uso del Agua (ODS 2.4). El uso eficiente del agua es uno de los beneficios ambientales más destacados del proyecto de acuaponía. Al consumir hasta un 90% menos de agua que la agricultura convencional, el sistema acuapónico contribuye a la conservación de los recursos hídricos locales, un aspecto crucial en áreas con escasez de agua. Además, el proyecto cuenta con un sistema de captación de agua de lluvia de 3,216 m² y un tanque de almacenamiento de 500 m³, lo que reduce aún más la dependencia del agua veredal y disminuye los costos de operación relacionados (Sánchez Rodríguez, 2020).

La eficiencia en el uso del agua se convierte en un ejemplo para otros proyectos agrícolas, mostrando que es posible producir alimentos de alta calidad sin comprometer los recursos naturales. Este beneficio se cuantifica en metros cúbicos de agua ahorrados y en el costo evitado de agua, lo que permite valorar el impacto económico y ambiental del proyecto (ver Tabla 24). Este enfoque en la sostenibilidad no solo cumple con el ODS 2.4, sino que también contribuye a crear conciencia en la comunidad sobre la importancia de los métodos agrícolas responsables. Al reducir la huella hídrica y promover la eficiencia, el proyecto de acuaponía establece un estándar de producción sostenible que puede ser replicado en otras regiones del país.

Costos

El proyecto acuapónico, aunque ambientalmente beneficioso, también genera costos sociales debido a la producción de CO₂ y la generación de residuos no reciclables. Estos costos son inevitables, pero se calculan y gestionan con el fin de minimizar el impacto negativo y mantener el compromiso con la sostenibilidad. Los detalles de estos costos se

presentan en la Tabla 25 (todo en pesos colombianos COP) y se explican más adelante en el documento.

Tabla 25*Estimación de Costos Sociales*

	Costos sociales				
	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Generación de CO2 por concepto de transporte					
Recorrido vehículo utilitario (Km/año)	7200,00	7632,00	8089,92	8575,32	9089,83
Autonomía del vehículo (km/gal)	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00
Consumo anual combustible (gal)	205,71	218,06	231,14	245,01	259,71
Factor de emisión diesel (motor euro IV- Kg/gal))	10,14	10,14	10,14	10,14	10,14
Generación de CO2 vehículo utilitario (KgCO2/año)	2085,94	2211,10	2343,77	2484,39	2633,45
Generación de CO2 vehículo utilitario (tonCO2/año)	2,09	2,21	2,34	2,48	2,63
Costo Social del Carbono en Colombia	\$ 111.069	\$ 117.733	\$124.797	\$ 132.285	\$ 140.222
<i>Costo total por generación de CO2 por transporte</i>	<i>\$ 231.684</i>	<i>\$ 260.320</i>	<i>\$ 292.495</i>	<i>\$ 328.648</i>	<i>\$ 369.268</i>
Generación de CO2 por proyecto campesino/socio					
Bombas de agua (2 unidades 200W) funcionando 24 horas					
	0	1728	3456	6912	13824
Aireadores (blowers 100W) funcionando 24 horas					
	0	900	1800	3600	7200
Iluminación suplementaria (10 lámparas) funcionando 4 horas					
	0	4320	8640	17280	34560
Lámparas UV (1 unidad, 24 kWh por día) funcionando 24 horas					
	0	288	576	1152	2304
Total, consumo por carga instalada al año (kWh)	0	7236	14472	28944	57888
Factor de emisión de CO2 por KW/h en Colombia (tonCO2/kW/h)	0	0,000164	0,000164	0,000164	0,000164
Total, de toneladas de CO2 generadas por consumo (tonCO2)		1,1895	2,3789	4,7578	9,5156
Costo Social del Carbono en Colombia		\$ 117.733	\$ 124.797	\$ 132.285	\$ 140.222
<i>Costo total por generación de CO2 por proyecto agrícola campesino</i>	<i>\$ -</i>	<i>\$ 140.038</i>	<i>\$ 296.881</i>	<i>\$ 629.387</i>	<i>\$ 1.334.301</i>
Generación de CO2 por proyecto - Modelo de Negocio -					
Tamiz rotativo: 165 HP: funcionando 18 horas (kWh)					
	44910	44910	44910	44910	44910
Blowers para el biofiltro (3 unidades, 1.15 HP cada uno): funcionando 24 horas (kWh)					
	938	938	938	938	938

Costos sociales					
Lámparas UV (3 unidades, 24 kWh por día cada una): funcionando 24 horas (kWh)	26280	26280	26280	26280	26280
Bombas centrífugas (3 unidades, 30 HP cada una): 1 funcionando 24 horas (kWh)	24495	24495	24495	24495	24495
Blowers adicionales (9 unidades, 1.15 HP cada uno): funcionando 24 horas (kWh)	2814	2814	2814	2814	2814
Blower para camas de plantas: 140 HP funcionando 24 horas (kWh)	38106	38106	38106	38106	38106
Iluminación suplementaria (45 lámparas) funcionando 4 horas (kWh)	19710	19710	19710	19710	19710
Refrigeradores (2 unidades) funcionando 24 horas (kWh)	2920	2920	2920	2920	2920
Equipo computo: 0,5 kWh (2 unidades) funcionando 5 horas día (kWh)	913	913	913	913	913
Total, consumo por carga instalada al año (kW/h)	161085	161085	161085	161085	161085
Factor de emisión de CO2 por KW/h en Colombia (tonCO2/kW/h)	0,00016438	0,00016438	0,00016438	0,00016438	0,00016438
Total, de toneladas de CO2 generadas por consumo (tonCO2)	26,48	26,48	26,48	26,48	26,48
	\$	\$	\$	\$	\$
Costo Social del Carbono en Colombia	111.069	117.733	124.797	132.285	140.222
<i>Costo total por generación de CO2 por proyecto - Modelo de Negocio -</i>	<i>2.941.021</i>	<i>3.117.482</i>	<i>3.304.531</i>	<i>3.502.803</i>	<i>3.712.971</i>
Generación de residuos no reciclables	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Peso de empaque para vacío truchas (Kg.)	0,0200000	0,020000	0,020000	0,020000	0,020000
	0	00	00	00	00
	27480,00	28230,00	28980,00	29730,00	30480,00
Unidades de truchas empacadas	00000	000000	000000	000000	000000
Generación de residuos por año por piscicultura (Kg.)	549,60000	564,6000	579,6000	594,6000	609,6000
	000	0000	0000	0000	0000
Costo por disposición de plástico (COP/Kg.)	700,00000	742,0000	786,5200	833,7112	883,7338
	000	0000	0000	0000	7200
Total, costo por disposición de plástico truchas (COP)	384720,00	418933,2	455866,9	495724,6	538724,1
	000000	0000000	9200000	7952000	6837120
	0,0300000	0,030000	0,030000	0,030000	0,030000
Peso de empaque para lechugas (Kg.)	0	00	00	00	00
Peso de plástico por empaque para lechugas (30% del empaque)	0,0090000	0,009000	0,009000	0,009000	0,009000
	0	00	00	00	00
Peso de cartón por empaque para lechugas (70% del empaque)	0,0210000	0,021000	0,021000	0,021000	0,021000
	0	00	00	00	00
	280800,00	360800,0	440800,0	520800,0	600800,0
Unidades de lechugas empacadas	000000	0000000	0000000	0000000	0000000
Generación de residuos plásticos por año por hidroponía (Kg.)	700,00000	742,0000	786,5200	833,7112	883,7338
	000	0000	0000	0000	7200
Generación de residuos de cartón por año por hidroponía (Kg.)	300,00000	318,0000	337,0800	357,3048	378,7430
	000	0000	0000	0000	8800
	\$	\$	\$	\$	\$
<i>Total, costo por disposición de residuos lechugas (COP)</i>	<i>280.800.00</i>	<i>297.648.0</i>	<i>315.506.8</i>	<i>334.437.2</i>	<i>354.503.5</i>
	<i>0</i>	<i>00</i>	<i>80</i>	<i>93</i>	<i>30</i>

	Costos sociales				
	\$	\$	\$	\$	\$
<i>Costo total por disposición de residuos (COP)</i>	281.184.72	298.066.9	315.962.7	334.933.0	355.042.2
	0	33	47	17	55
	\$	\$	\$	\$	\$
Valor total de los costos sociales del MN (COP)	284.357.42	301.584.7	319.856.6	339.393.8	360.458.7
	5	73	54	56	96

Nota. *Elaboración propia.*

Generación de CO₂ por Transporte. El transporte es una actividad clave en el proyecto, necesaria para la distribución de productos y la logística diaria. En el primer año, el vehículo utilitario recorre aproximadamente 7,200 kilómetros y consume alrededor de 206 galones de combustible, con una eficiencia de 35 km por galón. A medida que el proyecto crece, el recorrido y el consumo de combustible aumentan, alcanzando 260 galones en el quinto año. Este incremento refleja la expansión del proyecto y su esfuerzo por servir a más consumidores. La emisión de CO₂ generada por el vehículo se calcula utilizando un factor de emisión de 10.14 kg de CO₂ por galón de diésel, lo que resulta en aproximadamente 2.09 toneladas de CO₂ en el primer año, cifra que aumenta conforme crece la actividad del proyecto. El costo social de estas emisiones es de \$111,069 COP en el primer año, incrementándose a \$140,222 COP en el quinto año. Para mitigar el impacto ambiental, se implementarán estrategias como la optimización de rutas y el uso de vehículos más eficientes.

Generación de CO₂ en Proyectos de Campesinos. El modelo de negocio del proyecto también se extiende a los campesinos locales, quienes utilizan sistemas que consumen energía de manera constante, como bombas de agua, aireadores y lámparas UV. Aunque en el primer año no se generan emisiones de CO₂ debido a la falta de instalaciones en los proyectos campesinos, conforme aumenta la adopción de estos sistemas, el consumo energético y las emisiones de CO₂ crecen considerablemente. En el quinto año, estos sistemas generan aproximadamente 9.51 toneladas de CO₂, lo que implica un costo social creciente, desde \$140,038 COP en el segundo año hasta \$1,334,301 COP en el quinto año. Para mitigar el impacto ambiental, el proyecto se compromete a implementar tecnologías más eficientes y

capacitar a los campesinos en el uso adecuado de estos sistemas, además de explorar el uso de fuentes de energía renovable en el futuro para reducir aún más las emisiones y promover un modelo de negocio sostenible.

Generación de CO₂ en el Modelo de Negocio. El proyecto utiliza equipos de alta demanda energética, como tamices rotativos, lámparas UV, sistemas de refrigeración y aireación, que operan continuamente para mantener la producción, generando un consumo anual de 161,085 kWh y unas emisiones de 26.48 toneladas de CO₂ por año, según el factor de emisión correspondiente en Colombia. El costo social de estas emisiones, por tonelada de CO₂, se estima en \$2,941,021 COP en el primer año, con un incremento gradual hasta alcanzar \$3,712,971 COP en el quinto año. Este costo resalta el impacto ambiental del consumo energético, que es crucial para la calidad y continuidad de la producción acuapónica.

Para mitigar este impacto, el proyecto planea explorar la incorporación de fuentes de energía renovable, lo que no solo reducirá su huella de carbono, sino que también fortalecerá la reputación del proyecto como una iniciativa sostenible. Este enfoque contribuirá directamente a los Objetivos de Desarrollo Sostenible, al mismo tiempo que atraerá a consumidores conscientes de la sostenibilidad. Además, mejorará la ventaja competitiva del proyecto en el mercado, posicionándolo como una opción atractiva para aquellos que valoran las prácticas responsables con el medio ambiente.

Generación de Residuos No Reciclables. La producción y comercialización de truchas y lechugas en el proyecto acuapónico genera residuos plásticos y de cartón debido al uso de empaques. Los empaques al vacío de truchas producen aproximadamente 549.6 kg de residuos plásticos en el primer año, cifra que aumenta conforme crece la producción. Los empaques de las lechugas combinan un 30% de plástico y un 70% de cartón, lo que contribuye a una mayor generación de residuos. Estos residuos representan un desafío importante en términos de sostenibilidad, ya que su disposición adecuada es esencial para

minimizar el impacto ambiental. El costo de disposición de los residuos, calculado a razón de \$700 COP por kilogramo de plástico y \$300 COP por kilogramo de cartón, se incrementa cada año, alcanzando \$354,503,530 COP en el quinto año. Esto resalta la necesidad de buscar alternativas para reducir los residuos no reciclables y mejorar la gestión ambiental del proyecto.

VAN Social

El proyecto presenta un impacto significativo en términos sociales y ambientales, contribuyendo de manera efectiva al desarrollo sostenible de la región. Uno de los aspectos más destacados es la reducción de recursos naturales utilizados en la producción de alimentos, ya que este sistema emplea hasta un 90% menos de agua que la agricultura tradicional. Además, al no requerir pesticidas ni fertilizantes químicos, el proyecto protege el suelo y las fuentes de agua locales, lo cual contribuye a la salud del ecosistema y minimiza la contaminación ambiental (FAO, 2021). El uso de energías renovables también complementa esta reducción del impacto ambiental, disminuyendo las emisiones de gases de efecto invernadero y fortaleciendo su contribución a la sostenibilidad ambiental en Colombia (Gobierno de Colombia, 2020).

En el ámbito social, el proyecto genera beneficios tangibles al mejorar el bienestar de las comunidades locales mediante la creación de empleo y la capacitación en prácticas agrícolas sostenibles. La generación de puestos de trabajo en la operación de los sistemas acuapónicos y en la distribución de productos frescos ayuda a reducir la migración rural-urbana y mejora la estabilidad económica de las familias locales. Además, al capacitar a los agricultores en técnicas modernas de producción, el proyecto empodera a las comunidades rurales y les proporciona herramientas para mejorar su calidad de vida, fomentando un desarrollo económico inclusivo y sostenible en la región (Challco Luque, 2020).

Desde una perspectiva económica, el proyecto de acuaponía demuestra ser una inversión rentable y sostenible. Al reducir los costos asociados con el uso de agua y al eliminar la necesidad de productos químicos, se incrementa la eficiencia operativa y los márgenes de ganancia del proyecto. Además, el análisis financiero realizado con una Tasa Social de Descuento del 9% en Colombia muestra un Valor Actual Neto Social (VAN Social) de COP \$372,506,325 para un periodo de cinco años, lo cual confirma la viabilidad del proyecto a largo plazo en escenarios optimistas y neutrales y da un tasa 0,9 – 1 entre el VANS y el VAN, respectivamente (ver Tabla 26).

