



Vigilada Mineducación

**ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN
PROYECTO DE CULTIVO HIDROPÓNICO SOSTENIBLE EN EL MUNICIPIO DE SAN
VICENTE FERRER, ANTIOQUIA, FINCA LOS GUADUALES.**

**Prefeasibility study for the implementation of a sustainable hydroponic
cultivation project in the municipality of San Vicente Ferrer, Antioquia, farm Los
Guadales.**

MONICA YESENIA ESPINOSA ESPINOSA

CARLOS MARIO RICO GIRALDO

Trabajo de Grado para optar al título de Magíster en Gerencia de Proyectos

Asesor

Elkin Arcesio Gómez Salazar

UNIVERSIDAD EAFIT

ESCUELA DE ADMINISTRACIÓN

MAESTRÍA EN GERENCIA DE PROYECTOS

MEDELLÍN

2025

CONTENIDO

RESUMEN	8
ABSTRACT	9
INTRODUCCIÓN	10
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	11
2. JUSTIFICACIÓN	12
3. OBJETIVOS	13
3.1. GENERAL	13
3.2. ESPECÍFICOS.....	14
4. ANTECEDENTES	14
5. MARCO CONCEPTUAL	16
5.1. CONCEPTOS TEMÁTICOS	16
5.2. CONCEPTOS TÉCNICOS	18
6. DISEÑO METODOLÓGICO.....	20
6.1. FASES DE LA INVESTIGACIÓN.....	21
6.1.1. Análisis del Sector.....	21
6.1.2. Análisis de Mercado.....	21
6.1.3. Análisis Técnico y Tecnológico	25
6.1.4. Análisis Administrativo y Legal.....	26
6.1.5. Evaluación de Impacto Ambiental	26
6.1.6. Análisis Económico-Financiero	26
6.1.7. Análisis de Riesgos.....	27
6.1.8. Conclusiones.....	27
6.2. RUTA METODOLÓGICA.....	27

7. DESARROLLO DE LOS ESTUDIOS	29
7.1. ESTUDIO SECTORIAL	30
7.1.1. Entorno político	30
7.1.2. Entorno económico	32
7.1.3. Entorno social	35
7.1.4. Entorno tecnológico	36
7.1.5. Entorno ecológico/ambiental	37
7.1.6. Entorno legal	38
7.1.7. Matriz PESTEL.....	40
7.2. ESTUDIO DE MERCADO.....	40
7.2.1. Definición del producto.....	41
7.2.2. Análisis de la demanda	45
7.2.3. Análisis de competencia.....	56
7.2.4. Canales de comercialización.....	60
7.2.5. Análisis FODA del mercado	63
7.3. ESTUDIO TÉCNICO.....	65
7.3.1. Evaluación de sistemas hidropónicos	65
7.3.2. Estudio de localización y tamaño	69
7.3.3. Ingeniería del proyecto.....	71
7.3.4. Proceso productivo	81
7.3.5. Inversiones, costos y gastos	84
7.4. ESTUDIO ADMINISTRATIVO Y LEGAL	95
7.4.1. Componente Administrativo	95
7.4.2. Componente legal	106
7.5. ESTUDIO AMBIENTAL	114

7.5.1. Marco normativo ambiental aplicable	115
7.5.2. Cultivos hidropónicos Vs Cultivos tradicionales	117
7.5.4. Identificación y valoración de los impactos ambientales	118
7.5.5. Plan de Manejo Ambiental	121
7.5.6. Estrategias de Sostenibilidad	124
7.6. ESTUDIO ECONÓMICO - FINANCIERO	127
7.6.1. Depreciaciones y amortizaciones.....	128
7.6.2. Calculo y estimación de la TIO del proyecto	130
7.6.3. Flujo de caja del proyecto	131
7.6.4. Flujo de caja del inversionista	134
7.6.5. Análisis de sensibilidad	137
7.7. ESTUDIO DE RIESGOS	139
7.7.1. Metodología y escalas de evaluación	139
7.7.2. Identificación de Riesgos	140
7.7.3. Análisis cualitativo de riesgos	143
7.7.4. Análisis cuantitativo de riesgos	148
8. CONCLUSIONES	160
REFERENCIAS.....	164
ANEXOS	175

LISTA DE TABLAS

<i>Tabla 1. Ficha técnica encuesta mercados mayoristas</i>	24
<i>Tabla 2. Ficha técnica encuesta establecimientos gastronómicos</i>	24
<i>Tabla 3. Fases de la ruta metodológica</i>	28
<i>Tabla 4. Matriz PESTEL del proyecto</i>	40
<i>Tabla 5. Ranking de productos por segmento</i>	43
<i>Tabla 6. Ranking de productos por segmento ajustado</i>	43
<i>Tabla 7. Sensibilidad al precio por segmento</i>	46
<i>Tabla 8. Perfil del segmento alta cocina/gourmet</i>	46
<i>Tabla 9. Penetración del mercado</i>	48
<i>Tabla 10. Proyección quincenal de la demanda</i>	49
<i>Tabla 11. Precios del mercado consultados</i>	50
<i>Tabla 12. Inflación de alimentos – últimos 10 años (2015-2024)</i>	51
<i>Tabla 13. Proyección de precios</i>	52
<i>Tabla 14. Proyección de ingresos por precios</i>	52
<i>Tabla 15. Análisis de demanda Vs Capacidad instalada</i>	53
<i>Tabla 16. Proyección ajustada considerando restricción técnica</i>	54
<i>Tabla 17. Penetración proyectada Vs Penetración ajustada por capacidad</i>	55
<i>Tabla 18. Proyección de ingresos con restricción de capacidad</i>	55
<i>Tabla 19. Clasificación de competidores por tipo</i>	56
<i>Tabla 20. Perfil detallado de competidores directos</i>	56
<i>Tabla 21. Comparativo de precios por competidor</i>	57
<i>Tabla 22. Matriz FODA competidores Vs Proyecto los Guadales</i>	58
<i>Tabla 23. Calificación multifactorial de competidores</i>	59
<i>Tabla 24. Preferencias de canal - segmento alta cocina/gourmet</i>	61
<i>Tabla 25. Estructura de términos de pago - segmento objetivo</i>	61
<i>Tabla 26. Estrategias canales de comercialización</i>	62
<i>Tabla 27. Análisis FODA</i>	63
<i>Tabla 28. Estrategias derivadas del FODA</i>	64
<i>Tabla 29. Tipos de técnicas de cultivos hidropónicos</i>	66
<i>Tabla 30. Evaluación de técnicas de cultivos hidropónicos</i>	68
<i>Tabla 31. Producción escalonada del proyecto</i>	71
<i>Tabla 32. Dimensionamiento de las camas de producción unitaria</i>	72
<i>Tabla 33. Dimensionamiento de las camas de producción por año</i>	73
<i>Tabla 34. Cálculos para el área del invernadero</i>	77
<i>Tabla 35. Tipos de nutrientes en cultivo hidropónico</i>	79
<i>Tabla 36. Costos de inversión año 1 del proyecto</i>	85
<i>Tabla 37. Costos de reinversión año 2 del proyecto</i>	86
<i>Tabla 38. Costos de reinversión año 3 del proyecto</i>	87
<i>Tabla 39. Consumo variable de agua por cama</i>	88
<i>Tabla 40. Cálculo de los costos variables</i>	89
<i>Tabla 41. Cálculo de los costos fijos operacionales y administrativos año 1, 2 y 3</i>	90
<i>Tabla 42. Cálculo de los costos de transporte por año</i>	92

<i>Tabla 43. Cálculo de los costos de nómina por año</i>	94
<i>Tabla 44. Indicadores clave de gestión administrativa por área</i>	103
<i>Tabla 45. Costos de los sistemas de información</i>	105
<i>Tabla 46. Marco normativo integral aplicable al proyecto</i>	107
<i>Tabla 47. Costos de constitución y formalización empresarial</i>	112
<i>Tabla 48. Marco normativo ambiental en Colombia</i>	116
<i>Tabla 49. Comparativo cultivos tradicionales Vs cultivos hidropónicos</i>	117
<i>Tabla 50. Matriz de impacto ambiental</i>	119
<i>Tabla 51. Plan de monitoreo</i>	125
<i>Tabla 52. Depreciaciones de las inversiones</i>	129
<i>Tabla 53. Valor en libros de los activos</i>	130
<i>Tabla 54. Flujo de caja del proyecto</i>	132
<i>Tabla 55. Indicadores financieros del proyecto</i>	133
<i>Tabla 56. Análisis IRVA del proyecto</i>	133
<i>Tabla 57. Financiación de las inversiones</i>	134
<i>Tabla 58. Flujograma del inversionista</i>	135
<i>Tabla 59. Indicadores financieros del inversionista</i>	135
<i>Tabla 60. Análisis IRVA del inversionista</i>	136
<i>Tabla 61. Análisis de sensibilidad del VPN</i>	137
<i>Tabla 62. Análisis de sensibilidad de la TIR</i>	138
<i>Tabla 63. Escala de probabilidad</i>	139
<i>Tabla 64. Escala de impacto</i>	140
<i>Tabla 65. Clasificación de riesgos</i>	140
<i>Tabla 66. Identificación de riesgos mediante metodología PESTEL</i>	141
<i>Tabla 67. Matriz de riesgos del proyecto hidropónico</i>	144
<i>Tabla 68. Estrategias de mitigación de riesgos</i>	147
<i>Tabla 69. Matriz de probabilidad e impacto de los riesgos</i>	149
<i>Tabla 70. Resultados VPN Risk Vs Flujo de caja del inversionista</i>	159

TABLA DE ILUSTRACIONES

<i>Ilustración 1. PIB del sector agropecuario</i>	33
<i>Ilustración 2. Uso de productos agrícolas en canal mayorista</i>	42
<i>Ilustración 3. Uso de productos agrícolas en establecimientos gastronómicos</i>	42
<i>Ilustración 4. Interés de los productos hidropónicos</i>	43
<i>Ilustración 5. Demanda de los productos hidropónicos</i>	43
<i>Ilustración 6. Beneficios considerados de los productos hidropónicos</i>	44
<i>Ilustración 7. Características diferenciadoras entre productos hidropónicos Vs convencionales</i>	45
<i>Ilustración 8. Demanda proyectada</i>	49
<i>Ilustración 9. Disposición a pagar por segmento objetivo</i>	50
<i>Ilustración 10. Demanda servida Vs Demanda insatisfecha</i>	54

<i>Ilustración 11. Tipos de sistema de cultivo hidropónico</i>	<i>68</i>
<i>Ilustración 12. Localización de la finca Los Guadales</i>	<i>70</i>
<i>Ilustración 13. Esquema sistema hidráulico cultivo</i>	<i>76</i>
<i>Ilustración 14. Flujograma del proceso.....</i>	<i>83</i>
<i>Ilustración 15. Estructura organizacional Fase I</i>	<i>96</i>
<i>Ilustración 16. Estructura organizacional Fase II</i>	<i>97</i>
<i>Ilustración 17. Mapa de calor de riesgos</i>	<i>146</i>
<i>Ilustración 18. Probabilidad de Ocurrencia de Riesgos.....</i>	<i>150</i>
<i>Ilustración 19. Impacto de los riesgos políticos en el VPN</i>	<i>151</i>
<i>Ilustración 20. Impacto de los riesgos económicos en el VPN.....</i>	<i>152</i>
<i>Ilustración 21. Impacto de los riesgos sociales en el VPN</i>	<i>153</i>
<i>Ilustración 22. Impacto de los riesgos tecnológicos en el VPN</i>	<i>154</i>
<i>Ilustración 23. Impacto de los riesgos ecológico/ambientales en el VPN.....</i>	<i>155</i>
<i>Ilustración 24. Impacto de los riesgos legales en el VPN</i>	<i>156</i>
<i>Ilustración 25. Valor Esperado de los Riesgos.....</i>	<i>157</i>
<i>Ilustración 26. Porcentaje del Valor Esperado de los Riesgos.....</i>	<i>157</i>
<i>Ilustración 27. Distribución VPN Risk del Proyecto Vs VPN del Inversionista.....</i>	<i>159</i>

RESUMEN

El presente estudio evaluó la prefactibilidad para implementar un proyecto de cultivo hidropónico sostenible en la Finca Los Guadales, San Vicente Ferrer, Antioquia. Mediante la metodología ONUDI complementada con PMI para análisis de riesgos, se realizó una evaluación integral abarcando aspectos sectoriales, de mercado, técnicos, administrativo-legales, ambientales, económico-financieros y de riesgos. El análisis sectorial reveló un entorno favorable con políticas gubernamentales pro-agricultura sostenible. El estudio de mercado identificó alta receptividad (93.3%) en establecimientos gastronómicos de alta cocina, con disposición a pagar precios premium (80%). Técnicamente, se seleccionó el sistema NFT como óptimo, con capacidad instalada de 268.320 unidades anuales. La evaluación financiera demostró viabilidad sólida con VPN de \$120.192.032 COP, TIR del 45 por ciento y periodo de recuperación de 3.47 años. El análisis ambiental evidenció ventajas significativas versus agricultura tradicional, incluyendo 70-90 por ciento de ahorro hídrico. La gestión de riesgos identificó 18 eventos, siendo la dependencia contractual el principal riesgo. Los resultados confirman la prefactibilidad integral del proyecto, posicionándolo como modelo replicable de agricultura sostenible en contextos rurales colombianos.

Palabras clave: hidroponía, agricultura sostenible, prefactibilidad, San Vicente Ferrer, NFT, análisis financiero, gestión de riesgos, desarrollo rural

ABSTRACT

This study evaluated the pre-feasibility for implementing a sustainable hydroponic cultivation project at Finca Los Guadales, San Vicente Ferrer, Antioquia. Using UNIDO methodology complemented with PMI for risk analysis, a comprehensive evaluation was conducted covering sectoral, market, technical, administrative-legal, environmental, economic-financial, and risk aspects. The sectoral analysis revealed a favorable environment with pro-sustainable agriculture government policies. The market study identified high receptivity (93.3%) in haute cuisine gastronomic establishments, with willingness to pay premium prices (80%). Technically, the NFT system was selected as optimal, with an installed capacity of 268,320 units annually. The financial evaluation demonstrated solid viability with NPV of \$120,192,032 COP, IRR of 45%, and payback period of 3.47 years. The environmental analysis evidenced significant advantages versus traditional agriculture, including 70-90% water savings. Risk management identified 18 events, with contractual dependency being the main risk. The results confirm the integral pre-feasibility of the project, positioning it as a replicable model of sustainable agriculture in Colombian rural contexts.

Keywords: hydroponics, sustainable agriculture, pre-feasibility, San Vicente Ferrer, NFT, financial analysis, risk management, rural development

INTRODUCCIÓN

La agricultura colombiana enfrenta desafíos estructurales que requieren soluciones innovadoras para garantizar la seguridad alimentaria, optimizar el uso de recursos naturales y promover el desarrollo rural sostenible. En este contexto, la hidroponía emerge como una alternativa tecnológica prometedora que permite superar las limitaciones de la agricultura tradicional, particularmente en regiones con condiciones de suelos adversos, escasez hídrica o restricciones topográficas.

El presente trabajo de grado surge de la necesidad de evaluar la viabilidad de implementar un sistema de cultivo hidropónico en la Finca Los Guadales, ubicada en San Vicente Ferrer, Antioquia. Esta iniciativa responde tanto a una oportunidad de aprovechamiento productivo de un terreno subutilizado, pero sobre todo a la demanda creciente de productos agrícolas diferenciados en mercados urbanos especializados.

La importancia de este estudio se encuentra en múltiples aspectos. Desde la perspectiva académica, contribuye al desarrollo del conocimiento sobre la aplicabilidad de tecnologías hidropónicas en contextos rurales colombianos, proporcionando un marco metodológico replicable para evaluaciones similares. Desde el ámbito económico, analiza la viabilidad financiera de una inversión agrícola tecnificada, generando información valiosa para inversionistas y tomadores de decisiones. Desde el punto de vista del medio ambiente, evalúa los beneficios de un sistema productivo que optimiza el uso del agua y reduce el impacto sobre ecosistemas naturales. Socialmente, examina el potencial de generación de empleo local y transferencia tecnológica en una región con vocación agrícola.

El alcance del estudio abarca una evaluación integral de prefactibilidad siguiendo estándares internacionales, específicamente la metodología de la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI), complementada con herramientas del Project Management Institute (PMI) para el análisis de riesgos. La investigación comprende siete dimensiones fundamentales: análisis sectorial mediante metodología PESTEL, estudio de mercado con investigación primaria a 81 actores de la cadena comercial, evaluación técnica con selección de tecnología NFT, análisis administrativo-legal con definición de estructura organizacional, evaluación de impacto ambiental comparativo, análisis económico-financiero con proyección a cinco años, y gestión integral de riesgos mediante análisis cualitativo y cuantitativo.

La metodología adoptada combina enfoques cuantitativos y cualitativos, integrando fuentes primarias y secundarias de información. La recolección de datos primarios incluyó encuestas estructuradas a mayoristas y establecimientos gastronómicos de Medellín, mientras que el análisis de fuentes secundarias abarcó normatividad vigente, estudios sectoriales y referencias técnicas especializadas. El

análisis financiero empleó técnicas de evaluación de proyectos estándar, y la gestión de riesgos utilizó simulación Monte Carlo mediante software @RISK.