Tabla 26

Indicador de Diferencia (VAN < VANS)

TSD en Colombia	0,09				
	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Valor total de los beneficios sociales MN (COP)	\$ 266.653.08	\$ 339.319.86	\$ 419.746.713	\$ 508.603.23	\$ 606.611.44
	0	5		1	3
Valor total de los costos sociales del MN (COP)	\$ 284.357.42	\$ 301.584.77	\$ 319.856.654	\$ 339.393.85	\$ 360.458.79
	5	3		6	6
Balance entre BS y CS	-\$ 17.704.345	\$ 37.735.091	\$ 99.890.058	\$ 169.209.37	\$ 246.152.64
				5	7
Tasa Social de Descuento para Colombia elevado a la potencia por n períodos	1,09	1,1881	1,295029	1,4115816	1,5386239
				1	55
	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
VAN Social por años	-\$ 16.242.518	\$ 31.760.871	\$ 77.133.453	\$ 119.872.18	\$ 159.982.33
				7	1
VAN Social por el período de evaluación (5 años)			\$ 372.506.325		
VAN Financiero			\$ 377.424.553		
Indicador de diferencia (VAN < VANS)			98,70%		

Nota. *Elaboración propia.*

En conclusión, la rentabilidad social del proyecto se destaca por su capacidad para generar impactos positivos y sostenibles en las comunidades rurales de La Calera. Este

proyecto no solo proporciona alimentos frescos y nutritivos, sino que también contribuye a la mejora de la seguridad alimentaria y a la reducción de la malnutrición a través de la donación de productos a comunidades vulnerables. Esta acción demuestra un compromiso tangible con el ODS 2, al promover una agricultura responsable que asegura el acceso a alimentos saludables para quienes más lo necesitan.

Además, la capacitación de los campesinos locales en técnicas de acuaponía fomenta un empoderamiento económico, permitiendo que las familias adquieran habilidades productivas que pueden transformar su calidad de vida. El modelo de acuaponía no solo genera beneficios directos mediante la mejora de la seguridad alimentaria, sino que también promueve la autosuficiencia y la creación de oportunidades laborales en la región. Este enfoque refuerza el impacto positivo sobre el desarrollo económico local, al mismo tiempo que fortalece la cohesión social en las comunidades involucradas.

En términos de sostenibilidad, el proyecto tiene un efecto significativo sobre la conservación de los recursos naturales, especialmente el agua, al utilizar hasta un 90% menos de agua que los cultivos tradicionales. Esta eficiencia en el uso de los recursos hídricos es fundamental en un contexto donde la escasez de agua es un desafío creciente. La gestión eficiente del agua, junto con el uso de energías renovables y la implementación de prácticas agrícolas sostenibles, contribuye a mitigar el impacto ambiental, posicionando al proyecto como un modelo replicable de producción sostenible.

Sin embargo, para asegurar la sostenibilidad a largo plazo de la rentabilidad social, es fundamental seguir monitoreando y ajustando el modelo. La integración de nuevas tecnologías, la optimización de los procesos de transporte y la inclusión de las comunidades en el proceso de toma de decisiones serán claves para maximizar el impacto social y ambiental del proyecto. En conjunto, estos esfuerzos contribuirán a que el proyecto de

acuaponía siga siendo una solución eficaz para la seguridad alimentaria y el desarrollo económico local, alineado con los objetivos globales de sostenibilidad.

Conclusiones del Capítulo

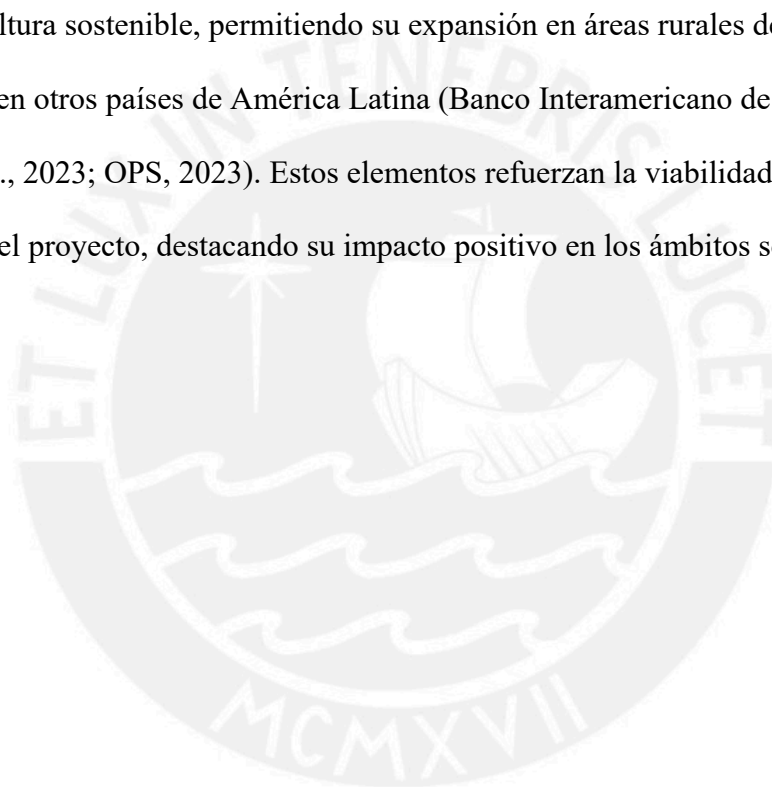
Este capítulo concluye que el proyecto de acuaponía en La Calera tiene un impacto social y ambiental significativo en la comunidad local. A través de la provisión de alimentos frescos y nutritivos, el proyecto contribuye directamente a la seguridad alimentaria, reduciendo la dependencia de productos procesados e importados. Además, la creación de empleo para madres de familia y otros miembros vulnerables de la comunidad promueve la inclusión social y fortalece el desarrollo local. Estas iniciativas se alinean con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), especialmente el ODS 2, que se enfoca en erradicar el hambre (ONU, 2024).

En términos de rentabilidad social y económica, el cálculo del Valor Actual Neto (VAN) social revela que, en un periodo de cinco años, el proyecto genera beneficios sociales acumulados que superan los costos sociales iniciales y operativos. Esto evidencia que, además de ser financieramente viable, el proyecto tiene un impacto social positivo, consolidando su contribución a la comunidad. Al optimizar el uso de recursos como el agua y minimizar la dependencia de agroquímicos, el proyecto se posiciona como una solución escalable y replicable en otras comunidades rurales, donde se requieren alternativas sostenibles para mejorar las condiciones de vida de los habitantes (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2021).

En cuanto a la sostenibilidad ambiental, el proyecto destaca por su enfoque en la conservación de recursos naturales, logrando un uso eficiente del agua y reduciendo significativamente la huella de carbono mediante tecnologías sostenibles. La inclusión de un tanque de agua de 500 m³ y la capacidad de captar agua de lluvia a través de los 3,216 m² de invernadero refuerzan su perfil sostenible. Estos esfuerzos no solo protegen el medio

ambiente, sino que también aseguran una producción de alimentos con menor impacto ambiental.

Finalmente, el proyecto establece una base sólida para su escalabilidad y replicabilidad en otras regiones con características similares. La creación de alianzas estratégicas no solo apoya la implementación técnica y financiera del proyecto, sino que también facilita la transferencia de conocimientos y tecnología a otros agricultores. A medida que el proyecto demuestre su efectividad, se espera que atraiga a inversionistas interesados en apoyar la agricultura sostenible, permitiendo su expansión en áreas rurales de Colombia y potencialmente en otros países de América Latina (Banco Interamericano de Desarrollo, 2024; FAO et al., 2023; OPS, 2023). Estos elementos refuerzan la viabilidad y los beneficios multifacéticos del proyecto, destacando su impacto positivo en los ámbitos social, económico y ambiental.



Capítulo VIII. Decisión E Implementación

En este capítulo se presenta la propuesta de implementación del proyecto de acuaponía en La Calera, el balance final del análisis realizado y la decisión que se espera de los inversionistas. Este análisis integra las evaluaciones de impacto social, ambiental y económico, proporcionando una visión integral de los beneficios y desafíos asociados al proyecto. La decisión de los inversionistas se fundamenta en estos hallazgos, junto con un plan de implementación detallado que optimiza los recursos y asegura el éxito del proyecto a largo plazo.

Plan de Implementación y Equipo de Trabajo

La propuesta de implementación se centra en una fase inicial de cinco años, con una estructura gradual que asegura el crecimiento sostenible del proyecto. Durante el primer año, el enfoque principal será la instalación de la infraestructura básica, que incluye los sistemas acuapónicos, tanques de peces, bombas de agua, sistemas de filtración y camas de cultivo. Este proceso inicial también abarcará la capacitación intensiva de los agricultores locales, quienes serán los encargados de gestionar el sistema de acuaponía. Asimismo, se establecerán alianzas estratégicas con instituciones académicas y ONGs para garantizar el soporte técnico y el acceso a recursos financieros adicionales.

A partir del segundo año, la fase de crecimiento se enfocará en optimizar los procesos y expandir la capacidad de producción para satisfacer la demanda local. El equipo de trabajo implementará mejoras en el sistema de circulación de agua, integrará tecnologías sostenibles y aumentará la capacidad de captación de agua de lluvia. También se realizarán evaluaciones periódicas para ajustar el modelo de negocio según los cambios en la demanda y la disponibilidad de recursos. Durante esta etapa, se espera lograr un incremento en los beneficios sociales y una mayor eficiencia en el uso de los recursos.

Figura 35

Diagrama de Gantt

ID	Tarea	Duración estimada (meses)	Predecesoras	2025	2026	2027	2028	2029
1	Proyecto de Acuaponía	12		X	X	X	X	X
1.1	Fase de concepción de la obra civil y mecánica	4	1	X	X			
1.1.1	Estudio de viabilidad técnica y ambiental	2	1.1	X	X			
1.1.1.1	Revisión de normativas locales	1	1.1.1	X				
1.1.1.2	Análisis de impacto ambiental	1	1.1.1	X	X			
1.1.2	Diseño de obra civil y mecánica	2	1.1	X	X			
1.1.2.1	Diseño de estructura de invernaderos	1	1.1.2	X				
1.1.2.2	Diseño de sistema hidráulico y eléctrico	1	1.1.2	X	X			
1.2	Fase de ejecución de la infraestructura	8	1	X	X	X		
1.2.1	Adquisición de materiales	3	1.2	X	X			
1.2.1.1	Compra de materiales de construcción	2	1.2.1	X				
1.2.1.2	Compra de equipos para acuaponía	1	1.2.1	X	X			
1.2.2	Construcción de la infraestructura	5	1.2	X	X	X		
1.2.2.1	Levantamiento de estructuras de invernadero	3	1.2.2	X	X			
1.2.2.2	Instalación de sistemas hidráulicos y eléctricos	2	1.2.2	X	X	X		
1.3	Fase de implementación del sistema acuapónico	6	1		X	X	X	
1.3.1	Instalación de sistema acuapónico	3	1.3		X	X		
1.3.1.1	Instalación de tanques para peces	1	1.3.1		X			
1.3.1.2	Instalación de canales para cultivo de plantas	2	1.3.1		X	X		
1.3.2	Pruebas y ajustes del sistema	3	1.3		X	X	X	X
1.3.2.1	Pruebas de funcionamiento	1	1.3.2		X			
1.3.2.2	Ajustes en el sistema de monitoreo de calidad del agua	2	1.3.2		X	X		
2	Fase de capacitación del personal	6	1	X	X	X	X	
2.1	Desarrollo del currículo de capacitación	2	2	X				
2.1.1	Definición de contenidos de formación	1	2.1	X				
2.1.2	Diseño de materiales educativos	1	2.1	X				
2.2	Capacitación a la familia que ingresa	4	2.1		X	X	X	
2.2.1	Entrenamiento en operaciones de acuaponía	2	2.2		X	X		
2.2.2	Entrenamiento en manejo de peces y vegetales	2	2.2		X	X		
2.3	Evaluación de la familia capacitada	3	2.1			X	X	
2.3.1	Evaluación de competencias	2	2.3			X	X	
2.3.2	Retroalimentación y ajustes al proceso	1	2.3				X	
3	Fase de producción inicial	12	1	X	X	X	X	
3.1	Producción de alimentos	3	2	X	X	X		
3.1.1	Producción de truchas	1	3.1	X	X			
3.1.2	Producción de vegetales	2	3.1	X	X	X		
3.2	Monitoreo y ajustes en la producción	3	3.1		X	X	X	
3.2.1	Monitoreo de ciclos de cultivo	1	3.2		X			
3.2.2	Ajustes en parámetros de cultivo	2	3.2		X	X		
4	Fase de rotación de personal	12	1		X	X	X	X
4.1	Selección de la nueva familia para la capacitación	3	2.3		X	X		
4.1.1	Reclutamiento y evaluación de perfiles	2	4.1		X			
4.1.2	Selección final de la nueva familia	1	4.1			X		
4.2	Incorporación de la nueva familia al proceso productivo	3	4.1			X	X	X
4.2.1	Entrenamiento específico para la familia entrante	2	4.2			X	X	X
4.2.2	Integración al proceso de producción	1	4.2				X	X

Nota: *Elaboración propia.*

Así pues, el plan de implementación se detalla a través de un diagrama de Gantt (ver Figura 35 y anexo 6) que organiza las etapas y recursos requeridos para cada fase del proyecto. En el primer año del proyecto, se concentran las actividades iniciales y fundamentales para establecer la base del proyecto de acuaponía. Las primeras fases incluyen la fase de concepción de la obra civil y mecánica, con un enfoque en el estudio de viabilidad

técnica y ambiental, que tiene una duración de 4 meses. Durante este año, se realizan tareas críticas como la revisión de normativas locales y el análisis de impacto ambiental, que son esenciales para asegurar la viabilidad del proyecto. Estas tareas permiten la planificación y ejecución de la infraestructura que sustentará las siguientes fases.

En el segundo año, el enfoque del proyecto se desplaza hacia la ejecución de la infraestructura y el comienzo de las operaciones iniciales. La fase de concepción de la obra civil y mecánica continúa con tareas más específicas de implementación. Se desarrollan las instalaciones para los sistemas acuapónicos, y se avanza en la integración de los equipos necesarios para la operación del proyecto. Además, en este año se realizarán pruebas iniciales de los sistemas para verificar su rendimiento antes de la producción a gran escala. La capacitación del personal local y los primeros procesos de producción de alimentos también comienzan en este año.

A partir del tercer año, el proyecto comienza a consolidarse y a expandir sus actividades. En este año, se focaliza en la optimización de los procesos productivos y en la mejora de los sistemas de cultivo y acuicultura. Se realiza un ajuste en los sistemas acuapónicos con el fin de incrementar la eficiencia en la producción de truchas y lechugas. La capacitación continua del personal es clave en este periodo, con el fin de garantizar que todos los involucrados estén bien equipados para manejar los sistemas de forma óptima. Además, se extiende la distribución de los productos, aumentando la visibilidad y presencia en el mercado.