La estructura del documento refleja la secuencia lógica de la metodología ONUDI, iniciando con la caracterización del entorno sectorial, continuando con el análisis de mercado y los aspectos técnicos, administrativos, legales y ambientales, culminando con la evaluación económico-financiera y la gestión de riesgos. Esta organización facilita la comprensión integral del proyecto y sustenta las conclusiones sobre su prefactibilidad y conclusiones para su implementación.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La Finca Los Guadales, ubicada en San Vicente Ferrer, Antioquia, posee un terreno actualmente subutilizado que podría destinarse a actividades agrícolas productivas. Los propietarios consideran la posibilidad de implementar un sistema de cultivo hidropónico como alternativa de inversión. Sin embargo, carecen de información técnica y económica suficiente para determinar si este tipo de proyecto sería rentable y sostenible en las condiciones específicas del municipio.

San Vicente Ferrer presenta condiciones topográficas difíciles, caracterizadas por grandes pendientes, y sus suelos muestran deterioro progresivo debido al uso histórico de agroquímicos y prácticas agrícolas inadecuadas (Alcaldía de San Vicente Ferrer, 2024). Estas limitaciones afectan la productividad de los sistemas agrícolas convencionales, haciendo necesaria la exploración de alternativas como la hidroponía, definida como "una herramienta que permite el cultivo de plantas sin suelo, utilizando el suministro adecuado de los requerimientos hídrico-nutricionales, a través del agua y solución nutritiva, permitiendo un uso más eficiente del agua y los nutrientes" (Beltrano & Giménez, 2015, pág. 10), lo que representa una alternativa viable para la producción agrícola sin depender de las condiciones del suelo local.

A pesar del crecimiento global del mercado hidropónico, que proyecta alcanzar los \$25.1 mil millones USD para 2027 (MarketsandMarkets, 2022), y las potenciales ventajas que ofrece esta tecnología, los propietarios enfrentan varias incertidumbres que dificultan la toma de decisiones informadas sobre la inversión. Estas incertidumbres abarcan aspectos críticos como el entorno sectorial agrícola regional, el mercado potencial para productos hidropónicos, los requerimientos técnicos y tecnológicos específicos, el marco administrativo y legal aplicable, las implicaciones ambientales, la viabilidad económica-financiera, y los riesgos asociados al proyecto.

Este vacío de información genera un problema concreto: la imposibilidad de determinar de manera objetiva si la inversión en un sistema de cultivo hidropónico en la Finca Los Guadales representaría una alternativa viable y rentable. Sin esta evaluación, cualquier decisión de inversión se realizaría bajo condiciones de alta incertidumbre, aumentando significativamente la probabilidad de fracaso del proyecto.

Para resolver este problema, se requiere un estudio de prefactibilidad estructurado que evalúe todos los aspectos críticos del proyecto antes de comprometer recursos significativos. La metodología de la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI) proporciona un marco sistemático y comprehensivo para la evaluación de proyectos de inversión industrial y agroindustrial (Behrens & Hawranek, 1991), permitiendo analizar de manera integrada los componentes técnicos, de mercado, administrativos, legales, ambientales, económicos y financieros. Este enfoque metodológico, reconocido internacionalmente por su rigurosidad y aplicabilidad en diversos sectores productivos, constituye la herramienta idónea para responder a la pregunta de investigación: **¿Cuál es la prefactibilidad técnica, del entorno, de mercado, administrativa-legal, ambiental, económica-financiera y de riesgos de implementar un proyecto de cultivo hidropónico sostenible en la Finca Los Guadales del Municipio de San Vicente Ferrer, Antioquia?**

2. JUSTIFICACIÓN

La implementación de un sistema de cultivo hidropónico sostenible en la Finca Los Guadales, ubicada en San Vicente Ferrer, constituye una respuesta innovadora ante la necesidad de revitalizar espacios agrícolas improductivos y promover la sostenibilidad en la región. La finca, inactiva productivamente durante varios años, presenta una oportunidad estratégica para desarrollar un modelo de producción eficiente que supere las limitaciones de la agricultura tradicional.

En un contexto más amplio, la agricultura en Colombia enfrenta importantes retos relacionados con la baja productividad, la ineficiencia en el uso del suelo y el limitado uso de tecnologías avanzadas en zonas rurales. Según el Plan Nacional de Desarrollo 2022-2026 (Departamento Nacional de Planeación, 2023), una de las prioridades del gobierno es la adopción de sistemas agroalimentarios sostenibles que mejoren la producción local de alimentos mediante el uso de tecnología y ciencia aplicadas al sector agrícola. En este contexto, la implementación de un proyecto de cultivo hidropónico en la Finca Los Guadales, se presenta como una oportunidad, no solo para enfrentar los desafíos productivos, sino también para aprovechar el potencial del terreno.

La hidroponía, como técnica agrícola, ofrece importantes ventajas que pueden aprovecharse en este contexto. Al no depender de la calidad del suelo, sino de soluciones nutritivas disueltas en agua, permite un control total sobre las condiciones de crecimiento de las plantas, lo que se traduce en un uso más eficiente de los recursos. Además, la implementación de un sistema hidropónico en la finca no solo responde a la necesidad de incrementar la producción agrícola, sino que también promueve prácticas sostenibles que se alinean con los objetivos ambientales del departamento de Antioquia y con los objetivos de desarrollo de la nación.

Desde una perspectiva económica, la implementación de este sistema también se alinea con las políticas y tendencias globales de aumentar la eficiencia productiva en espacios limitados. En la región del oriente antioqueño, la agricultura representa una parte significativa de la economía, y San Vicente Ferrer, a pesar de sus retos topográficos, es reconocido como un productor clave de cultivos de papa, frijol y aguacate. No obstante, las prácticas agrícolas tradicionales en la zona han llevado al deterioro de los suelos, lo que exige nuevas alternativas de producción que sean tanto productivas como sostenibles. El uso de técnicas hidropónicas además de contribuir a la diversificación de cultivos, también reduce la dependencia de agroquímicos, mejorando la calidad del producto final.

Finalmente, la creciente demanda de alimentos sostenibles y de alta calidad, tanto en mercados locales como nacionales, representa una excelente oportunidad para que los productos hidropónicos de la finca se inserten de manera competitiva. Así, el proyecto de cultivo hidropónico en la Finca Los Guadales no solo aborda los desafíos de la producción agrícola en la región, sino que también impulsa la sostenibilidad y mejora la competitividad económica de la zona.

3. OBJETIVOS

3.1. GENERAL

Desarrollar un estudio de prefactibilidad para la implementación de un proyecto de cultivo hidropónico sostenible en el Municipio de San Vicente Ferrer, Finca Los Guadales.

3.2. ESPECÍFICOS

1. Analizar el entorno sectorial agrícola regional para identificar factores externos que influyan en la implementación del sistema hidropónico en la Finca Los Guadales.
2. Evaluar el mercado potencial para determinar la demanda, perfil de clientes y estrategias de comercialización de productos hidropónicos en la región.
3. Determinar los requerimientos técnicos y tecnológicos adecuados para la implementación del sistema hidropónico en la Finca Los Guadales.
4. Definir la estructura administrativa y el marco legal necesario para la implementación del proyecto hidropónico sostenible.
5. Evaluar el impacto ambiental potencial del sistema hidropónico y diseñar estrategias de mitigación apropiadas.
6. Valorar la viabilidad económica-financiera integral que permita determinar la viabilidad del proyecto.
7. Identificar y analizar los riesgos asociados al proyecto.

4. ANTECEDENTES

La agricultura es un pilar esencial para garantizar la seguridad alimentaria, fomentar el desarrollo rural y generar ingresos por exportaciones y consumo interno. Según la FAO (2006), cerca del 70 por ciento de la población rural con menores ingresos depende exclusivamente de la agricultura para su sustento. En Colombia, “el sector representa el 14,1 % del total de la población ocupada en el país y es la segunda actividad económica que más empleo genera” (Presidencia de la República de Colombia, 2025). A pesar de su relevancia, las zonas rurales colombianas enfrentan rezagos persistentes frente a los centros urbanos, lo cual se traduce en limitaciones como el bajo acceso a TIC, la escasa financiación, la deficiencia en infraestructura vial, la tenencia desigual de la tierra y la reducida presencia institucional, factores que perpetúan la baja productividad y la precariedad de la calidad de vida de los productores (Consejo privado de competitividad, 2022).

El departamento de Antioquia se ha consolidado como una de las regiones más competitivas del país, con una marcada apuesta por el desarrollo rural sostenible. En 2022 registró un PIB de 212.515 billones de pesos (Infobae, 2023) y un aporte del 12,9 por ciento al PIB agropecuario nacional, consolidando su papel protagónico en el contexto agrícola nacional. Este liderazgo se refleja en la promoción de políticas públicas y programas orientados hacia la agroecología, el uso eficiente de recursos, la seguridad

alimentaria y la adaptación al cambio climático, especialmente en regiones como el Oriente antioqueño, donde se encuentra San Vicente Ferrer. Este municipio, cuya economía depende en un 71,74 por ciento del sector agropecuario (Alcaldía de San Vicente Ferrer, 2024), lo convierte en una despensa agrícola clave para los mercados regionales y nacionales. No obstante, enfrenta desafíos como la fragmentación de la tierra, el bajo acceso a innovación tecnológica y la falta de diversificación productiva.

En este escenario, el uso de tecnologías sostenibles como la hidroponía se plantea como una alternativa innovadora y estratégica. Su relevancia fue reconocida por el Estado en el Plan Nacional de Desarrollo 2003–2006 (República de Colombia Gobierno Nacional, 2003), que propuso la promoción de este tipo de cultivos como estrategia de seguridad alimentaria, especialmente para poblaciones vulnerables. De igual forma, la Resolución 464 de 2017 establece que el Estado debe fomentar la investigación y transferencia tecnológica para incrementar la productividad agropecuaria, siendo la hidroponía una alternativa viable en este sentido (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2017).

A nivel internacional, el crecimiento de esta tecnología es evidente. El mercado global de hidroponía alcanzó un valor de 2,92 mil millones de dólares en 2023 y se espera que llegue a 4,82 mil millones en 2030, con una tasa de crecimiento anual compuesta del 7,4 por ciento (Exactitude Consultancy, 2023). Aunque Europa lidera este desarrollo, América del Sur ha venido incrementando su participación, evidenciando un interés creciente por prácticas agrícolas sostenibles que optimicen el uso del agua, reduzcan el impacto ambiental y mejoren la eficiencia productiva.

En Colombia, distintas experiencias académicas y técnicas han demostrado la viabilidad del cultivo hidropónico como modelo sostenible. El “Estudio de viabilidad financiera de los cultivos hidropónicos en el Oriente Antioqueño” (Castrillón Velásquez & Duque Hoyos, 2019), por ejemplo, analizó la rentabilidad de estos sistemas bajo condiciones controladas y concluyó que, con una adecuada planeación, acceso a tecnología y condiciones de mercado favorables, este tipo de proyectos puede ser exitoso. Asimismo, distintas universidades han impulsado el desarrollo y validación de tecnologías hidropónicas adaptadas a contextos regionales. La Universidad Nacional de Colombia cuenta con una estación experimental de cultivos hidropónicos con fines educativos y de demostración para garantizar la seguridad alimentaria urbana (Universidad Nacional de Colombia, 2021). La Universidad del Quindío implementó en 2024 su primera unidad experimental, liderada por el Grupo de Investigación en Ciencias Agropecuarias (GICAP), como plataforma de transferencia tecnológica adaptada a las condiciones del departamento (Universidad del Quindío, 2024). Por su parte, la Universidad de Los Andes lidera investigaciones sobre fertirriego en cultivos hidropónicos mediante un banco de pruebas diseñado para evaluar estrategias de nutrición vegetal eficiente (Universidad de Los Andes, 2021). Estas iniciativas constituyen

antecedentes importantes que permiten analizar los factores de éxito, los desafíos técnicos y las necesidades logísticas para la implementación de sistemas hidropónicos, lo cual resulta clave en la formulación de nuevos proyectos de este tipo.

En definitiva, el avance y la adopción de la hidroponía en Colombia, no solo reflejan un esfuerzo por modernizar y diversificar las prácticas agrícolas, sino también una respuesta a las limitaciones y desafíos que enfrenta el sector rural en el país. A medida que la hidroponía gana relevancia en el contexto global y nacional, su implementación en regiones estratégicas como Antioquia y municipios agrícolas clave como San Vicente Ferrer, se convierte en una oportunidad para fortalecer el sector agropecuario sostenible en Colombia.

5. MARCO CONCEPTUAL

La agricultura en Colombia enfrenta retos que requieren soluciones sostenibles e innovadoras. En este contexto, la hidroponía surge como una alternativa viable frente a los métodos tradicionales, especialmente en regiones con condiciones ambientales y topográficas adversas como San Vicente Ferrer, Antioquia. Por ello, el presente estudio de prefactibilidad abordado con la metodología ONUDI propone evaluar la implementación de un sistema de cultivo hidropónico sostenible como respuesta a dichos desafíos en la Finca Los Guadales. El marco conceptual que se desarrolla a continuación fundamenta teóricamente esta alternativa, contextualizándola dentro de la evolución agrícola y su aplicabilidad en el territorio.

5.1. CONCEPTOS TEMÁTICOS

La hidroponía, en su esencia, se define como “la ciencia del cultivo de plantas sin uso de tierra, en un medio inerte (arena gruesa, turba, vermiculita, aserrín, etcétera) al que se le agrega una solución nutriente que contiene todos los elementos esenciales requeridos por la planta para su crecimiento normal” (Barbado, 2005, pág. 10). Esta técnica no es una invención moderna, sus orígenes se remontan a civilizaciones antiguas como la babilónica, con sus famosos jardines colgantes, y la azteca, con sus ingeniosas chinampas (Beltrano & Giménez, 2015). Estos primeros experimentos en cultivo sin suelo sentaron las bases para lo que hoy se conoce como hidroponía moderna.

El concepto moderno de hidroponía comenzó a tomar forma en el siglo XIX, cuando científicos como Julius Von Sachs y Wilhelm Knop, botánicos alemanes, quienes realizaron experimentos pioneros en nutrición vegetal. Sin embargo, fue en la década de

1930 cuando el término fue acuñado por el Dr. William Frederick Gericke de la Universidad de California, quien demostró el potencial práctico de esta técnica cultivando tomates de gran tamaño en soluciones nutritivas (Beltrano & Giménez, 2015; Arano, 2007).

Desde entonces, la hidroponía ha evolucionado significativamente, impulsada por avances en la comprensión de la fisiología vegetal, la química de nutrientes y la tecnología de sistemas de cultivo (Beltrano & Giménez, 2015). Hoy en día, esta técnica ofrece ventajas significativas en términos de eficiencia hídrica, reducción del uso de pesticidas y aumento de la productividad por unidad de área. Sus características la posicionan como una solución prometedora frente a los desafíos que enfrenta la agricultura tradicional, como la escasez de agua, la degradación del suelo y la necesidad de aumentar la producción alimentaria para una población mundial en crecimiento, haciendo uso de menos cantidad de agua, tierra y energía.

Los sistemas hidropónicos, que materializan esta técnica, abarcan una amplia gama de métodos y estructuras. Estos van desde sistemas simples de raíz flotante, ideales para principiantes o pequeños productores, hasta complejas instalaciones automatizadas capaces de producir grandes cantidades de alimentos en espacios reducidos. Cada variante de sistema hidropónico tiene sus propias características y ventajas, las cuales se deben de analizar bajo el contexto general de cada uno de los proyectos.

La hidroponía se enmarca en el concepto de agricultura sostenible, que busca satisfacer las necesidades alimentarias actuales preservando los recursos naturales y garantizando la viabilidad económica del sector agrícola. No obstante, presentan desventajas como el costo inicial elevado y la necesidad de conocimientos técnicos especializados (Beltrano & Giménez, 2015), lo cual ha generado debates sobre su alineación con los principios de la agricultura ecológica y su conexión con los ciclos naturales.

Como se ha mencionado anteriormente, el proyecto se desarrollará en el municipio de San Vicente Ferrer, ubicado en el oriente del departamento de Antioquia. Esta región se caracteriza por su clima templado, paisajes montañosos y una economía predominantemente agrícola. Entre los cultivos más representativos se encuentran la papa, el frijol, el maíz, la fresa y otros productos de clima frío. La cercanía de San Vicente con la ciudad de Medellín, capital del departamento, constituye una ventaja competitiva para la comercialización de productos agrícolas, al facilitar el acceso a mercados urbanos con alta demanda de alimentos frescos, saludables y de producción sostenible.

En este contexto geográfico y productivo se encuentra la Finca Los Guadales, ubicada específicamente en el kilómetro 14 de la vía terciaria que comunica a San Vicente con el municipio de El Peñol. Se trata de una finca con una extensión aproximada

de 10 hectáreas, que ha pasado de generación en generación dentro de la familia Giraldo Santa. Durante varios años, ha sido escenario de actividades agrícolas tradicionales a pequeña escala, destacándose el cultivo de caña de azúcar, papa, frijol y maíz, bajo el liderazgo de don José Hermógenes Giraldo Agudelo y su esposa Maruja Santa Zapata. Estas labores productivas representaron el sustento económico para el núcleo familiar y contribuyeron al desarrollo de sus cinco hijas.