El cuarto año está marcado por la expansión y diversificación del modelo. El proyecto evalúa los resultados obtenidos en los años anteriores y toma decisiones sobre la expansión de la capacidad de producción y la inclusión de nuevas tecnologías para hacer más eficiente el sistema. Durante este periodo, se realiza la evaluación de la sostenibilidad financiera y el impacto ambiental del proyecto. A medida que las capacidades productivas aumentan,

también se optimizan las estrategias de comercialización para asegurar que el proyecto continúe siendo competitivo y sostenible.

En el último año del proyecto, se cierra el ciclo con la evaluación final y la planificación para futuras expansiones. Este año se enfoca en la evaluación de los resultados globales del proyecto en términos de impacto social, económico y ambiental. Además, se realizan ajustes finales en los procesos de comercialización y distribución. El cierre formal del proyecto contempla la transferencia de conocimientos a las comunidades locales para que continúen gestionando los sistemas de acuaponía de manera autónoma y sostenible.

Conclusiones

Este proyecto ha sido una iniciativa exitosa que demuestra la viabilidad de un modelo de producción sostenible, rentable y socialmente beneficioso. A través de la optimización de recursos naturales y la formación de agricultores locales, se ha demostrado que es posible reducir significativamente la huella ambiental, utilizando hasta un 90% menos agua que los cultivos tradicionales. La implementación de un ciclo cerrado entre peces y plantas ha permitido un aprovechamiento eficiente de los nutrientes, evitando la necesidad de pesticidas y fertilizantes químicos, lo cual ha contribuido a la conservación del ecosistema local.

Desde una perspectiva social, este proyecto tiene un impacto positivo en la comunidad local, generando empleo y proporcionando capacitación en prácticas agrícolas sostenibles. Esto no solo mejora la calidad de vida de los agricultores como María, sino que también fortalece el tejido social y económico de la región, alineándose con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), especialmente en lo que respecta al fin del hambre. La integración activa de la comunidad en el proceso productivo garantiza la aceptación local y el fortalecimiento de capacidades, demostrando que el proyecto puede replicarse en otras regiones con necesidades similares.

En términos económicos, los análisis financieros realizados confirman la viabilidad y rentabilidad del proyecto a mediano y largo plazo, con un Valor Actual Neto (VAN) positivo en diversos escenarios. La capacidad de producir alimentos de manera continua, independientemente de las condiciones climáticas, asegura ingresos estables para los agricultores, lo cual aumenta la resiliencia económica de la región. Este proyecto se presenta como una inversión atractiva no solo por su rentabilidad financiera, sino también por sus beneficios sociales y ambientales, asegurando su sostenibilidad a largo plazo.

La contribución de Juan Montoya al proyecto se centró en la adaptación y optimización de tecnologías sostenibles en la acuaponía. Su comprensión del contexto rural y las necesidades específicas de los agricultores locales fue fundamental para garantizar la eficiencia del modelo. Uno de los desafíos más grandes fue integrar la información disponible con la realidad local considerando las diferencias en la disponibilidad y manejo del agua en Colombia. A través de este proceso, le fue posible aprender la importancia de adaptar los conocimientos previos a las realidades locales, así como la relevancia de la formación continua para transformar las capacidades técnicas de la comunidad. Este enfoque le permitió una apreciación profunda del impacto social sostenible que pueden tener en regiones con vulnerabilidad ambiental.

El segundo miembro, Manuel Vidal, peruano, jugó un papel clave entender el ecosistema de alianzas estratégicas con instituciones académicas y ONGs, lo cual fue esencial configurar el proyecto. Desde su perspectiva, entendió que construir una red de colaboradores locales es crucial para promover la aceptación y sostenibilidad a largo plazo del modelo acuapónico. Enfrentó el desafío de gestionar las expectativas entre diferentes actores y equilibrar las necesidades locales con las estrategias externas. A lo largo de este proceso, aprendió sobre la importancia de la colaboración en red y cómo el trabajo conjunto con

actores clave puede fortalecer los resultados a largo plazo, mejorando la viabilidad del proyecto y fomentando el crecimiento económico inclusivo en la región.

El tercer participante, César Huamán, asumió la responsabilidad de la gestión del modelo de negocio. Uno de los desafíos más significativos que enfrentó fue comprender la dinámica cultural y social de las comunidades, lo que influyó directamente en la disposición de la comunidad para adoptar nuevas prácticas agrícolas. En su rol como encargado de la capacitación, aprendió que la clave para una enseñanza efectiva reside en la adaptación a las necesidades y ritmos de los agricultores, respetando sus experiencias previas. Esta experiencia le permitió reflexionar sobre la importancia de una gestión empresarial ética y el compromiso con el bienestar colectivo, un aprendizaje que fortalecerá futuros proyectos de este tipo.

Cada investigador del equipo ha realizado valiosas contribuciones, enriqueciendo el proyecto con diversas perspectivas y habilidades. Los desafíos enfrentados, como la adaptación a las dinámicas híbridas y la coordinación en un equipo multicultural, han sido superados mediante la colaboración y el aprendizaje continuo. Estos intercambios culturales y técnicos no solo han fortalecido el proyecto, sino que también han generado un aprendizaje significativo sobre la importancia de la flexibilidad y la innovación en el trabajo conjunto.

La introspección realizada durante este proceso ha permitido identificar elementos que funcionaron bien y otros que requieren ajustes, lo cual será fundamental para la mejora continua y la documentación de futuros proyectos. Este enfoque colaborativo y reflexivo garantiza que el modelo de acuaponía, como proyecto piloto, pueda replicarse con éxito en otras regiones. De esta manera, se fortalece la seguridad alimentaria y se promueve la agricultura sostenible en Colombia y América Latina, contribuyendo al desarrollo rural y al bienestar de las comunidades.

Recomendaciones

Se recomienda expandir el modelo de acuaponía a otras regiones rurales de Colombia con problemas similares en acceso al agua y generación de empleo. Es fundamental realizar un análisis de riesgos más profundo, considerando factores como la variabilidad climática, los riesgos financieros y la fluctuación de los precios de los productos. Para mitigar estos riesgos, se debe diversificar las fuentes de ingresos y buscar financiamiento más estable, adaptando el modelo a las condiciones locales de cada región mediante una investigación preliminar rigurosa.

En cuanto a la capacitación de los agricultores, es crucial ampliar la formación no solo en acuaponía, sino también en gestión de proyectos y habilidades de comercialización. Esto permitirá a los agricultores gestionar sus operaciones de manera más efectiva y abordar desafíos relacionados con la sostenibilidad y rentabilidad del modelo. Además, se recomienda fortalecer la red de apoyo mediante grupos de trabajo que compartan buenas prácticas y recursos, lo que mejorará la resiliencia y competitividad del proyecto.

Para garantizar la sostenibilidad ambiental, se debe continuar invirtiendo en tecnologías de energía renovable, como paneles solares, para reducir los costos operativos y minimizar la dependencia de fuentes externas de energía. Además, se sugiere diversificar los canales de comercialización, incluyendo ventas en línea y alianzas con restaurantes y supermercados sostenibles. Una estrategia de marketing digital y el monitoreo continuo del impacto del proyecto mediante indicadores clave de rendimiento (KPI) permitirá ajustar la estrategia y maximizar tanto el impacto social como la rentabilidad a largo plazo.

Referencias

Alcaldía de la Calera. (2023). *Análisis de Situación de Salud Participativo*.

<https://www.lacalera-cundinamarca.gov.co/Transparencia/Normatividad/ANALISIS%20SITUACION%20SALUD%202023.pdf>

AUNAP. (2022, agosto 1). *La AUNAP lideró el I Foro Nacional de Acuicultura en Colombia*.

AUNAP. <https://www.aunap.gov.co/la-aunap-lidero-el-i-foro-nacional-de-acuicultura-en-colombia/>

Banco de la República de Colombia. (2021, octubre 15). *Choques climáticos y sus efectos sobre el sector agrícola en Colombia*. Banco de la República de Colombia.

<https://www.banrep.gov.co/es/blog/choques-climaticos-y-sus-efectos-sobre-el-sector-agricola-colombia#:~:text=La%20evidencia%20científica%20ha%20mostrado,los%20precios%20de%20los%20alimentos.>

Banco Interamericano de Desarrollo. (2024, marzo 6). *Hoja Informativa: Seguridad*

Alimentaria en América Latina y el Caribe. <https://www.iadb.org/es/noticias/seguridad-alimentaria-en-america-latina-y-el-caribe>

Barbieri, G. (2021, mayo). UN BANCO DE PRUEBAS PARA OPTIMIZAR CULTIVOS

HIDROPÓNICOS. *Revista Contacto - Universidad de los Andes*.

<https://revistacontacto.uniandes.edu.co/contacto-21-transformacion-digital/un-banco-de-pruebas-para-optimizar-cultivos-hidroponicos/>

Beem, M., Rakocy, J. E., Masser, M. P., & Losordo, T. M. (2017, marzo). Recirculating

Aquaculture Tank Production Systems: Aquaponics—Integrating Fish and Plant

Culture. *Southern Regional Aquaculture Center Publication*.

<https://extension.okstate.edu/fact-sheets/recirculating-aquaculture-tank-production-systems-aquaponics-integrating-fish-and-plant-culture.html>

Benke, K., & Tomkins, B. (2017). Future food-production systems: vertical farming and controlled-environment agriculture. *Sustainability: Science, Practice and Policy*, 13(1), 13–26. <https://doi.org/10.1080/15487733.2017.1394054>

Bocken, N. M. P., Short, S. W., Rana, P., & Evans, S. (2014). A literature and practice review to develop sustainable business model archetypes. *Journal of Cleaner Production*, 65, 42–56. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.11.039>

Challco Luque, Y. J. (2020). *Factores que afectan la producción y productividad agropecuaria del distrito de Santa Ana, en la gestión del desarrollo económico local de la Municipalidad Provincial de La Convención-Cusco 2011-2013* [Maestría, Pontificia Universidad Católica del Perú].

https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/17505/CHALLCO_LUQUE_YANET_JULIA.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Colombia Agroalimentaria Sostenible. (2024). *Adaptación al Cambio Climático*. Colombia Agroalimentaria Sostenible. <https://agroalimentariasostenible.co/proyecto/>

Corvo, L., Pastore, L., Mastrodascio, M., & Cepiku, D. (2022). The social return on investment model: a systematic literature review. *Meditari Accountancy Research*, 30(7), 49–86. <https://doi.org/10.1108/MEDAR-05-2021-1307>

Cuaspa-Benavides, J. A., Guerrero-Bastidas, D. D., & Burgos-Arcos, A. J. (2019). SISTEMAS ACUAPÓNICOS COMO ALTERNATIVA SUSTENTABLE EN LA ACUICULTURA. *Revista Investigación Pecuaria*, 6(1), 95–103. <https://doi.org/10.22267/revip.1961.9>

DANE. (2016). *3er Censo Nacional Agropecuario, hay campo para todos.*

<https://www.dane.gov.co/files/images/foros/foro-de-entrega-de-resultados-y-cierre-3-censo-nacional-agropecuario/CNATomo2-Resultados.pdf>

DANE. (2024, abril 19). *Boletín técnico: Pobreza multidimensional en Colombia Año 2023.*

<https://www.dane.gov.co/files/operaciones/PM/bol-PMultidimensional-2023.pdf>

Del Campo Villares, M. O., Miguéns-Refojo, V., & Ferreiro-Seoane, F. J. (2020). Business

Survival and the Influence of Innovation on Entrepreneurs in Business Incubators.

Sustainability, 12(15), 6197. <https://doi.org/10.3390/su12156197>

Delgado Martínez, R. L. (2024). *Diseño de sistema de acuaponía automatizado para*

producción agrícola y piscícola a escala comercial. Universidad Nacional de Colombia.

Despommier, D. (2011). *The Vertical Farm: Feeding the World in the 21st Century.* Picador.

Di Gennaro, S. F., Cini, D., Berton, A., & Matese, A. (2024). Development of a low-cost

smart irrigation system for sustainable water management in the Mediterranean region.

Smart Agricultural Technology, 9, 100629. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2024.100629>

EcoInventos Green Technology. (2022, abril 1). *Acuaponía, la simbiosis perfecta entre el*

cultivo de plantas y la cría de peces. Agricultura Ecológica.

<https://ecoinventos.com/acuaponia/>

Erdiwansyah, Mahidin, Husin, H., Nasaruddin, Zaki, M., & Muhibbuddin. (2021). A critical

review of the integration of renewable energy sources with various technologies.

Protection and Control of Modern Power Systems, 6(1), 3.

<https://doi.org/10.1186/s41601-021-00181-3>

FAO. (2014). *Small-scale aquaponic food production Integrated fish and plant farming*

(FAO).

<https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/2ca21047-390f-42cd-bd1d->

0c2ebc9c1df2/content&ved=2ahUKEwjedKQxoqKAxX4mbAFHacJE-
UQFnoECDgQAQ&usg=AOvVaw2zhelAz3YBGrqpRt99g7Ch

- FAO. (2021). *El estado de los recursos de tierras y aguas del mundo para la alimentación y la agricultura - Sistemas al límite* (FAO). FAO. <https://doi.org/10.4060/cb7654es>
- FAO. (2024). *Versión resumida de El estado mundial de la agricultura y la alimentación 2024*. FAO. <https://doi.org/10.4060/cd2637es>
- FAO, FIDA, OPS, PMA, & UNICEF. (2023). *América Latina y el Caribe - Panorama Regional de la Seguridad Alimentaria y la Nutrición 2023*. FAO; IFAD; PAHO; WFP; UNICEF; <https://doi.org/10.4060/cc8514es>
- Flores-Aguilar, P. S., Sánchez-Velázquez, J., Aguirre-Becerra, H., Peña-Herrejón, G. A., Zamora-Castro, S. A., & Soto-Zarazúa, G. M. (2024). ¿Can Aquaponics Be Utilized to Reach Zero Hunger at a Local Level? *Sustainability*, *16*(3), 1130. <https://doi.org/10.3390/su16031130>
- Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N. M. P., & Hultink, E. J. (2017). The Circular Economy – A new sustainability paradigm? *Journal of Cleaner Production*, *143*, 757–768. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.048>
- Global Seafood Alliance. (2022). *Annual Report*. Global Seafood Alliance. <https://info.globalseafood.org/2022-annual-report>
- Gobernación de Cundinamarca. (2020). *Plan Departamental de Extensión Agropecuaria 2020*. <https://www.adr.gov.co/wp-content/uploads/2021/07/pdea-cundinamarca.pdf>
- Gobierno de Colombia. (2020, febrero 6). *En Colombia Factor de emisión de CO2 por generación eléctrica del Sistema Interconectado: 164.38 gramos de CO2 por kilovatio hora*. Gobierno de Colombia.

- Goddek, S., Joyce, A., Kotzen, B., & Burnell, G. (2019). *Aquaponics Food Production Systems* (S. Goddek, A. Joyce, B. Kotzen, & G. M. Burnell, Eds.; 1a ed.). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-15943-6>
- Gómez, A. V., & Arango Restrepo, G. J. (2021). *Sistemas acuapónicos y su aplicación en Colombia* [Tesis de pregrado, Universidad CES]. <https://repository.ces.edu.co/handle/10946/5633?show=full>
- Gruda, N. (2019). Increasing Sustainability of Growing Media Constituents and Stand-Alone Substrates in Soilless Culture Systems. *Agronomy*, 9(6), 298. <https://doi.org/10.3390/agronomy9060298>
- Grupo Banco Mundial. (2024, marzo 15). *Agricultura y alimentos*. Panorama general. <https://www.bancomundial.org/es/topic/agriculture/overview>
- Guzmán-Ávila, J. A., Cantos-Ochoa, M. E., & López-Castillo, J. E. (2020). Gestión del emprendimiento en el marco de la Economía Popular y Solidaria para el desarrollo económico local del sector rural del Cantón Cuenca-Ecuador. *Polo del conocimiento*, 5(8), 151–174.
- Hernández Arévalo, J. C. (2024). *La Calera un Lugar para Todos*. <https://www.lacalera-cundinamarca.gov.co/Transparencia/Normatividad/DOCUMENTO%20ESTRATÉGICO%20DEFINITIVO%20PDM%202024%20-%202027.pdf>
- ICA. (2024). *Protección sanitaria de las especies acuícolas*. ICA. [https://www.ica.gov.co/getdoc/b082c759-18c7-47da-bed6-0ebe76b48fe0/acuicolas-\(1\).aspx/](https://www.ica.gov.co/getdoc/b082c759-18c7-47da-bed6-0ebe76b48fe0/acuicolas-(1).aspx/)
- Kalantari, F., Mohd Tahir, O., Mahmoudi Lahijani, A., & Kalantari, S. (2017). A Review of Vertical Farming Technology: A Guide for Implementation of Building Integrated Agriculture in Cities. *Advanced Engineering Forum*, 24, 76–91. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AEF.24.76>

- Lopez-Ghio, R., Ramírez, J. M., Rojas, F., Salazar Echavarría, C., & Bateman, A. (2018). *Interdependencia municipal en regiones metropolitanas: El caso de la Sabana de Bogotá*. Inter-American Development Bank. <https://doi.org/10.18235/0001085>
- Love, D. C., Fry, J. P., Genello, L., Hill, E. S., Frederick, J. A., Li, X., & Semmens, K. (2014). An International Survey of Aquaponics Practitioners. *PLoS ONE*, *9*(7), e102662. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0102662>
- Love, D. C., Uhl, M. S., & Genello, L. (2015). Energy and water use of a small-scale raft aquaponics system in Baltimore, Maryland, United States. *Aquacultural Engineering*, *68*, 19–27. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2015.07.003>
- Martínez-Vera, C., López-Serrano, F., Vizcarra-Mendoza, M., & Álvarez-Calderón, J. (2009). Assessment of the diffusion model for drying using a state-observer based process. *Biosystems Engineering*, *102*(4), 406–416. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2009.01.009>
- McClelland, S. C., Paustian, K., Williams, S., & Schipanski, M. E. (2021). Modeling cover crop biomass production and related emissions to improve farm-scale decision-support tools. *Agricultural Systems*, *191*, 103151. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2021.103151>
- McGreevy, S. R., Rupprecht, C. D. D., Niles, D., Wiek, A., Carolan, M., Kallis, G., Kantamaturapoj, K., Mangnus, A., Jehlička, P., Taherzadeh, O., Sahakian, M., Chabay, I., Colby, A., Vivero-Pol, J.-L., Chaudhuri, R., Spiegelberg, M., Kobayashi, M., Balázs, B., Tsuchiya, K., ... Tachikawa, M. (2022). Sustainable agrifood systems for a post-growth world. *Nature Sustainability*, *5*(12), 1011–1017. <https://doi.org/10.1038/s41893-022-00933-5>
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2021). *Acuicultura en Colombia*. <https://sioc.minagricultura.gov.co/Acuicultura/Documentos/2021-03-31%20Cifras%20Sectoriales.pdf>

- Mojica Llanos, H. D. (2023). *La acuaponía una alternativa productiva para Arauca con especies como tilapia y cachama* [Tesis de maestría, Universidad Jorge Tadeo Lozano].
<https://expeditiorepositorio.utadeo.edu.co/handle/20.500.12010/34065?show=full>
- Monisha, K., Kalai Selvi, H., Sivanandhini, P., Sona Nachammai, A., Anuradha, C. T., Rama Devi, S., Kavitha Sri, A., Neya, N. R., Vaitheeswari, M., & Hikku, G. S. (2023). Hydroponics agriculture as a modern agriculture technique. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 116(1), 25–35.
<https://doi.org/10.5604/01.3001.0016.3395>
- Morocho Chuchuca, V., Vazquez, E. G., & Araujo Ochoa, G. (2024). Evaluación de la calidad y satisfacción de productos ofertados en el restaurante el Bunker de Hobby de la ciudad de Cuenca. *Compendium: Cuadernos de Economía y Administración*, 11(2), 158.
<https://doi.org/10.46677/compendium.v11i2.1254>
- Murcia, M. C. (2023, julio). Así está la seguridad alimentaria en Colombia. *Revista Nacional de Agricultura*, 1038. <https://sac.org.co/asi-esta-la-seguridad-alimentaria-en-colombia/>
- Noriega Molina, J. N. (2022). *CAPACITACIÓN TÉCNICA Y EMPRESARIAL A PEQUEÑOS PRODUCTORES AGROPECUARIOS DEL MUNICIPIO DE SAN BERNARDO DEL VIENTO CÓRDOBA Y DE LA REGIÓN DE LA MOJANA*. [Universidad de Córdoba].
<https://repositorio.unicordoba.edu.co/server/api/core/bitstreams/85bc9469-4c8a-4ca7-9cb9-b423726c9c8b/content>
- OCDE. (2005). *Oslo Manual* (OCDE, Ed.). OECD. <https://doi.org/10.1787/9789264013100-en>
- OCDE - FAO. (2023). *Perspectivas Agrícolas 2023-2032*. OECD.
<https://doi.org/10.1787/2ad6c3ab-es>
- OMS. (2024, marzo 1). *Malnutrición*. Organización Mundial de la Salud.
<https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/malnutrition>

ONU. (2024). *Objetivos de desarrollo sostenible*. ONU.

<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>

OPS. (2023, enero 19). *Informe ONU: 131 millones de personas en América Latina y el Caribe no pueden acceder a una dieta saludable*. OPS.

<https://www.paho.org/es/noticias/19-1-2023-informe-onu-131-millones-personas-america-latina-caribe-no-pueden-acceder->

[dieta#:~:text=Esto%20se%20asocia%20directamente%20con,inglés\)%20de%20las%20Naciones%20Unidas.](https://www.paho.org/es/noticias/19-1-2023-informe-onu-131-millones-personas-america-latina-caribe-no-pueden-acceder-dieta#:~:text=Esto%20se%20asocia%20directamente%20con,inglés)%20de%20las%20Naciones%20Unidas.)

Palm, H. W., Knaus, U., Appelbaum, S., Goddek, S., Strauch, S. M., Vermeulen, T., Haïssam Jijakli, M., & Kotzen, B. (2018). Towards commercial aquaponics: a review of systems, designs, scales and nomenclature. *Aquaculture International*, 26(3), 813–842.

<https://doi.org/10.1007/s10499-018-0249-z>

Palma, A. (2018). *Malnutrición en niños y niñas en América Latina y el Caribe*. CEPAL.

<https://www.cepal.org/es/enfoques/malnutricion-ninos-ninas-america-latina-caribe>

Pérez Lavalle, L., Bolívar Anillo, H. J., & Díaz Pérez, A. (2017). Biofertilizantes en Colombia. En *Productos de confitería nutracéutica* (pp. 179–222). Ediciones Universidad Simón Bolívar. <https://doi.org/10.17081/bonga.2204.c6>

Puro Marketing. (2023, abril 3). *Los consumidores quieren que las empresas y marcas sean responsables con la sostenibilidad y deben hacerlo para que las marcas sean sostenibles*. Puro Marketing. https://www.puromarketing.com/88/211798/consumidores-quieren-empresas-marcas-responsables-sostenibilidad-deben-hacer-marcas?utm_s

Sánchez Rodríguez, H. S. (2020). *LA CALERA UN MUNICIPIO DE LA CABECERA MUNICIPAL DE BOGOTÁ CON PROBLEMAS DE AGUA POTABLE* [Tesis de maestría, Universidad del Bosque].

<https://repositorio.unbosque.edu.co/server/api/core/bitstreams/e3dca2b5-6ec1-4dcd-92d1-815760b5a64c/content>

Sastoque, L. (2024). *La Calera 4.0 - Con Bienestar y Gobernanza*.

<https://repositoriocdim.esap.edu.co/bitstream/handle/20.500.14471/27500/PROGRAMA%20DE%20GOBIERNO%20LA%20CALERA-%20CUNDINAMARCA%202024-2027.pdf?sequence=1&isAllowed=y#:~:text=El%20DNP%20identifica%20que%20el,fe meninas:%20ASOMCA%20y%20Canine%20Fantasy>.

Sentencia T-740-11, Corte Constitucional (2009).

<https://www.corteconstitucional.gov.co/relatoria/2011/t-740-11.htm>

Shaer, I., Sidebottom, G., Haque, A., & Shami, A. (2021). Efficient execution plan for egress traffic engineering. *Computer Networks*, 190, 107938.

<https://doi.org/10.1016/j.comnet.2021.107938>

Sharma, A., Grant, J., & Boys, K. (2021). Truly Preferential Treatment? Reconsidering the Generalised System of (Trade) Preferences with Competing Suppliers. *Journal of Agricultural Economics*, 72(2), 500–524. <https://doi.org/10.1111/1477-9552.12414>

SIOC. (2024). *Retos para una agricultura resiliente anticipación y adaptación a amenazas derivadas del clima*. Sistemas de información de Gestión y Desempeño de Organizaciones de Cadenas.

<https://sioc.minagricultura.gov.co/Acuicultura/Pages/default.aspx#:~:text=La%20Acuicultura%20en%20Colombia%20está,toneladas%20para%20el%20a%>

Superintendencia de servicios públicos domiciliarios. (2023). *PLAN GENERAL DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA INFORMACIÓN TÉCNICO OPERATIVA DEL SERVICIO DE ASEO - ESTADO DE LA DISPOSICIÓN FINAL EN COLOMBIA*.

Tello, M. (2010). Del desarrollo económico nacional al desarrollo local: aspectos teóricos. *Revista CEPAL*, 102, 51–67.

<https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/3c3ef02b-825f-4fd6-8af3-910e21bdc9d8/content>

Tyson, R. V., Treadwell, D. D., & Simonne, E. H. (2011). Opportunities and Challenges to Sustainability in Aquaponic Systems. *HortTechnology*, 21(1), 6–13.

<https://doi.org/10.21273/HORTTECH.21.1.6>

Universidad Nacional de Colombia. (2024, agosto). 7 DE CADA 10 HOGARES EN COLOMBIA NO TIENEN ACCESO A UNA ALIMENTACIÓN SANA. *Universidad Nacional de Colombia*, 1–20.

<https://periodico.unal.edu.co/uploads/2024/agosto/PeriodicoUNAL-233.pdf>

Vásquez, A. C., & Dávila, K. S. (2021). Una mirada al desarrollo económico local con enfoque al crecimiento socioeconómico. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 5(5), 8302–8335.

Wolcott, M. D., McLaughlin, J. E., Hubbard, D. K., Williams, C. R., & Kiser, S. N. (2021). Using Design Thinking to Explore Rural Experiential Education Barriers and Opportunities. *Journal of Medical Education and Curricular Development*, 8.

<https://doi.org/10.1177/2382120521992333>

Apéndice A. Análisis PESTEL y AMOFHIT

Análisis PESTEL:

P - Político:

La estabilidad política en Colombia es clave para el desarrollo de proyectos agrícolas sostenibles. A pesar de la inestabilidad política en algunas regiones, el apoyo del gobierno local y las políticas públicas orientadas hacia la sostenibilidad y la seguridad alimentaria, como las iniciativas relacionadas con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), favorecen la adopción de sistemas innovadores como la acuaponía. Sin embargo, los cambios legislativos o la falta de incentivos a largo plazo podrían afectar negativamente el desarrollo del proyecto.

E - Económico:

El contexto económico de Colombia, con una economía en crecimiento, favorece el desarrollo de nuevos proyectos agrícolas. La creciente demanda de productos sostenibles en el mercado, especialmente en ciudades como Bogotá, también ofrece una oportunidad económica. No obstante, las dificultades para acceder a financiamiento y las barreras económicas de los pequeños agricultores son retos importantes. El costo inicial de los sistemas acuapónicos podría ser un obstáculo para algunos productores.

S - Social:

La inseguridad alimentaria en áreas rurales como La Calera refleja una gran necesidad de soluciones agrícolas sostenibles. La capacitación de la mano de obra local en técnicas acuapónicas podría mejorar la autonomía económica de las comunidades rurales, especialmente las mujeres, y reducir la dependencia de los agricultores de la intermediación en los mercados. Sin embargo, la resistencia al cambio de los productores tradicionales podría ser un desafío, especialmente si no se proporciona la formación y el apoyo adecuados.

T - Tecnológico:

La adopción de nuevas tecnologías agrícolas es esencial para el éxito del proyecto. El uso de tecnologías avanzadas, como sistemas de monitoreo en tiempo real y la mejora de la eficiencia en la utilización de recursos, optimiza la producción acuapónica. Sin embargo, la falta de infraestructura tecnológica en algunas áreas y la necesidad de capacitar a los agricultores en el uso de estas tecnologías representan un desafío significativo.

E - Ecológico:

La acuaponía se alinea con la creciente demanda de soluciones agrícolas sostenibles que reducen el uso de agua y fertilizantes, contribuyendo a la conservación de recursos naturales. El cambio climático y la variabilidad climática en Colombia son factores que afectan la producción agrícola, lo que hace que modelos sostenibles como la acuaponía sean aún más valiosos. A pesar de sus beneficios, el uso de energía y la producción de residuos no reciclables son retos ambientales que deben gestionarse adecuadamente.