Sin embargo, tras el deterioro de salud y el posterior fallecimiento de don José, la finca perdió su vocación agrícola y actualmente sus tierras se encuentran sin ningún uso productivo. Esta situación representa una oportunidad estratégica para retomar su aprovechamiento mediante la implementación de un sistema moderno, eficiente y sostenible como lo es la hidroponía, donde el proyecto busca revitalizar el uso de la finca.

5.2. CONCEPTOS TÉCNICOS

Desde la perspectiva técnica, la evaluación de un proyecto hidropónico requiere un enfoque metodológico riguroso que considere tanto los aspectos agronómicos como los económicos y sociales. En este contexto, el concepto de prefactibilidad emerge como una etapa crucial en el ciclo de vida del proyecto.

La prefactibilidad es una evaluación preliminar, aunque exhaustiva, de la viabilidad técnica y económica de una iniciativa propuesta. Generalmente se sustenta en información secundaria y variables clave como inversión, mercado, aspectos legales, técnicos, ambientales y organizacionales. Esta etapa inicial del estudio de pre inversión tiene como objetivo proporcionar a los tomadores de decisiones los antecedentes necesarios para aprobar, modificar o rechazar el proyecto (Sapag Chain & Sapag Chain, 2008).

Un estudio de prefactibilidad típicamente abarca varios componentes clave:

1. Estudio del entorno y análisis sectorial: Se analizan variables de índole geográfico, social, demográficas y datos macroeconómicos.
2. Análisis de mercado: Evalúa la demanda potencial del producto, identifica a los competidores y analiza las tendencias del mercado.
3. Evaluación técnica: Examina la viabilidad de implementar la tecnología propuesta, considerando factores como la disponibilidad de insumos, la infraestructura necesaria y los requerimientos de mano de obra.
4. Análisis organizacional: Examina la estructura organizativa necesaria para implementar y operar el proyecto.
5. Aspectos fiscales y legales: Se revisan los requisitos legales, tributarios y los costos asociados a estos para el desarrollo del proyecto.

6. Evaluación de impacto ambiental: Considera los efectos potenciales del proyecto en el medio ambiente y propone medidas de mitigación.
7. Análisis financiero: Estima los costos de implementación y operación, proyecta los ingresos potenciales y evalúa la rentabilidad del proyecto.
8. Evaluación de riesgos: Identifica y analiza los riesgos potenciales que podrían afectar el éxito del proyecto.

La prefactibilidad se distingue de un estudio de factibilidad completo en que ofrece un nivel de detalle menor, pero suficiente para tomar decisiones iniciales sobre la viabilidad del proyecto. Es una herramienta valiosa para filtrar ideas de proyectos y determinar cuáles merecen una investigación más profunda y una inversión de recursos adicionales.

Para estructurar y evaluar el proyecto de manera integral, se consideran diversas metodologías complementarias, cada una aportando perspectivas y herramientas únicas al proceso de evaluación. Para abordar un estudio de viabilidad de esta naturaleza, existen diversas metodologías ampliamente reconocidas en la gestión y evaluación de proyectos. Entre ellas, destacan el Marco Lógico, ampliamente utilizado en la cooperación internacional, se centra en la planificación orientada a objetivos y la identificación de problemas y soluciones. Está la metodología del Project Management Institute (PMI), que ofrece un enfoque integral para la gestión de proyectos a lo largo de su ciclo de vida. También, el método ZOPP (Planificación de Proyectos Orientada a Objetivos), que enfatiza la participación de los involucrados en la planificación del proyecto, el Marco de Efectividad en el Desarrollo (DEF) desarrollado por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), que se enfoca en la medición de resultados y la gestión basada en evidencia para maximizar el impacto de los proyectos. Igualmente, el Banco Mundial utiliza el Marco de Evaluación de Impacto del Desarrollo (DIME), que subraya la importancia de la evaluación rigurosa para informar el diseño de políticas y programas.

Las metodologías mencionadas aportan valiosas herramientas para diferentes aspectos de la planificación y evaluación de proyectos, desde la identificación de problemas hasta la implementación y seguimiento, con un fuerte énfasis en la medición de resultados y la eficacia del desarrollo. Sin embargo, dada la naturaleza específica de un proyecto de cultivo hidropónico de carácter privado, que combina elementos de agricultura, tecnología y desarrollo económico, la metodología de la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial – ONUDI, se presenta como la más adecuada para este estudio de prefactibilidad.

La metodología ONUDI, desarrollada específicamente para la evaluación de proyectos de inversión industrial, proporciona un marco sistemático y comprehensivo que se adapta bien a las características de un proyecto hidropónico. Esta metodología se

estructura en cinco componentes principales: Análisis de mercado y demanda, Análisis técnico, Análisis económico y financiero, Evaluación ambiental y Análisis institucional y organizacional (Behrens & Hawranek, 1991).

Esta herramienta es particularmente valiosa debido a que abarca todos los aspectos críticos del proyecto, desde la viabilidad técnica hasta las consideraciones de mercado y ambientales, proporciona un marco robusto para evaluar la viabilidad económica y financiera del proyecto, elemento crucial para atraer inversiones o financiamiento, permite adaptar el análisis a las condiciones específicas de San Vicente Ferrer y la región del Oriente Antioqueño; integra consideraciones ambientales y sociales, alineándose con los objetivos de desarrollo sostenible y facilita la identificación de riesgos potenciales y la formulación de estrategias de mitigación.

6. DISEÑO METODOLÓGICO

El diseño metodológico del presente trabajo de grado se fundamenta en un enfoque mixto, que combina métodos cuantitativos y cualitativos con el fin de abordar integralmente la pregunta de investigación y cumplir con los objetivos planteados. Esta metodología permite obtener una visión completa sobre la viabilidad integral del proyecto de cultivo hidropónico sostenible en la Finca Los Guadales, ubicada en San Vicente Ferrer, abarcando aspectos del entorno, mercado, técnicos, administrativo-legales, ambientales, económico-financieros y de riesgos. Como afirman Hernández Sampieri et al. (2014), un enfoque mixto es eficaz cuando se requiere una comprensión integral de un problema de investigación, pues combina el análisis numérico con la exploración del contexto social. Esta combinación asegura que se tomen decisiones fundamentadas tanto en datos objetivos como en el análisis del entorno regional (Creswell & Creswell, 2017).

El enfoque metodológico adopta un carácter descriptivo y exploratorio. A nivel descriptivo, se analiza cómo implementar el sistema hidropónico en la finca, considerando factores ambientales y tecnológicos disponibles. Por otro lado, el nivel exploratorio busca identificar nuevas oportunidades y desafíos específicos de la región en términos de adopción de tecnologías sostenibles, siguiendo el planteamiento de que la investigación exploratoria es efectiva para estudiar fenómenos nuevos o poco entendidos, ayudando a descubrir patrones y generar nuevas perspectivas (Stebbins, 2001).

El proceso de investigación se desarrollará siguiendo principalmente la metodología de la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial

(ONUDI) para estudios de prefactibilidad, complementada con elementos de la metodología del Project Management Institute (PMI) para el análisis de riesgos. De esta manera se puede aprovechar la estructura sistemática de ONUDI para evaluar la viabilidad de proyectos de inversión, mientras se incorporan las mejores prácticas en gestión de riesgos proporcionadas por el PMI.

6.1. FASES DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación se estructura en siete fases principales alineadas directamente con los objetivos específicos del estudio, seguidas de una fase integradora, descritas a continuación:

6.1.1. Análisis del Sector

Esta fase inicial aborda el primer objetivo: *“Analizar el entorno sectorial agrícola regional para identificar factores externos que influyan en la implementación del sistema hidropónico en la Finca Los Guadales”*. En este sentido se busca analizar el contexto general en el que se desarrollará el proyecto de cultivo hidropónico sostenible en la Finca Los Guadales. Se utilizará el análisis PESTEL para examinar los factores Políticos, Económicos, Sociales, Tecnológicos, Ecológicos y Legales que pueden influir en la viabilidad del proyecto. Con ello se proporcionará una visión macro del entorno en el que se pretende desarrollar la iniciativa, permitiendo identificar oportunidades y desafíos clave.

Además, se realizará una revisión documental sobre los planes de desarrollo tanto nacional, departamental como municipal, y políticas relacionadas con la agricultura sostenible. También, se analizarán factores socioeconómicos de la región con el fin de comprender el contexto en el que se implementará el proyecto.

6.1.2. Análisis de Mercado

Esta segunda fase responde al objetivo específico de: *“Evaluar el mercado potencial para determinar la demanda, perfil de clientes y estrategias de comercialización de productos hidropónicos en la región”*. Se desarrollará a través de las siguientes actividades:

- Estudio de la demanda: Se realizará mediante la aplicación de encuestas a dos segmentos clave: mayoristas de productos agrícolas y establecimientos

gastronómicos en Medellín, con el fin de identificar hábitos de compra, preferencias, niveles de conocimiento sobre productos hidropónicos y disposición para su adquisición.

- Análisis de la oferta: Se analizará la competencia existente en la producción de hortalizas y vegetales hidropónicos, identificando fortalezas y debilidades de los competidores.
- Canales de distribución: Se identificarán los posibles canales de comercialización más adecuados para los productos hidropónicos, considerando supermercados, tiendas especializadas, mercados locales y ventas directas a restaurantes o consumidores finales.

6.1.2.1. Población y Muestra

El estudio de mercado se enfocará en dos segmentos estratégicos:

1. Mayoristas: Locales comercializadores ubicados en la Central Mayorista de Antioquia y en el área metropolitana.
2. Establecimientos gastronómicos: Restaurantes en Medellín como consumidores finales potenciales.

Según datos reportados en el artículo "*Un viaje al interior de los restaurantes de Medellín*" (Tettay De Fex, 2025), existen aproximadamente 9,117 negocios dedicados al sector de comida en esta ciudad, los cuales constituyen la población para el segmento de establecimientos gastronómicos.

Para el segmento de mayoristas, se implementará un muestreo no probabilístico por conveniencia, seleccionando nueve locales comerciales ubicados en la Central Mayorista de Antioquia y establecimientos del área metropolitana de Medellín, considerando criterios de accesibilidad, disponibilidad y relevancia para el estudio. Este enfoque permitirá identificar la dinámica de compra de productos agrícolas y el interés potencial en productos hidropónicos a nivel mayorista.

Para el segmento de establecimientos gastronómicos, se aplicará un muestreo probabilístico aleatorio simple. El tamaño de la muestra se ha calculado utilizando la siguiente fórmula para poblaciones finitas:

$$n = [N \times Z^2 \times p \times q] / [e^2 \times (N-1) + Z^2 \times p \times q]$$

Donde:

n = Tamaño de la muestra

$N = 9,117$ (población total de establecimientos gastronómicos)

$Z = 1.645$ (nivel de confianza del 90%)

$p = 0.5$ (proporción esperada, valor que maximiza el tamaño muestral)

$q = 0.5$ (1-p)

$e = 0.10$ (margen de error del 10%)

Aplicando la fórmula:

$$n = [9,117 \times 1.645^2 \times 0.5 \times 0.5] / [0.10^2 \times (9,117-1) + 1.645^2 \times 0.5 \times 0.5]$$

$$n = [9,117 \times 2.706 \times 0.25] / [0.01 \times 9,116 + 2.706 \times 0.25]$$

$$n = 6,171.34 / (91.16 + 0.6765)$$

$$n = 6,171.34 / 91.8365$$

$$n = 67.2 \approx 67 \text{ establecimientos}$$

Por lo tanto, se determina una muestra de 67 establecimientos gastronómicos para lograr un nivel de confianza del 90 por ciento con un margen de error del 10 por ciento.

6.1.2.2. Instrumentos de Recolección de Información

Para la recolección de datos primarios se han diseñado dos instrumentos específicos, adaptados a las características particulares de cada segmento objetivo:

1. Encuesta para Mayoristas (Anexo 1): Instrumento estructurado con 39 preguntas organizadas en seis secciones (información general, dinámica comercial, percepción de productos hidropónicos, interés, precios y logística). Este instrumento permitirá identificar la dinámica de compra de productos agrícolas e interés potencial en productos hidropónicos.
2. Encuesta para Establecimientos Gastronómicos (Anexo 2): Instrumento compuesto por 28 preguntas divididas en cinco secciones (perfil del establecimiento, compra/uso de productos agrícolas, conocimiento/percepción de productos hidropónicos, interés/preferencias y aspectos económicos/logísticos).

Ambos instrumentos combinan preguntas cerradas de selección múltiple, escalas de valoración y preguntas abiertas, diseñadas para obtener información tanto cuantitativa como cualitativa. Se busca caracterizar las dinámicas de mercado, preferencias, disposición de compra y condiciones comerciales para productos hidropónicos.

6.1.2.3. Fichas Técnicas del Estudio de Mercado

Tabla 1.

Ficha técnica encuesta mercados mayoristas

Ficha Técnica - Estudio Mayoristas	
Tipo de estudio	Exploratorio con enfoque mixto (cualitativo-cuantitativo)
Técnica de recolección	Encuesta estructurada presencial
Instrumento	Cuestionario de 39 preguntas en 6 secciones
Población objetivo	Locales comercializadores mayoristas de productos agrícolas
Área geográfica	Central Mayorista de Antioquia y área metropolitana de Medellín
Tipo de muestreo	No probabilístico por conveniencia
Tamaño de muestra	9 establecimientos mayoristas
Período de recolección	Abril-Mayo 2025
Método de aplicación	Presencial
Margen de error	No aplica (muestreo no probabilístico)
Objetivo	Identificar dinámica de compra de productos agrícolas e interés potencial en productos hidropónicos

Fuente: Creación propia a partir del estudio realizado.

Tabla 2.

Ficha técnica encuesta establecimientos gastronómicos

Ficha Técnica - Estudio Establecimientos Gastronómicos	
Tipo de estudio	Descriptivo con enfoque mixto (cualitativo-cuantitativo)
Técnica de recolección	Encuesta estructurada
Instrumento	Cuestionario de 28 preguntas en 5 secciones
Población objetivo	Establecimientos gastronómicos de Medellín (N=9,117)

Área geográfica	Ciudad de Medellín
Tipo de muestreo	Probabilístico aleatorio simple
Tamaño de muestra	72 establecimientos gastronómicos
Período de recolección	Abril-Mayo 2025
Método de aplicación	Mixto (presencial y virtual)
Nivel de confianza	90%
Margen de error	10%
Objetivo	Determinar preferencias, hábitos de compra y disposición para adquirir productos hidropónicos

Fuente: Creación propia a partir del estudio realizado.

Las encuestas se aplicarán de forma presencial en la Central Mayorista y distintos establecimientos comerciales, explicando previamente los objetivos del estudio, y de forma mixta (presencial y vía web) para los diferentes restaurantes de la muestra. La información recolectada será analizada mediante técnicas estadísticas descriptivas para los datos cuantitativos y análisis de contenido para la información cualitativa, buscando identificar patrones, preferencias y tendencias que permitan evaluar la viabilidad comercial del proyecto.

6.1.3. Análisis Técnico y Tecnológico

La tercera fase aborda directamente el tercer objetivo específico: "*Determinar los requerimientos técnicos y tecnológicos adecuados para la implementación del sistema hidropónico en la finca Los Guadales*". Empleando métodos de investigación cuantitativa y cualitativa, se busca analizar las condiciones ambientales y la localización de la finca, la infraestructura y los recursos actualmente disponibles en el terreno, y los recursos tecnológicos y equipos requeridos para la implementación del sistema de cultivo que mejor se adapte a las condiciones de la región.

La recolección de datos se realizará mediante diversas técnicas tales como revisión documental de estudios técnicos sobre sistemas hidropónicos y condiciones agroclimáticas de la región y visitas de campo para la observación directa que permita el análisis de las condiciones de la finca Los Guadales. Esta aproximación permitirá hacer una evaluación comprensiva de la viabilidad técnica del proyecto, considerando tanto los aspectos teóricos como las realidades prácticas del contexto local.

6.1.4. Análisis Administrativo y Legal

Esta fase responde al cuarto objetivo específico: "*Definir la estructura administrativa y el marco legal necesario para la implementación del proyecto hidropónico sostenible*". Se identificarán los requerimientos organizacionales y normativos necesarios para la implementación del proyecto. Este componente es esencial para determinar la estructura administrativa óptima y garantizar el cumplimiento del marco legal aplicable a cultivos hidropónicos.

Las actividades incluirán la identificación del marco normativo aplicable, determinación de requisitos para permisos y licencias, diseño de estructura organizacional y definición de procesos administrativos y operativos.

6.1.5. Evaluación de Impacto Ambiental

La quinta fase se alinea con el objetivo específico: "*Evaluar el impacto ambiental potencial del sistema hidropónico y diseñar estrategias de mitigación apropiadas*". Se enfocará en determinar los efectos potenciales del sistema hidropónico en el entorno y proponer medidas de mitigación.

Las actividades incluirán la identificación de impactos ambientales potenciales, análisis comparativo con sistemas agrícolas tradicionales y propuesta de medidas de mitigación y control. Los resultados de esta fase serán fundamentales para garantizar la sostenibilidad ambiental del proyecto y su compatibilidad con el entorno local.