L - Legal:

Las normativas y regulaciones sobre el uso de recursos hídricos, la producción agrícola sostenible y la comercialización de productos orgánicos son aspectos clave que deben cumplirse para garantizar la viabilidad del proyecto. El cumplimiento de estas leyes es fundamental para evitar sanciones y promover la sostenibilidad a largo plazo. Además, las normativas sobre el bienestar animal en los sistemas acuapónicos pueden representar un desafío adicional.

Análisis AMOFHIT:

A - Atractivo:

La acuaponía tiene un alto atractivo debido a sus beneficios para la sostenibilidad, la seguridad alimentaria y la reducción del uso de recursos naturales. La creciente demanda de productos frescos y sostenibles en el mercado también aumenta la atraktividad de este

modelo. Además, su potencial para mejorar la economía local a través de la creación de empleo y la formación de capacidades lo hace aún más atractivo para los agricultores locales.

M - Mercado:

El mercado de alimentos sostenibles está en expansión, especialmente en áreas urbanas como Bogotá, donde los consumidores están cada vez más interesados en productos ecológicos y saludables. La capacidad de acceder a mercados locales y regionales, como restaurantes y supermercados, es una ventaja importante para el proyecto. Sin embargo, la falta de acceso directo a mercados justos y la dependencia de intermediarios sigue siendo un desafío para los productores.

O - Oportunidades:

El proyecto presenta oportunidades significativas para mejorar la productividad agrícola mediante el uso eficiente de recursos hídricos y la integración de prácticas agrícolas sostenibles. La expansión del mercado hacia productos sostenibles, el acceso a financiamiento para proyectos ecológicos y el apoyo de políticas públicas orientadas hacia la sostenibilidad son oportunidades clave. Además, la creciente conciencia ambiental entre los consumidores abre nuevas avenidas de comercialización.

F - Fortalezas:

Una de las principales fortalezas del proyecto es su capacidad para generar productos de alta calidad utilizando menos agua y sin el uso de pesticidas. La integración de la producción de peces y vegetales en un solo sistema, la posibilidad de capacitar a los agricultores locales y el enfoque en la sostenibilidad son factores que distinguen al proyecto. Además, el modelo de negocio tiene un alto potencial de replicabilidad en otras regiones de Colombia y América Latina.

H - Habilidades:

El éxito del proyecto depende de la capacidad de los agricultores locales para adoptar y manejar tecnologías acuapónicas. La capacitación en el manejo de sistemas acuapónicos y la transferencia de conocimientos técnicos a los agricultores son habilidades esenciales que se deben desarrollar. También es fundamental contar con personal técnico capacitado para monitorear y mantener los sistemas acuapónicos, asegurando su eficacia y sostenibilidad.

I - Infraestructura:

La infraestructura adecuada es fundamental para el éxito del proyecto. Se necesita una infraestructura que permita la instalación de sistemas acuapónicos y un sistema eficiente de distribución de agua y nutrientes. La falta de infraestructura adecuada en algunas áreas rurales representa una barrera importante para la implementación de este modelo a gran escala. Sin embargo, con una inversión inicial adecuada, la infraestructura necesaria puede construirse de manera eficiente.

T - Tendencias:

Las tendencias actuales en la agricultura se inclinan hacia prácticas más sostenibles y responsables con el medio ambiente, lo que favorece la adopción de sistemas como la acuaponía. Además, las tendencias de consumo, como el aumento de la demanda de alimentos orgánicos y locales, refuerzan la viabilidad de este proyecto. El creciente interés en la sostenibilidad, tanto a nivel empresarial como gubernamental, ofrece un contexto favorable para el desarrollo y expansión de este tipo de soluciones agrícolas.

Apéndice B. Primera versión diagrama de Venn para el análisis de Porter

Figura B1

Diagrama de Venn para Análisis de Porter



Nota: *Elaboración propia.*

Apéndice C. Instrumentos para la recolección de la información

Tabla C1

Guía De Entrevista Perfil Usuario

Guía de Entrevista para el Perfil de Usuarios en el Proyecto de Acuaponía en La Calera
Introducción
1. Saludo y presentación: Hola, mi nombre es [Tu Nombre]. Gracias por tomarte el tiempo para hablar conmigo hoy. La razón de esta entrevista es entender mejor tus necesidades, expectativas y experiencias en relación con nuestro proyecto de acuaponía en La Calera.
2. Explicación del propósito: Estamos trabajando en un proyecto para implementar prácticas agrícolas sostenibles a través de la acuaponía, y tus respuestas nos ayudarán a diseñar algo que realmente te beneficie. No hay respuestas correctas o incorrectas; estamos interesados en tu experiencia y opinión.
3. Consentimiento y confidencialidad: Toda la información que compartas será confidencial y solo se utilizará para fines de este proyecto. ¿Te sientes cómodo con que grabemos esta entrevista para poder revisarla más tarde?
Sección 1: Datos Demográficos
4. Edad: ¿Podrías decirme tu edad?
5. Género: ¿Cuál es tu género?
6. Educación: ¿Cuál es tu nivel de educación más alto alcanzado?
7. Ocupación: ¿A qué te dedicas actualmente?
8. Ingresos: ¿Podrías darme una idea de tu rango de ingresos anuales?
9. Ubicación: ¿Dónde vives actualmente?
Sección 2: Antecedentes y Contexto
10. Historia personal y profesional: ¿Podrías contarme un poco sobre tu historia personal y profesional en relación con la agricultura o la alimentación sostenible?
11. Estilo de vida: ¿Cómo describirías tu estilo de vida?
12. Contexto social y cultural: ¿Qué tipo de comunidad y entorno cultural te rodea?
13. Rutinas diarias: ¿Cómo es un día típico para ti?
Sección 3: Motivaciones y Objetivos
14. Metas a corto y largo plazo: ¿Cuáles son tus principales metas a corto plazo en términos de alimentación y agricultura sostenible?, ¿y a largo plazo?
15. Motivaciones diarias: ¿Qué te motiva a levantarte cada día y seguir adelante?
Sección 4: Necesidades y Expectativas
16. Necesidades del proyecto de acuaponía: ¿Qué necesitas de un proyecto de acuaponía como el que estamos desarrollando?
17. Expectativas en cuanto a calidad y funcionalidad: ¿Qué expectativas tienes en términos de calidad y funcionalidad de los productos acuapónicos?
Sección 5: Comportamientos y Actitudes
18. Interacción con productos sostenibles: ¿Cómo interactúas actualmente con productos agrícolas sostenibles o sistemas como la acuaponía?
19. Actitudes hacia la tecnología e innovación: ¿Qué piensas sobre la tecnología y la innovación en la agricultura?
20. Patrones de compra o uso: ¿Cómo decides qué productos agrícolas comprar o utilizar?
Sección 6: Frustraciones y Puntos de Dolor
21. Problemas actuales: ¿Qué problemas enfrentas actualmente relacionados con la producción o el consumo de alimentos sostenibles?
22. Obstáculos para alcanzar tus objetivos: ¿Qué obstáculos te impiden alcanzar tus metas en términos de alimentación y agricultura sostenible?

-
23. Quejas sobre productos o métodos agrícolas actuales: ¿Qué te ha frustrado más sobre los productos o métodos agrícolas tradicionales?
-

Sección 7: Preferencias y Hábitos

24. Canales de comunicación preferidos: ¿Qué canales de comunicación prefieres para obtener información o resolver problemas relacionados con la agricultura?
25. Hábitos de consumo de medios: ¿Cuáles son tus hábitos de consumo de medios?
26. Resolución de problemas: ¿Cómo prefieres resolver problemas o buscar información?
-

Cierre

27. Agradecimiento: Gracias por compartir tu tiempo y tus pensamientos con nosotros hoy.
28. Próximos pasos: Usaremos esta información para mejorar nuestro proyecto de acuaponía. ¿Te gustaría ser informado sobre nuestros avances?
29. Contacto adicional: ¿Estás dispuesto a participar en futuras entrevistas o pruebas de productos?
30. Despedida: ¡Gracias de nuevo! Que tengas un excelente día.
-

Nota. Elaboración propia

Tabla C2

Guía De Observación Participante de Usuario

Guía de observación participante a usuario

Objetivo

Observar el comportamiento, actitudes y prácticas de la pequeña productora (metausuario) en el contexto de su labor agrícola diaria y en interacción con nuevas tecnologías, como la acuaponía.

Sección 1: Datos del Observador

1. Nombre del observador:
 2. Fecha de observación:
 3. Lugar de observación:
 4. Duración de la observación:
-

Sección 2: Contexto

5. Descripción del entorno (finca, mercado, comunidad, taller, etc.):
 - a. Espacios, herramientas, recursos disponibles.
 - b. Condiciones climáticas y geográficas.
 6. Descripción de las actividades observadas:
 - c. ¿Qué actividades realiza la productora durante el día?
 - d. ¿Cómo interactúa con las herramientas agrícolas tradicionales?
 - e. ¿Qué retos enfrenta en la producción diaria?
-

Sección 3: Interacciones observadas

7. Relaciones con la comunidad:
 - a. ¿Cómo interactúa con otros productores?
 - b. ¿Colabora o intercambia productos?
 - c. ¿Qué mecanismos de apoyo existen entre los miembros de la comunidad?
 8. Uso de tecnología:
 - a. ¿Está expuesta a nuevas tecnologías agrícolas? Si es así, ¿cómo reacciona?
 - b. ¿Muestra interés o rechazo hacia nuevas técnicas?
 - c. ¿Cómo describe su experiencia con la acuaponía o sistemas similares?
-

Sección 4: Actitudes y comportamientos

9. Actitudes hacia la sostenibilidad:
 - a. ¿Muestra preocupación por el medio ambiente y el uso eficiente de los recursos?
 - b. ¿Cómo afecta el cambio climático su actitud hacia las prácticas agrícolas?
-

-
10. Manejo del tiempo:
 - a. ¿Cómo distribuye el tiempo entre las labores agrícolas y otras responsabilidades (familiares, comunitarias)?
 11. Toma de decisiones:
 - a. ¿Quién toma las decisiones en el cultivo? ¿Ella o alguien más?
-

Sección 5: Conclusiones del observador

12. Fortalezas observadas:
 13. Desafíos y barreras:
 14. Recomendaciones para facilitar la implementación de acuaponía en este contexto:
-

Nota. *Elaboración propia.*

Tabla C3

Guía De Entrevista Perfil Cliente

Guía de Entrevista para el Perfil de Clientes en el Proyecto de Acuaponía en La Calera
Objetivo
Conocer las necesidades, actitudes y disposición de la pequeña productora agrícola ante la adopción de tecnologías sostenibles como la acuaponía.
Sección 1: Datos generales del usuario
<ol style="list-style-type: none"> 1. Nombre: 2. Edad: 3. Ubicación: 4. Tamaño del terreno agrícola: 5. Número de personas en su familia:
Sección 2: Prácticas actuales
<ol style="list-style-type: none"> 6. ¿Cuáles son los principales cultivos que maneja en su terreno? <ul style="list-style-type: none"> ○ Hortalizas (especificar): ○ Frutas (especificar): ○ Otros (especificar): 7. ¿Cómo describe la productividad de su terreno en los últimos años? <ul style="list-style-type: none"> ○ Ha mejorado ○ Se ha mantenido igual ○ Ha disminuido 8. ¿Utiliza algún sistema de riego? ¿Cuál? <ul style="list-style-type: none"> ○ Tradicional ○ No tengo riego ○ Otro (especificar):
Sección 3: Sostenibilidad y cambio climático
<ol style="list-style-type: none"> 9. ¿Ha notado cambios en las condiciones climáticas que afectan sus cultivos? <ul style="list-style-type: none"> ○ Sí, muchos ○ Algunos ○ No 10. ¿Está interesada en soluciones que reduzcan el uso de agua en su terreno? <ul style="list-style-type: none"> ○ Sí ○ No ○ Tal vez 11. ¿Qué tan importante es para usted adoptar prácticas agrícolas sostenibles? <ul style="list-style-type: none"> ○ Muy importante ○ Importante

-
- Poco importante
 - No importante
-

Sección 3: Interés en la acuaponía

12. ¿Conoce la acuaponía (sistema que combina la cría de peces y el cultivo de plantas sin suelo)?
 - Sí
 - No
 13. ¿Le interesaría aprender más sobre este sistema?
 - Sí
 - No
 - Tal vez
 14. ¿Qué aspectos le preocupan más sobre la implementación de la acuaponía?
 - Costo inicial
 - Mantenimiento del sistema
 - Conocimientos técnicos necesarios
 - Otros (especificar):
-

Sección 4: Capacitación y recursos

15. ¿Ha participado en capacitaciones sobre nuevas técnicas agrícolas?
 - Sí
 - No
 16. ¿Cuáles recursos le serían más útiles para implementar acuaponía en su terreno?
 - Subsidios o apoyos financieros
 - Talleres prácticos
 - Asesoría técnica constante
 - Otros (especificar):
-

Nota. *Elaboración propia.*

Tabla C4

Guía De Entrevista para Clientes

Encuesta a clientes

Objetivo

Conocer las preferencias, expectativas y disposición del cliente potencial (restaurante) en relación con los productos acuapónicos.