6.1.6. Análisis Económico-Financiero

Esta fase corresponde al sexto objetivo específico: "*Valorar la viabilidad económica-financiera integral que permita determinar la viabilidad del proyecto*". Al emplear métodos de investigación cuantitativa, se recopilarán datos a través del análisis de costos de implementación de proyectos hidropónicos similares, cotizaciones a proveedores de equipos e insumos hidropónicos y la recopilación de datos financieros de fuentes secundarias.

El análisis de datos en esta fase será riguroso, incluyendo proyecciones financieras, análisis de sensibilidad y cálculo de indicadores financieros clave como el Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el Análisis IRVA. Es importante anotar que los resultados de esta fase serán determinantes para evaluar la viabilidad económica y financiera del proyecto.

6.1.7. Análisis de Riesgos

La séptima fase aborda directamente el objetivo específico: *"Identificar y analizar los riesgos asociados al proyecto"*. Para ello se utilizará la metodología del PMI (Project Management Institute), que proporciona un enfoque estructurado y sistemático para la gestión de riesgos. Siguiendo los lineamientos del PMBOK (Project Management Body of Knowledge), se realizará la identificación de riesgos en todas las dimensiones del proyecto, evaluación de probabilidad e impacto, categorización de riesgos y desarrollo de estrategias de mitigación.

Adicionalmente, se realizará el análisis cuantitativo de riesgos mediante una simulación en el software especializado @Risk. Los resultados de esta fase permitirán una gestión proactiva de los riesgos, minimizando su potencial impacto negativo en el proyecto.

6.1.8. Conclusiones

Finalmente, se incorpora una fase integradora que, si bien no corresponde a un objetivo específico adicional, resulta fundamental para la cohesión del estudio. Este capítulo integrará los resultados de todas las fases previas para determinar la prefactibilidad integral del proyecto, formulando conclusiones fundamentadas para la toma de decisiones.

6.2. RUTA METODOLÓGICA

La siguiente tabla presenta de forma estructurada y sintética la ruta metodológica que guiará el desarrollo del estudio de prefactibilidad. Esta matriz operativa establece la correspondencia entre cada objetivo específico y su respectiva fase metodológica, detallando las actividades concretas a realizar, las herramientas e instrumentos a utilizar, las fuentes de información a consultar y los resultados esperados. La organización secuencial de las fases refleja la aplicación combinada de las metodologías ONUDI y PMI (para el análisis de riesgos), facilitando tanto la ejecución sistemática del estudio como el seguimiento del cumplimiento de los objetivos planteados. Este esquema permite visualizar de manera integral el proceso investigativo y asegurar la coherencia entre los diferentes componentes del estudio, optimizando recursos y garantizando el rigor metodológico requerido para el estudio.

Tabla 3.

Fases de la ruta metodológica

Fase	Objetivo Específico	Actividades	Herramientas/ Instrumentos	Fuentes de Información	Resultados Esperados
1. Análisis del Entorno Sectorial	Analizar el entorno sectorial agrícola regional para identificar factores externos que influyan en la implementación del sistema hidropónico en la finca Los Guadales	<ul style="list-style-type: none"> • Análisis PESTEL del sector • Revisión de políticas y programas agrícolas • Análisis de tendencias sectoriales 	<ul style="list-style-type: none"> • Matriz PESTEL • Análisis documental • Matrices de análisis 	<ul style="list-style-type: none"> • Planes de desarrollo • Informes sectoriales • Estadísticas agrícolas • Estudios de tendencias • Publicaciones especializadas 	<ul style="list-style-type: none"> • Caracterización del contexto sectorial • Identificación de factores críticos externos • Identificación de oportunidades y amenazas
2. Análisis de Mercado	Evaluar el mercado potencial para determinar la demanda, perfil de clientes y estrategias de comercialización de productos hidropónicos en la región	<ul style="list-style-type: none"> • Aplicación de encuestas a consumidores y distribuidores • Análisis de competencia • Identificación de canales de distribución 	<ul style="list-style-type: none"> • Cuestionario estructurado • Matrices de análisis competitivo • Proyecciones de demanda 	<ul style="list-style-type: none"> • Consumidores y Distribuidores potenciales • Estadísticas (DANE) • Referencias de precios • Estudios sectoriales 	<ul style="list-style-type: none"> • Perfil de clientes potenciales • Estimación de demanda • Análisis de competencia • Estrategia de comercialización • Análisis de precios • Matriz DOFA
3. Análisis Técnico y Tecnológico	Determinar los requerimientos técnicos y tecnológicos adecuados para la implementación del sistema hidropónico en la Finca Los Guadales	<ul style="list-style-type: none"> • Evaluación de sistemas hidropónicos • Estudio de condiciones de la Finca • Análisis de requerimientos técnicos • Selección de tecnología óptima • Dimensionamiento de infraestructura 	<ul style="list-style-type: none"> • Revisión bibliográfica • Matrices comparativas de tecnologías • Análisis documental • Observación directa 	<ul style="list-style-type: none"> • Literatura especializada • Fichas técnicas • Datos de la finca • Cotizaciones • Referencias de precios • Consulta a expertos 	<ul style="list-style-type: none"> • Diseño técnico del sistema • Especificaciones de equipamiento • Flujograma del proceso • Dimensionamiento de instalaciones • Estructura de inversión
4. Análisis Administrativo y Legal	Definir la estructura administrativa y el marco legal necesario para la implementación del proyecto hidropónico sostenible	<ul style="list-style-type: none"> • Identificación del marco normativo • Definición de estructura organizacional • Direccionamiento estratégico • Determinación de requisitos legales • Definición de cargos 	<ul style="list-style-type: none"> • Revisión normativa • Análisis documental 	<ul style="list-style-type: none"> • Legislación aplicable • Publicaciones oficiales • Portales gubernamentales 	<ul style="list-style-type: none"> • Estructura organizacional • Descripción de cargos • Requerimientos legales • Trámites y permisos necesarios • Direccionamiento estratégico • Indicadores de gestión administrativa

5. Evaluación de Impacto Ambiental	Evaluar el impacto ambiental potencial del sistema hidropónico y diseñar estrategias de mitigación apropiadas	<ul style="list-style-type: none"> • Identificación de impactos ambientales • Análisis comparativo con sistemas tradicionales • Evaluación de consumo de recursos • Diseño de estrategias de sostenibilidad • Plan de gestión ambiental 	<ul style="list-style-type: none"> • Matrices de impacto ambiental • Revisión bibliográfica • Análisis comparativo • Indicadores de sostenibilidad 	<ul style="list-style-type: none"> • Normativa ambiental • Estudios de impacto • Publicaciones científicas • Informes técnicos 	<ul style="list-style-type: none"> • Matriz de impacto ambiental • Ventajas ambientales comparativas • Plan de manejo ambiental • Estrategias de sostenibilidad • Indicadores de desempeño
6. Análisis Económico-Financiero	Valorar la viabilidad económica-financiera del proyecto mediante el análisis de indicadores de rentabilidad, proyecciones de flujo de caja y evaluación de escenarios de sensibilidad	<ul style="list-style-type: none"> • Proyección de ingresos y costos • Construcción de flujo de caja del inversionista y del proyecto • Cálculo de indicadores financieros • Análisis de sensibilidad 	<ul style="list-style-type: none"> • Modelos financieros • Hojas de cálculo • Indicadores (VPN, TIR, B/C) • Análisis de escenarios 	<ul style="list-style-type: none"> • Datos del análisis de mercado y técnico • Tasas financieras • Literatura financiera 	<ul style="list-style-type: none"> • Proyecciones financieras • Indicadores de rentabilidad • Análisis de sensibilidad
7. Análisis de Riesgos	Identificar y categorizar los riesgos asociados al proyecto para formular estrategias efectivas de mitigación y contingencia	<ul style="list-style-type: none"> • Identificación de riesgos • Evaluación probabilidad-impacto • Categorización de riesgos • Priorización • Desarrollo de estrategias de mitigación 	<ul style="list-style-type: none"> • Matrices de riesgo • Revisión bibliográfica • Simulaciones en software <i>Risk</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • Literatura de gestión de riesgos • Datos de proyectos similares 	<ul style="list-style-type: none"> • Matriz de riesgos • Estrategias de mitigación • Impacto de los riesgos sobre el VPN usando <i>Risk</i>

Fuente: Creación propia a partir del estudio realizado.