Sección 1: Datos generales del cliente

1. Nombre del restaurante:
 2. Ubicación:
 3. Tipo de cocina (vegetariana, orgánica, tradicional, etc.):
 4. Número de empleados:
-

Sección 2: Intereses y preferencias

5. ¿Qué tan importante es para su restaurante ofrecer productos frescos y de calidad?
 - Muy importante
 - Importante
 - Moderadamente importante
 - Poco importante
 - No importante
 6. ¿Valora los productos de origen local y sostenible?
 - Sí
 - Me da igual
 - No, prefiero otros productos
-

-
7. ¿Estaría interesado en integrar productos acuapónicos (peces y hortalizas) en su menú?
- Sí
 - No
 - No lo sé, depende del precio/calidad
-

Sección 3: Comportamientos de compra

8. ¿Cuáles son sus principales fuentes de abastecimiento de productos frescos?
- Supermercados
 - Proveedores locales
 - Mercados de agricultores
 - Otros (especificar):
9. ¿Qué cantidad de productos frescos (hortalizas, vegetales) consume mensualmente?
- Menos de 100 kg
 - Entre 100 y 500 kg
 - Más de 500 kg
10. ¿Estaría dispuesto a pagar más por productos que utilicen tecnologías sostenibles (acuaponía)?
- Sí, un poco más (10% adicional)
 - Sí, considerablemente más (más del 10%)
 - No, solo si el precio es competitivo
 - No me interesa
-

Sección 3: Evaluación del producto

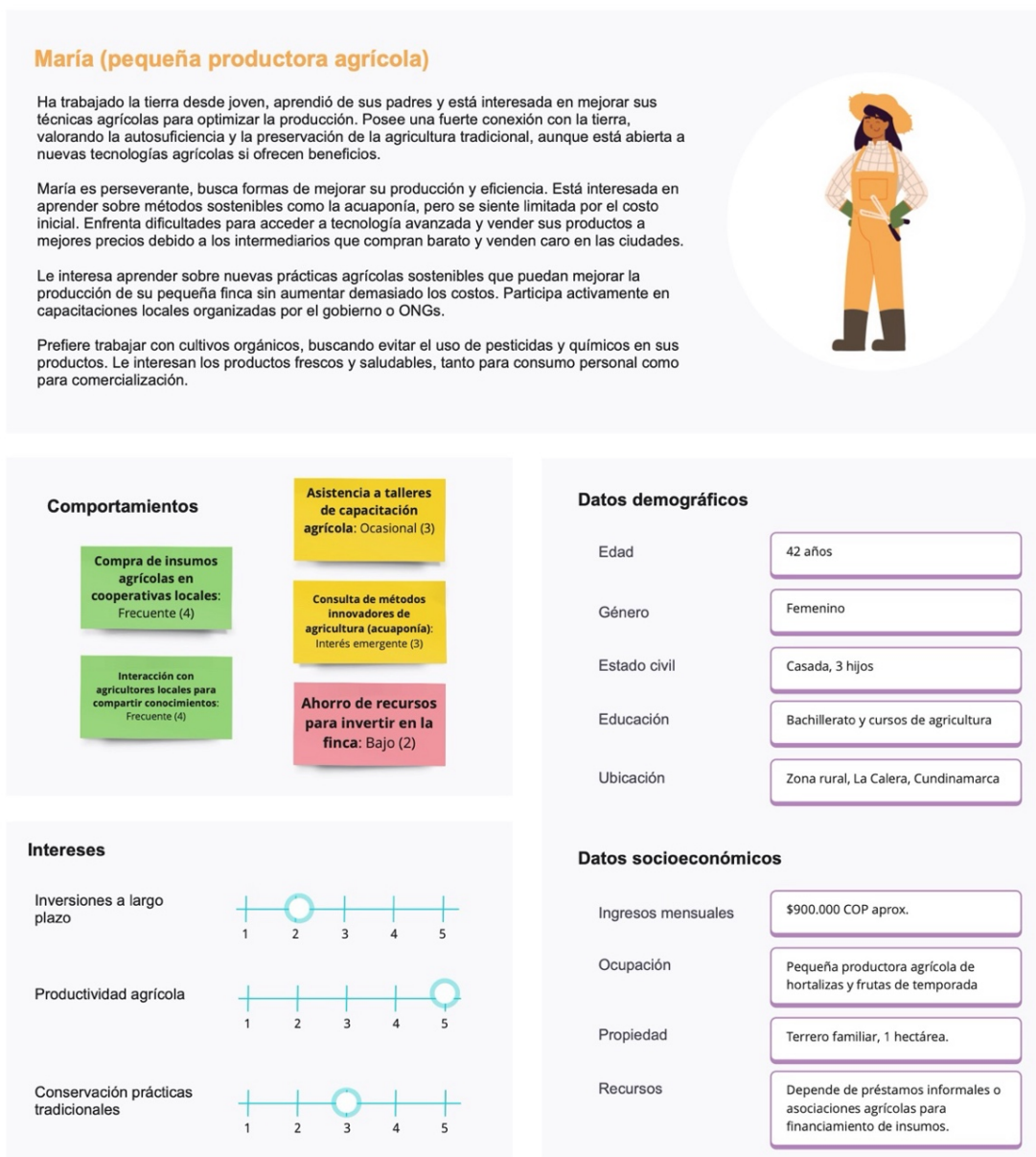
11. ¿Qué factores valora más al comprar productos frescos?
- Frescura
 - Sostenibilidad
 - Certificaciones orgánicas
 - Precio
 - Relación con pequeños productores locales
 - Otros (especificar):
12. ¿Qué obstáculos percibe en la adopción de productos acuapónicos en su restaurante?
- Precio
 - Disponibilidad
 - Calidad desconocida
 - Falta de conocimiento sobre el sistema
 - Otros (especificar):
-

Nota. *Elaboración propia.*

Apéndice D. Perfil ajustado del usuario

Figura D1

Perfil Ajustado de María

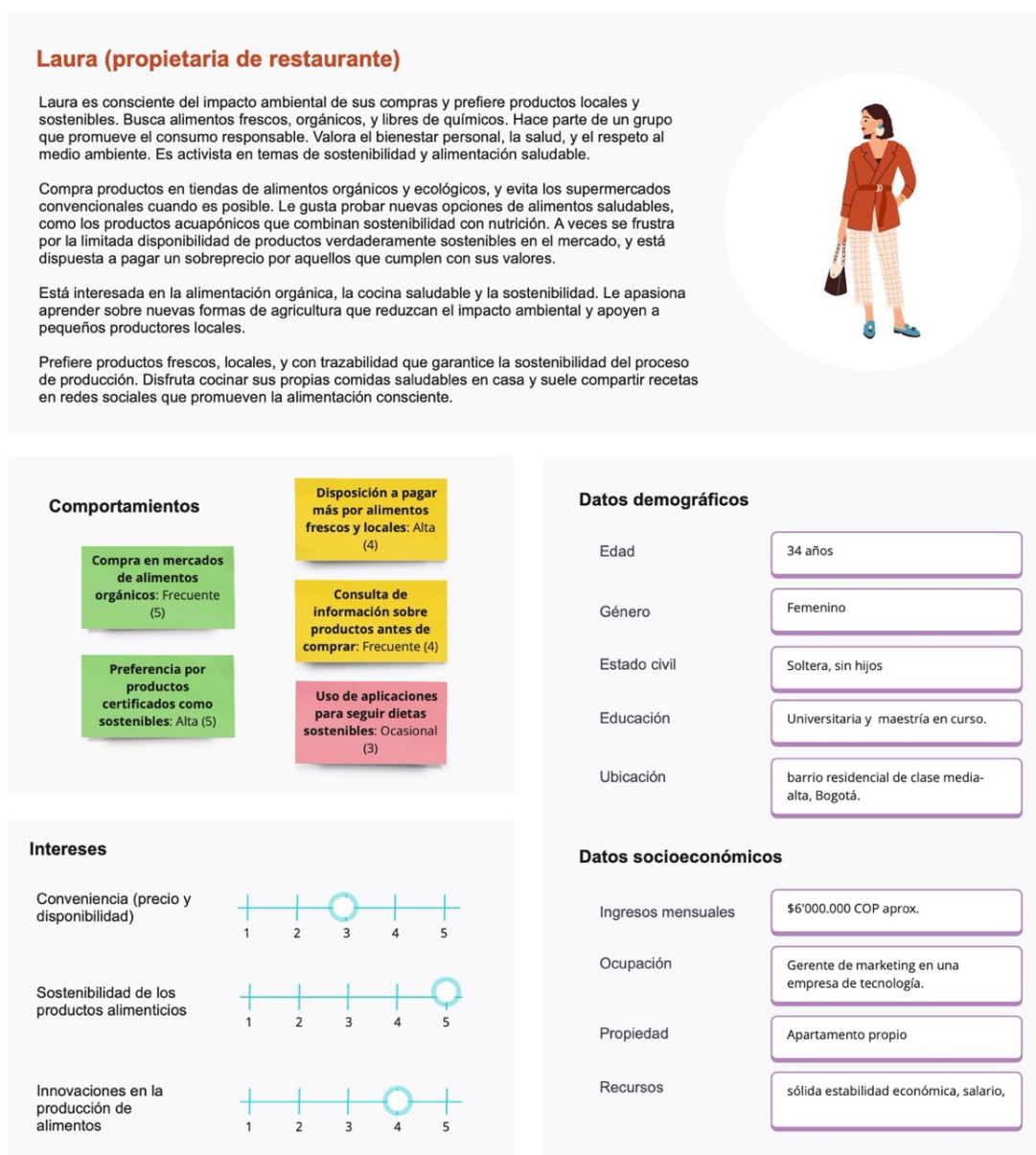


Nota: *Elaboración propia.*

Apéndice E. Perfil ajustado del cliente.

Figura E1

Perfil Ajustado de Laura



Nota: *Elaboración propia.*

Apéndice F. Primera versión del currículo formativo para agricultores.

Tabla F1

Primera Versión del Currículo

Estructura del Programa
Módulo 1: Introducción a la acuaponía (Horas 1-10, Mes 1): Conceptos básicos, beneficios y aplicaciones de la acuaponía. Montaje y configuración inicial del sistema.
Módulo 2: Gestión de peces y cultivos (Horas 11-20, Mes 2): Manejo de especies de peces y plantas adecuadas. Alimentación, ciclos de vida y mantenimiento básico.
Módulo 3: Monitoreo y control de calidad del agua (Horas 21-30, Mes 3): Uso de herramientas de monitoreo como medidores de pH, niveles de oxígeno y temperatura.
Módulo 4: Manejo de problemas y optimización (Horas 31-40, Mes 4): Identificación de problemas comunes en sistemas acuapónicos y cómo solucionarlos.
Módulo 5: Sostenibilidad y eficiencia (Horas 41-50, Mes 5): Optimización de recursos, manejo eficiente del agua y energía.
Módulo 6: Marketing y comercialización de productos acuapónicos (Horas 51-60, Mes 6): Estrategias de comercialización, acceso a mercados locales y regionales.
Módulo 7: Certificación en prácticas sostenibles (Horas 61-70, Mes 7): Introducción a certificaciones en agricultura sostenible y procedimientos para obtenerlas.
Módulo 8: Innovación y tecnología (Horas 71-80, Mes 8): Nuevas tecnologías aplicadas a la acuaponía, incluyendo energías renovables y técnicas avanzadas.
Módulo 9: Redes y cooperación comunitaria (Horas 81-90, Mes 9): Desarrollo de redes de apoyo entre agricultores locales, cooperación para mejorar la producción y compartir conocimientos.
Módulo 10: Evaluación y mejora continua (Horas 91-120, Mes 10-12): Evaluación de los sistemas instalados, retroalimentación y ajustes necesarios para mejorar el rendimiento a largo plazo.

Nota. *Elaboración propia.*

Apéndice G. Segunda versión del currículo formativo.

Basado en la retroalimentación de los agricultores y los ajustes realizados en el contenido formativo, se ha estructurado una segunda versión del currículo con un enfoque más práctico y adaptado a sus necesidades específicas.

Estructura del Programa de Capacitación en Acuaponía

Módulo 1: Fundamentos de la acuaponía y viabilidad del sistema (Horas 1-10, Mes 1)

- Conceptos básicos de acuaponía: integración de la acuicultura y la hidroponía.
- Beneficios ambientales y productivos del sistema.
- Análisis de viabilidad económica: costos iniciales, retorno de inversión y casos de éxito.

Módulo 2: Diseño y configuración del sistema acuapónico (Horas 11-20, Mes 2)

- Componentes esenciales del sistema: biofiltros, tanques de peces, sistemas de bombeo y camas de cultivo.
- Selección de especies adecuadas de peces y plantas según las condiciones locales.
- Estrategias de reducción de costos en materiales y mantenimiento.

Módulo 3: Gestión de peces y cultivos acuapónicos (Horas 21-30, Mes 3)

- Manejo de especies piscícolas: alimentación, salud y ciclo de crecimiento.
- Cultivo eficiente de vegetales: selección de semillas, rotación de cultivos y cosecha.
- Uso de bioinsumos y prácticas orgánicas para mejorar la calidad del producto.

Módulo 4: Monitoreo y control de calidad del agua (Horas 31-40, Mes 4)

- Parámetros esenciales: pH, oxígeno disuelto, temperatura y niveles de amoníaco.
- Manejo de biofiltros y sistemas de recirculación.
- Estrategias para reducir el desperdicio de agua y mejorar la eficiencia del sistema.

Módulo 5: Optimización del sistema y resolución de problemas (Horas 41-50, Mes 5)

- Identificación de problemas comunes en el sistema y soluciones prácticas.
- Diagnóstico de fallas en equipos y sistemas de filtración.
- Mejora de la eficiencia energética y reducción de costos operativos.

Módulo 6: Comercialización y acceso a mercados (Horas 51-60, Mes 6)

- Estrategias para la comercialización de productos acuapónicos.
- Identificación de mercados locales, regionales y digitales.
- Modelos de negocio y asociaciones para fortalecer la distribución.

Módulo 7: Certificación en prácticas sostenibles y normativas (Horas 61-70, Mes 7)

- Normativas locales y certificaciones en producción acuapónica sostenible.
- Procedimientos para obtener certificaciones y diferenciar los productos en el mercado.
- Casos de éxito en certificación de productos agroecológicos.

Módulo 8: Innovación y aplicación de nuevas tecnologías (Horas 71-80, Mes 8)

- Uso de energías renovables en sistemas acuapónicos.
- Aplicación de sensores y automatización en el control de variables del sistema.
- Estrategias de digitalización para la gestión eficiente de la producción.

Módulo 9: Redes comunitarias y estrategias de cooperación (Horas 81-90, Mes 9)

- Creación de redes de apoyo entre agricultores para mejorar la producción.
- Cooperación y modelos asociativos para fortalecer la cadena de valor.
- Plataformas de intercambio de conocimiento y experiencias exitosas.

Módulo 10: Evaluación y mejora continua del sistema acuapónico (Horas 91-120, Mes 10-12)

- Análisis de resultados y evaluación de desempeño del sistema.
- Implementación de mejoras basadas en retroalimentación y datos obtenidos.
- Planificación a largo plazo para la escalabilidad y sostenibilidad del modelo.

Esta segunda versión del currículo incorpora aprendizajes clave obtenidos en las fases de simulación y evaluación teórica del sistema acuapónico. Se ha fortalecido la capacitación en temas como la comercialización, optimización de costos y viabilidad económica, respondiendo a las principales inquietudes manifestadas por los agricultores.

Apéndice H. Detalle de la inversión inicial.

Tabla H1
Detalle de la Inversión Inicial

Equipo o Instrumento	Tag	Cant	Tipo	Tipo señal	Detalle técnico	Vr. Unit	Vr. Total
Planta eléctrica	-	1	Planta eléctrica con motor Diesel	N/A	Cummins 220V 300 kVA	\$175.000.000	\$ 175.000.000
Cama de plantas	CP-01 a CP-27	27	Tanque	N/A	Tanque 20m x 2,4m x 0,30m	\$ 5.000.000	\$ 135.000.000
Filtro de tambor rotativo	FTR1 a FTR3	3	Filtro de tambor rotativo	N/A	400gpm, filtración 30-100µm	\$ 23.643.898	\$ 70.931.695
Filtro de rayos UV	FUV1 a FUV3	3	Filtro de rayos UV	N/A	650 gpm esterilizador UV	\$ 19.320.000	\$ 57.960.000
Bomba de recirculación	B1 a B4	4	Bomba centrífuga	N/A	Bomba centrífuga 30 HP GE4B300	\$ 14.467.000	\$ 57.868.000
Tanque de peces	T-P-1 a T-P-9	9	Tanque	N/A	23.000 Lt geomembrana	\$ 6.000.000	\$ 54.000.000
Biofiltro	BF1 a BF3	3	Biofiltro	N/A	Tanque 15.000 ltrs	\$ 15.000.000	\$ 45.000.000
Tablero de control sistema bombeo	-	1	Tablero de control sistema bombeo	-	-	\$ 35.000.000	\$ 35.000.000
Tanque sumidero	TS	1	Tanque	N/A	Tanque 288 m3 concreto	\$ 17.280.000	\$ 17.280.000
Unidad de adición de nutrientes y manifold de descarga de hidroponía	AN-MDUH	1	Tanque	N/A	Tanque 15.000 ltrs	\$ 15.000.000	\$ 15.000.000
Tanque aguas lluvias	TAL	1	Tanque	N/A	Tanque 144 m3 concreto	\$ 8.640.000	\$ 8.640.000
Tablero de distribución eléctrica	-	1	Tablero de distribución eléctrica	-	-	\$ 8.000.000	\$ 8.000.000
Válvula manual de ingreso CP	VM-I-CP01 a VM-I-CP27	27	Válvula manual de mariposa	N/A	8" PVC 235 PSI	\$ 200.535	\$ 5.414.445
Tanque agua potable tratada	TAP	1	Tanque	N/A	Tanque 72 m3 concreto	\$ 4.320.000	\$ 4.320.000

Válvula manual MDUH	VM-MDUH- 1a VM-MDUH- 9	9	Válvula manual de bola	N/A	6" PVC 235 PSI	\$ 359.975	\$ 3.239.775
Válvula manual de descarga	B1-D-VM a B4-D-VM	4	Válvula manual de bola	N/A	6" PVC 235 PSI	\$ 359.975	\$ 1.439.900
Válvula manual de ingreso TP	VM-I-TP1 a VM-I-TP9	9	Válvula manual de bola	N/A	4" PVC 235 PSI	\$ 121.900	\$ 1.097.100
Válvula manual de salida TP	VM-O-TP1 a VM-O-TP9	9	Válvula manual de bola	N/A	4" PVC 235 PSI	\$ 121.900	\$ 1.097.100
Válvula cheque B	B1-CV a B4-CV	4	Válvula cheque	N/A	6" PVC 235 PSI	\$ 223.125	\$ 892.500
Válvula manual de drenaje CP	VM-D-CP01 a VM-D-CP27	27	Válvula manual de bola	N/A	2" PVC 235 PSI	\$ 29.900	\$ 807.300
Válvula manual de succión	B1-S-VM a B4-S-VM	4	Válvula manual de mariposa	N/A	8" PVC 235 PSI	\$ 200.535	\$ 802.140
Válvula manual de aire CP	VM-A-CP01 a VM-A-CP27	27	Válvula manual de bola	N/A	1 1/2" PVC 235 PSI	\$ 22.900	\$ 618.300
Válvula manual de ingreso BF	VM-I-BF1 a VM-I-BF3	3	Válvula manual de mariposa	N/A	8" PVC 235 PSI	\$ 200.535	\$ 601.605
Válvula manual de salida BF	VM-O-BF1 a VM-O-BF3	3	Válvula manual de mariposa	N/A	8" PVC 235 PSI	\$ 200.535	\$ 601.605
Válvula manual de ingreso AN	VM-I-AN1 a VM-I-AN3	3	Válvula manual de mariposa	N/A	8" PVC 235 PSI	\$ 200.535	\$ 601.605
Válvula manual de residuos sólidos FTR	VMRS-FTR 1a VMRS-FTR 3	3	Válvula manual de bola	N/A	4" PVC 235 PSI	\$ 121.900	\$ 365.700
Válvula manual de drenaje TP	VM-D-TP1 a VM-D-TP9	9	Válvula manual de bola	N/A	2" PVC 235 PSI	\$ 29.900	\$ 269.100
Válvula manual de aire TP	VM-A-TP1 a VM-A-TP9	9	Válvula manual de bola	N/A	1 1/2" PVC 235 PSI	\$ 22.900	\$ 206.100
Válvula manual de salida TAL	VM-O-TAL	1	Válvula manual de bola	N/A	4" PVC 235 PSI	\$ 121.900	\$ 121.900
Válvula manual de salida TAP	VM-O-TAP	1	Válvula manual de bola	N/A	4" PVC 235 PSI	\$ 121.900	\$ 121.900
Válvula manual de drenaje BF	VM-D-BF1 a VM-D-BF3	3	Válvula manual de bola	N/A	2" PVC 235 PSI	\$ 29.900	\$ 89.700
Válvula manual de ingreso TAL	VM-I-TAL	1	Válvula manual de bola	N/A	3" PVC 235 PSI	\$ 69.912	\$ 69.912

Válvula manual entre TAL y TAP	VM-TAL-TAP	1	Válvula manual de bola	N/A	3" PVC 235 PSI	\$ 69.912	\$ 69.912
Válvula manual de ingreso TAP	VM-I-TAP	1	Válvula manual de bola	N/A	3" PVC 235 PSI	\$ 69.912	\$ 69.912
Válvula manual de aire BF	VM-A-BF1 a VM-A-BF3	3	Válvula manual de bola	N/A	1 1/2" PVC 235 PSI	\$ 22.900	\$ 68.700
Válvula manual de drenaje TS	VM-D-TS	1	Válvula manual de bola	N/A	2" PVC 235 PSI	\$ 29.900	\$ 29.900
Válvula manual de drenaje TAL	VM-D-TAL	1	Válvula manual de bola	N/A	2" PVC 235 PSI	\$ 29.900	\$ 29.900
Válvula manual de drenaje TAP	VM-D-TAP	1	Válvula manual de bola	N/A	2" PVC 235 PSI	\$ 29.900	\$ 29.900
						\$ 836.279.171	\$ 702.755.606

Nota. Elaboración propia.

Apéndice I. Detalle de costos por construcción.

Tabla I1

Detalle de Costos por Construcción

Instalación	Características	Área (m2)	Precio (m2)	Total
Invernadero	Invernadero en estructura metálica con cubierta en polietileno Cal 6 con protección UV	3216	\$ 18.000	\$ 57.888.000
Almacén	Construcción en En Bloque N 5 E0.12 M	35	\$ 1.200.000	\$ 42.000.000
Cuarto herramientas	Construcción en En Bloque N 5 E0.12 M	20	\$ 1.200.000	\$ 24.000.000
Oficinas	Construcción en En Bloque N 5 E0.12 M	35,5	\$ 1.200.000	\$ 42.600.000
Cuarto de bombas y tableros eléctricos	Construcción en En Bloque N 5 E0.12 M	39	\$ 1.200.000	\$ 46.800.000
Cuarto planta eléctrica	Construcción en En Bloque N 5 E0.12 M	25	\$ 1.200.000	\$ 30.000.000
Instalación eléctrica	Cableado, iluminación y tomas eléctricas	3600	\$ 7.000	\$ 25.200.000
			\$ 51.012.720	\$ 268.488.000

Nota. *Elaboración propia.*

Apéndice J. Detalle de ventas incrementales.

Tabla J1

Detalle de Ventas Incrementales

Producto	Cantida d mes	Cantida d año	Precio	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Trucha (un x 500 gr)	2290	27480	\$ 9.000	\$ 61.830.000	\$ 254.739.60 0	\$ 267.476.58 0	\$ 280.850.40 9	\$ 294.892.92 9
Plántulas (un)	2700	280800	\$ 2.700	\$ 758.160.000	\$ 796.068.00 0	\$ 835.871.40 0	\$ 877.664.97 0	\$ 921.548.21 9
				\$ 819.990.000	\$ 1.050.807.6 00	\$ 1.103.347.9 80	\$ 1.158.515.3 79	\$ 1.216.441.1 48

Nota. *Elaboración propia.*



Apéndice K. Estructura de costos.

Tabla K1
Estructura de Costos

Costos directos por materia prima								
Materia Prima	Cantidad mes	Cantid ad año	Precio	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Alevinos - trucha (un)	2290	27480	\$ 150	\$ 4.122.000	\$ 4.245.660	\$ 4.373.030	\$ 4.504.220	\$ 4.639.350
Plántulas (un)	2700	32400	\$ 420	\$ 13.608.000	\$ 14.016.240	\$ 14.436.730	\$ 14.869.830	\$ 15.315.930
Alimento peces (Kg.)	1860	22320	\$ 6.525	\$ 145.638.000	\$ 150.007.140	\$ 154.507.350	\$ 159.142.570	\$ 163.916.850
Insumos (Kg.)	186	2232	\$ 6.000	\$ 13.392.000	\$ 13.793.760	\$ 14.207.570	\$ 14.633.800	\$ 15.072.810

Costos directos por mano de obra								
Cargos para operación	Costo total salario	Cantid ad año	Costo año / pax	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Administrador (1 pax/mes)	\$ 2.652.107	12	\$ 31.825.284	\$ 31.825.284	\$ 33.416.548	\$ 35.087.375	\$ 36.841.743	\$ 38.683.830
Operarios (3 pax/mes)	\$ 2.072.933	12	\$ 24.875.196	\$ 74.625.588	\$ 78.356.867	\$ 82.274.710	\$ 86.388.445	\$ 90.707.867
Ingeniero Agrónomo (0,5 pax/mes)	\$ 1.760.434	12	\$ 21.125.202	\$ 21.125.202	\$ 22.181.462	\$ 23.290.535	\$ 24.455.062	\$ 25.677.815
Conductor (1 pax/mes)	\$ 2.072.933	12	\$ 24.875.196	\$ 24.875.196	\$ 26.118.956	\$ 27.424.904	\$ 28.796.149	\$ 30.235.957

Costos directos por Horas Extras								
Cargos para cosecha cada 40 días	Costo HE	Cantid ad año	Costo año /pax	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Administrador (1 pax/mes)	\$ 10.119	108	\$ 1.092.852	\$ 1.092.852	\$ 1.147.495	\$ 1.204.869	\$ 1.265.112	\$ 1.328.368
Operarios (3 pax/mes)	\$ 6.190	324	\$ 668.520	\$ 2.005.560	\$ 2.105.838	\$ 2.211.130	\$ 2.321.687	\$ 2.437.772
Conductor (1 pax/mes)	\$ 6.190	108	\$ 668.520	\$ 66.852,00	\$ 701.946,00	\$ 737.043,00	\$ 773.895,00	\$ 81.259,00

Costos indirectos								
Rubro	Costo por unidad	Cantid ad año	Costo por año	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Servicio de acueducto (m ³)	\$ 2.500	220	\$ 550.000	\$ 550.000	\$ 577.500	\$ 606.375	\$ 636.694	\$ 668.528
Servicio eléctrico (Kw/h)	\$ 800	15000	\$ 144.000,00	\$ 144.000,000	\$ 151.200,000	\$ 158.760,000	\$ 166.698,000	\$ 175.032,900
Diesel (20 gal/tk - 22,5 km/gal)	\$ 12.000	7200	\$ 3.840.000	\$ 3.840.000	\$ 3.955.200	\$ 4.073.856	\$ 4.196.072	\$ 4.321.954
Servicio de mantenimiento (mes)	\$ 2.000.000	12	\$ 24.000.000	\$ 24.000.000	\$ 24.720.000	\$ 25.461.600	\$ 26.225.448	\$ 27.012.211
Mantenimiento vehículo	\$ 2.500.000	1	\$ 2.500.000	\$ 2.500.000	\$ 2.575.000	\$ 2.652.250	\$ 2.731.818	\$ 2.813.773
Disposición de residuos (m ³)	\$ 40.000	40	\$ 1.600.000	\$ 1.600.000	\$ 1.680.000	\$ 1.764.000	\$ 1.852.200	\$ 1.944.810
Capacitación operarios/admin (usuario/hora)	\$ 50.000	150	\$ 7.500.000	\$ 7.500.000	\$ 7.500.000	\$ 7.500.000	\$ 7.500.000	\$ 7.500.000
Telefonía móvil	\$ 75.000	12	\$ 900.000	\$ 900.000	\$ 945.000	\$ 992.250	\$ 1.041.863	\$ 1.093.956

Otros gastos								
Rubro	Costo	Cantidad por año	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	
Licencias y certificaciones	\$ 10.000.000	una sola vez cada 5 años promedio	\$ 10.000.000	\$ 600.000	\$ 600.000	\$ 600.000	\$ 600.000	

Nota. Elaboración propia.

Apéndice L. Plan de amortizaciones.

Tabla L1

Plan de Amortizaciones

Periodo	Saldo	Amortización	Interés	Cuota	Cargos y Comisiones	Cuota Total
0						(804.000.000)
1	804.000.000	(94.899.327)	94.899.327	-	-	-
2	898.899.327	-	106.100.673	106.100.673	-	106.100.673
3	898.899.327	79.913.888	85.795.550	165.709.437	-	165.709.437
4	818.985.439	87.541.278	78.168.159	165.709.437	-	165.709.437
5	731.444.162	95.896.665	69.812.772	165.709.437	-	165.709.437
6	635.547.497	105.049.533	60.659.904	165.709.437	-	165.709.437
7	530.497.963	115.075.998	50.633.439	165.709.437	-	165.709.437
8	415.421.965	126.059.440	39.649.997	165.709.437	-	165.709.437
9	289.362.526	138.091.198	27.618.240	165.709.437	-	165.709.437
10	151.271.328	151.271.328	14.438.109	165.709.437	-	165.709.437
					TIR Semestral	10,35%
					TIR Anual	21,77%

Nota. *Elaboración propia.*

Apéndice M. Tarjeta de Strategyzer, hipótesis de rentabilidad.

Figura M1

Tarjeta de Strategyzer, Hipótesis de Rentabilidad

Tarjeta de prueba (Strategyzer)

Actividad: Hipótesis de rentabilidad

Responsable: Equipo 1

Paso 1: Hipótesis (Riesgo)

Creemos que

El modelo de negocio será rentable si la relación VTVC/CAC es superior a 7 en al menos el 70% de las simulaciones Monte Carlo.

Paso 2: Prueba (Confiabilidad de los datos)

Para verificarlo, nuestros

Realizaremos simulaciones de Monte Carlo con 5,000 iteraciones.

Los valores del VTVC y CAC se generarán aleatoriamente usando distribuciones normales, ajustadas para cada escenario.

Paso 3: Métrica (Tiempo requerido)

Además, mediremos

La relación VTVC/CAC calculada en cada iteración.

Paso 4: Criterio

Estamos bien si

Nota: *Elaboración propia.*

Apéndice N. Tarjeta de Strategyzer, hipótesis de eficiencia operativa.

Figura N1

Tarjeta de Strategyzer, hipótesis de Eficacia Operativa

Tarjeta de prueba (Strategyzer)

Actividad: Hipótesis de eficiencia operativa.

Responsable: Equipo 1

Paso 1: Hipótesis (Riesgo)

Creemos que

El negocio será sostenible si los costos operativos se mantienen dentro de un margen del 50% de los ingresos totales en el 80% de las simulaciones de Monte Carlo.

Paso 2: Prueba (Confiabilidad de los datos)

Para verificarlo, nosotros

Simularemos los costos operativos y los ingresos totales del negocio utilizando variables aleatorias en cada iteración, modeladas a través de una simulación Monte Carlo (5,000 iteraciones).

Paso 3: Métrica (Tiempo requerido)

Además, mediremos

Porcentaje de simulaciones en las que los costos operativos se mantienen dentro de un 40% de los ingresos totales.

Paso 4: Criterio

Estamos bien si

El 80% de las simulaciones deben mostrar que los costos operativos son menores o iguales al 50% de los ingresos totales. Si este criterio se cumple, el modelo de negocio se considerará eficiente y sostenible.

Nota: *Elaboración propia.*

Apéndice O. Tarjeta de Strategyzer, hipótesis de viabilidad financiera.

Figura O1

Tarjeta de Strategyzer, Hipótesis de Viabilidad Financiera

Tarjeta de prueba (Strategyzer)

Actividad: Hipótesis de viabilidad financiera.

Responsable: Equipo 1

Paso 1: Hipótesis (Riesgo)

Creemos que

El proyecto será viable si el riesgo de pérdida es menor al 20% de las simulaciones y su VAN medio es superior a 300,000,000 COP.

Paso 2: Prueba (Confiabilidad de los datos)

Para verificarlo, nosotros

Realizaremos 5,000 simulaciones de Monte Carlo considerando diferentes escenarios para evaluar la viabilidad financiera del proyecto.

Paso 3: Métrica (Tiempo requerido)

Además, mediremos

Porcentaje de simulaciones en el que el riesgo de pérdida, definido como el porcentaje de simulaciones donde el VAN es inferior al 20% y el VAN medio es superior a 300,000,000 COP.

Paso 4: Criterio

Estamos bien si

El riesgo de pérdida es menor al 20% de las simulaciones muestran y el VAN medio es superior a 300,000,000 COP.

Nota: *Elaboración propia.*

Apéndice P. Flourishing Business Canvas. Elaboración propia.

Figura P1

Flourishing Business Canvas

<p>Ambiental El proyecto de acuaponía reduce significativamente el uso de recursos naturales, disminuyendo la huella ecológica en la producción de alimentos. Utiliza hasta un 90% menos de agua que la agricultura tradicional y prescinde de pesticidas y fertilizantes químicos, lo que protege los suelos y el agua. El sistema crea un ciclo cerrado donde los residuos de los peces se transforman en nutrientes para las plantas, optimizando los recursos y reduciendo desechos. Además, el uso de energías renovables en su operación disminuye las emisiones de gases de efecto invernadero, contribuyendo a la conservación de los recursos naturales y minimizando el impacto ambiental (FAO, 2021).</p>				
<p>Social El proyecto de acuaponía tiene un impacto social positivo, mejorando el bienestar de las comunidades locales mediante la generación de empleo y el acceso a alimentos frescos. Se crearán puestos de trabajo tanto en la operación de los sistemas como en la distribución de productos, lo que ayudará a reducir la migración rural-urbana. Además, se ofrecerá capacitación en prácticas agrícolas sostenibles, proporcionando a los agricultores y jóvenes habilidades técnicas que fortalecerán la economía local y empoderarán a las comunidades para mejorar su calidad de vida y fomentar el desarrollo sostenible en la región (Banco Mundial, 2021).</p>				
<p>Económico Desde una perspectiva económica, el proyecto de acuaponía es rentable y sostenible. Al permitir una producción continua de alimentos todo el año, independientemente del clima, ofrece a los agricultores una fuente estable de ingresos. Además, la reducción de costos en agua y la eliminación de productos químicos aumentan la eficiencia operativa y los márgenes de ganancia. El modelo de negocio es escalable y replicable, lo que facilita su expansión y atrae inversiones. El análisis financiero proyecta un VAN positivo en escenarios optimistas y neutrales, confirmando la viabilidad del proyecto a largo plazo (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2022).</p>				
<p>Reservas biofísicas El proyecto de acuaponía en La Calera está diseñado para optimizar el uso de reservas biofísicas como el agua y los nutrientes, reduciendo el impacto ambiental mediante un ciclo cerrado en el que los desechos de los peces sirven</p>	<p>Proceso El proceso de implementación del sistema acuapónico se divide en varias fases clave. Primero, se realiza la instalación de la infraestructura técnica, que incluye tanques para los peces y camas de cultivo. Luego, se procede con la integración del sistema de circulación de agua, que facilita el reciclaje de nutrientes entre los peces y las plantas, optimizando el uso de recursos. Finalmente, se lleva a cabo la capacitación de los agricultores en el manejo y operación del sistema acuapónico. Este proceso no solo garantiza la viabilidad técnica del proyecto, sino que también maximiza el aprovechamiento de los recursos naturales y humanos disponibles.</p>	<p>Valor Descripción: El proyecto ofrecerá productos frescos y sostenibles mediante acuaponía, usando prácticas agrícolas eficientes que preservan recursos naturales. El impacto esperado es satisfacer la demanda de productos sostenibles y lograr una diferenciación en el</p>	<p>Personas El proyecto mejora la calidad de vida de las comunidades rurales a través de la creación de empleo, la mejora en la seguridad alimentaria y la capacitación en prácticas sostenibles.</p>	<p>Actores Los actores clave incluyen agricultores que gestionan la producción, técnicos que apoyan los sistemas, universidades que aportan investigación y desarrollo, y socios comerciales que distribuyen los productos. Este enfoque colaborativo fortalece el</p>

<p>como fertilizante para las plantas. Este enfoque consume menos recursos que los métodos agrícolas tradicionales, protege los ecosistemas y promueve la sostenibilidad a largo plazo. Al operar bajo un marco de respeto por los límites biofísicos, el proyecto reduce el consumo de agua y mantiene la calidad del suelo, beneficiando la salud del entorno natural.</p>			mercado por calidad y sostenibilidad.			<p>proyecto, haciéndolo más robusto y adaptable a las necesidades del mercado y las condiciones locales, garantizando su sostenibilidad a largo plazo.</p>
	<p>Recursos En cuanto a los recursos, el proyecto depende principalmente de insumos sostenibles como sistemas de bombeo eficientes, nutrientes orgánicos y tecnologías de energía renovable que alimentan los sistemas acuapónicos. Los recursos humanos también juegan un papel fundamental: la participación de los agricultores locales y la formación de equipos técnicos especializados son esenciales para garantizar el éxito a largo plazo. Además, el proyecto necesita acceso a capital financiero inicial para la compra de equipamiento especializado y la adecuación del espacio de producción.</p>	<p>Alianzas Las alianzas son clave para el éxito del proyecto de acuaponía. La colaboración con instituciones académicas, gobiernos y ONGs impulsa la investigación, innovación y adopción de tecnologías sostenibles, además de facilitar recursos financieros y capacitación. Alianzas estratégicas con proveedores y distribuidores optimizan la operación y amplían el acceso al mercado. Estas colaboraciones aumentan la escalabilidad y sostenibilidad económica, ambiental y social del proyecto.</p>	<p>Co-creación de valor La co-creación de valor es fundamental en este proyecto, ya que involucra a agricultores, técnicos, instituciones académicas y consumidores en su diseño, implementación y crecimiento. Todos contribuyen con conocimientos y recursos para mejorar la producción de alimentos frescos y sostenibles. Esta colaboración fomenta prácticas más eficientes y adaptadas a las necesidades locales, creando un modelo de negocio rentable y beneficioso para las comunidades. Al integrar a múltiples actores, se asegura que el valor generado se distribuya equitativamente, fortaleciendo</p>	<p>Relaciones Las relaciones son clave para el éxito del proyecto a largo plazo. La cooperación entre agricultores, gobiernos, socios tecnológicos y consumidores sostenibles garantiza la eficiencia operativa y el impacto social. Las relaciones con los consumidores permiten ajustar el proyecto a las demandas del mercado, mientras que las relaciones con proveedores aseguran el uso de las mejores tecnologías. Estas conexiones facilitan la operación diaria, mejoran la comunicación y permiten resolver problemas rápidamente, fortaleciendo la resiliencia del proyecto.</p>	<p>Grupos de interés Incluyen agricultores, consumidores, gobiernos locales, ONGs, inversionistas y proveedores de tecnología, cada uno con un rol clave. Los agricultores operan el sistema, los consumidores generan demanda, los gobiernos y ONGs brindan apoyo regulatorio y financiero, mientras que los inversionistas aportan los recursos necesarios para la expansión. Mantener un diálogo continuo con estos grupos es esencial para asegurar que sus necesidades sean atendidas, fomentando una mayor participación y apoyo</p>	

			relaciones y empoderando a los participantes.		durante todo el ciclo de vida del proyecto	
Servicios ecosistémicos El proyecto de acuaponía ofrece múltiples servicios ecosistémicos, como la conservación del agua, la mejora de la calidad del suelo y la reducción de la contaminación mediante la no utilización de pesticidas o fertilizantes químicos. Además, la acuaponía contribuye a la regulación del clima, ya que al emplear técnicas de cultivo sostenibles y energía renovable, se reduce la emisión de gases de efecto invernadero.	Actividades Las actividades centrales del proyecto incluyen la instalación y mantenimiento de sistemas acuapónicos, la capacitación técnica para agricultores, y la comercialización de productos frescos a través de canales locales y regionales. Estas actividades están diseñadas para optimizar la eficiencia del uso de recursos y garantizar la continuidad del flujo de productos de alta calidad.	Gobernanza La gobernanza del proyecto se organiza en torno a una colaboración entre los agricultores locales, entidades gubernamentales, ONGs y universidades. Esta estructura asegura que los actores clave participen activamente en la toma de decisiones, lo que garantiza que el proyecto siga siendo inclusivo y sostenible. Se establecen mecanismos de control y supervisión para asegurar el cumplimiento de las normativas ambientales y sociales, promoviendo la transparencia en cada fase del proyecto.	Co-destrucción de valor es crucial considerar el riesgo de co-destrucción de valor, que podría ocurrir si la falta de mantenimiento adecuado de los sistemas acuapónicos o una gestión deficiente de los recursos naturales llevan a una pérdida de productividad o impacto ambiental negativo. Para mitigar este riesgo, se han implementado o programas de capacitación continua y auditorías regulares que aseguran el cumplimiento de los estándares operativos y ambientales.	Canales Los canales de distribución para los productos acuapónicos incluyen mercados locales, supermercados y restaurantes, dirigidos a consumidores que valoran la sostenibilidad. A medida que crece la red de comercialización, se explorarán nuevos canales como plataformas de e-commerce y alianzas con distribuidores de alimentos sostenibles. Esta diversificación no solo ampliará el mercado, sino que también asegurará que los productos lleguen a diversos consumidores, desde locales hasta aquellos interesados en productos sostenibles a nivel nacional e internacional.		Necesidades El proyecto de acuaponía necesita capital inicial y financiamiento para inversión y costos operativos. Requiere tecnologías avanzadas para los sistemas y energía sostenible. Es clave la capacitación técnica de agricultores y personal de mantenimiento. Logísticamente, se necesita una red de distribución eficiente y transporte adecuado. Además, debe cumplir con los requisitos regulatorios, como permisos y normativas ambientales para el uso de agua y energía.
Costos El proyecto de acuaponía en La Calera requiere una inversión inicial estimada en 1.340 millones COP para la instalación de la infraestructura, incluyendo tanques de peces, bombas de agua, sistemas de filtración y			Metas El proyecto busca alcanzar el punto de equilibrio en	Beneficios Los beneficios del proyecto son múltiples y abarcan tanto el ámbito social como económico y ambiental. En el aspecto social, el proyecto generará empleo local, brindará a los agricultores nuevas oportunidades de		

<p>camas de cultivo. Además, los costos operativos anuales en el escenario neutral ascienden a 165 millones COP, que incluyen salarios, mantenimiento, insumos y energía. La capacitación de los agricultores locales tendrá un costo anual estimado de 50 millones COP, mientras que la implementación de sistemas de energía renovable demandará 20 millones COP adicionales por año. También se prevé un costo de 30 millones COP anuales para la distribución y comercialización de los productos, asegurando la logística necesaria para llevar los productos a los mercados locales y regionales.</p>	<p>tres años, generar un ROI del 18% a 30% y lograr una penetración de mercado del 30% en cinco años. Además, se planea capacitar a más de 100 agricultores en acuaponía, con la visión de expandir el modelo a otras regiones del país.</p>	<p>ingresos y mejorará el acceso a alimentos frescos y saludables para la población. En el ámbito ambiental, los sistemas acuapónicos contribuyen a la conservación del agua y reducen el uso de productos químicos, generando un impacto positivo en el ecosistema. En cuanto al beneficio económico, el proyecto es rentable a largo plazo y ofrece un modelo de negocio escalable, atrayendo potenciales inversores interesados en la agricultura sostenible.</p>
<p>Resultados Los resultados esperados incluyen la creación de una cadena de valor sostenible, en la que los agricultores locales sean los principales beneficiarios de los ingresos generados por la venta de productos acuapónicos. Se espera que para el quinto año, el proyecto no solo sea financieramente estable, sino también un referente en Colombia para la producción de alimentos sostenibles, con capacidad para replicarse en otras zonas del país. Los resultados también incluirán una reducción significativa en el uso de agua y recursos naturales en comparación con la agricultura tradicional, y una mejora en la calidad de vida de las comunidades involucradas.</p>		

Nota: *Elaboración propia.*

Apéndice Q. Documentos adicionales

En el siguiente enlace puede ingresar a los documentos adicionales en modo lectura:

https://drive.google.com/drive/folders/1SORs_0sYi-1WB7wYnr9-ZTbIJSffl1n1?usp=sharing

Anexo 1. Cálculo financiero 2025 – archivo Excel. Elaboración propia.

Anexo 2. Cartas de intención de compra.

Anexo 3. Simulación Montecarlo – Plan de Marketing. Elaboración propia.

Anexo 4. Simulación Montecarlo – Plan Operativo. Elaboración propia.

Anexo 5. Simulación Montecarlo - Plan Financiero. Elaboración propia.

Anexo 6. Diagrama de Gantt. Elaboración propia.