7. DESARROLLO DE LOS ESTUDIOS

Para determinar la viabilidad integral del proyecto de cultivo hidropónico en la Finca Los Guadales, se desarrollarán una serie de estudios técnico, de mercado, económico, ambiental, administrativo, legal y de riesgo que, en conjunto, permitirán evaluar su prefactibilidad. Estos estudios se estructuran de manera secuencial y articulada, de acuerdo con las metodologías recomendadas por la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI) y complementadas con enfoques

de gestión de proyectos del Project Management Institute (PMI). Cada uno de los análisis contempla factores clave que impactan el desarrollo de este tipo de iniciativas sostenibles en contextos rurales como el de San Vicente Ferrer, permitiendo fundamentar con rigor técnico y práctico la toma de decisiones sobre la implementación del sistema productivo.

7.1. ESTUDIO SECTORIAL

Comprender el contexto sectorial en el que se desarrollará un proyecto agrícola resulta fundamental para evaluar su viabilidad y sostenibilidad. En un país como Colombia, donde el sector agropecuario cumple un papel central en el desarrollo económico y social, y donde los desafíos estructurales conviven con un creciente impulso hacia la sostenibilidad, es necesario realizar un análisis integral del entorno. Esta tarea adquiere especial relevancia cuando se trata de introducir tecnologías no convencionales como la hidroponía, exigen realizar una revisión detallada de cada uno de los factores que pueden influir en el proyecto de tipo político, económico, social, tecnológico, ecológico y legal.

El municipio de San Vicente Ferrer, ubicado en el Oriente Antioqueño, representa un escenario estratégico para la implementación de sistemas hidropónicos, dada su vocación agrícola, su cercanía a centros de consumo como Medellín y su participación en dinámicas regionales de innovación rural. A través de una revisión documental y un enfoque estructurado, este análisis permite identificar factores clave del entorno que pueden incidir positiva o negativamente en el desarrollo del proyecto en la Finca Los Guadales. La estructura del estudio se basa en la metodología PESTEL, que facilita una lectura amplia y detallada del contexto externo en el que se insertará la propuesta productiva, sirviendo de insumo esencial para la toma de decisiones estratégicas informadas.

7.1.1. Entorno político

El entorno político colombiano atraviesa una fase de transición hacia modelos de desarrollo rural más sostenibles, inclusivos y tecnificados. El propósito es convertir nuevamente al sector agropecuario en un pilar clave de la economía nacional, en línea con los lineamientos del Plan Nacional de Desarrollo 2022-2026 “Colombia Potencia de la Vida” (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia, 2023). Este Plan articula políticas específicas orientadas al fortalecimiento de la agricultura campesina, familiar y comunitaria y prioriza la implementación de sistemas agroecológicos, la defensa del territorio, la recuperación del campo y la mejora de la calidad de vida de las

comunidades rurales. Tales prioridades han sido traducidas en programas como el Sistema Nacional de Innovación Agropecuaria (SNIA), que promueve el uso de nuevas tecnologías agrícolas, y las Alianzas Productivas, que financian proyectos liderados por pequeños productores en condiciones de vulnerabilidad, estableciendo un marco institucional propicio para innovaciones tecnológicas como la hidroponía

A nivel departamental, el Plan de Desarrollo “Por Antioquia Firme 2024-2027” apuesta por fortalecer las capacidades productivas del sector agropecuario mediante la especialización productiva por subregiones y la implementación de Buenas Prácticas Agropecuarias (BPA) y de manufactura (BPM) para una producción competitiva y sostenible (Gobernación de Antioquia, 2024). Además, el Plan Departamental de Extensión Agropecuaria (PDEA) 2024-2027, aprobado por la Asamblea de Antioquia en julio de 2024, promueve el acompañamiento integral a pequeños productores (incluyendo formación, comercialización, asociatividad y enfoque agroecológico), beneficiando a más de 10.000 productores con inversiones por más de 10.600 millones de pesos durante el cuatrienio (Gobernación de Antioquia, 2024). Por su parte, el Plan Departamental de Agroecología 2023–2030 complementa estas estrategias al enfatizar la sostenibilidad ambiental, la adaptación al cambio climático y la innovación tecnológica en los sistemas productivos agropecuarios (Gobernación de Antioquia, 2023). Dichas iniciativas subrayan la importancia de integrar ciencia y tecnología para mejorar la eficiencia, resiliencia y competitividad del sector frente a los desafíos económicos y ambientales actuales.

Un elemento diferenciador de la estrategia agrícola antioqueña es la convergencia de esfuerzos entre los sectores público y privado para impulsar la productividad agropecuaria con un enfoque agroecológico. Este modelo de desarrollo rural integra diversos marcos normativos e instrumentos de política pública orientados a procesos productivos sostenibles, que buscan:

- Proveer alimentos sostenibles y saludables.
- Reducir la contaminación de suelos y el desperdicio.
- Implementar estrategias de mitigación y adaptación al cambio climático.
- Rescatar y valorizar el conocimiento ancestral (Gobernación de Antioquia, 2023).

Estos esfuerzos trascienden la simple búsqueda de productividad para integrar criterios de sostenibilidad y resiliencia en el modelo agrícola regional.

En el ámbito municipal, el Plan de Desarrollo de San Vicente Ferrer 2024-2027 “Un campo de oportunidades” reconoce la importancia del sector agrícola para la economía local, destacando que el municipio es considerado parte de la despensa agrícola de la región del altiplano del Oriente Antioqueño. El plan identifica como retos las difíciles condiciones topográficas del territorio para la producción agrícola, con

grandes pendientes, así como el deterioro de los suelos debido al uso irracional de agroquímicos y malas prácticas agrícolas (Alcaldía de San Vicente Ferrer, 2024). A pesar de estas limitaciones, San Vicente Ferrer se destaca como un importante productor de diversos cultivos a nivel departamental, incluyendo papa, frijol, maíz chόcolo, tomate de árbol y aguacate. El plan municipal subraya la necesidad de diversificar y tecnificar la producci3n agrícola para superar estas limitaciones. En este contexto, la exploraci3n de alternativas productivas innovadoras y sostenibles, como los cultivos hidrop3nicos, se presenta como una opci3n prometedora.

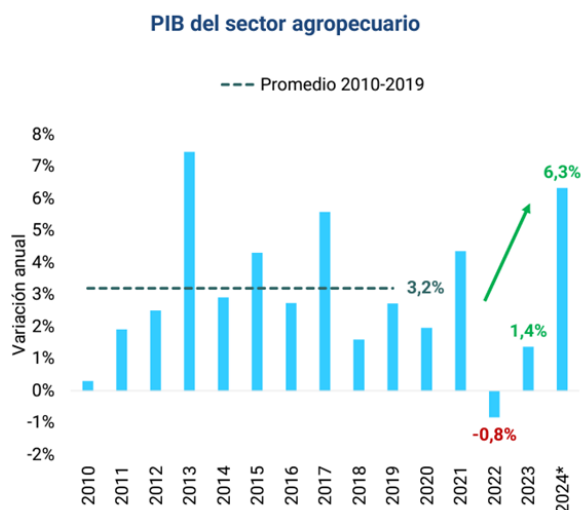
No obstante, el desarrollo de estos programas depende en gran medida de la estabilidad institucional y política, así como de la continuidad de los recursos públicos destinados al sector agropecuario. La variabilidad en la priorizaci3n de proyectos agroambientales entre diferentes administraciones puede representar una amenaza si no se logran mecanismos de articulaci3n sostenida entre los niveles nacional, departamental y municipal. Las diferencias ideol3gicas entre el gobierno nacional y el gobierno departamental y los diferentes alcaldes municipales de derecha pueden ocasionar diversas dificultades por falta de apoyo de la naci3n a distintos proyectos que se quieran realizar en el territorio antioqueño.

7.1.2. Entorno econ3mico

El sector agrícola representa un pilar estratégico en la estructura econ3mica colombiana, con una contribuci3n significativa al Producto Interno Bruto (PIB) y a la generaci3n de empleo. Tras un período de contracci3n del -0,8 por ciento en 2022, el sector agropecuario experiment3 un punto de inflexi3n en 2023, registrando un crecimiento del 1,4 por ciento, con proyecciones de expansi3n acelerada hacia un 2,9 por ciento para 2024. Particularmente fue notable el desempeño del primer trimestre de 2024, cuando el sector alcanz3 un crecimiento extraordinario del 6,3 por ciento, posicionándose como la rama econ3mica de mayor dinamismo entre los doce grandes sectores productivos del país (Corficolombiana & Casa de Bolsa, 2024).

Ilustración 1.

PIB del sector agropecuario



Fuente: (Corficolombiana & Casa de Bolsa, 2024, pág. 6).

Igualmente, Antioquia emerge como un epicentro de competitividad y desarrollo económico, ocupando la segunda posición en el Índice Departamental de Competitividad 2023 con una calificación de 6,72 sobre 10 (Consejo privado de competitividad y Universidad del Rosario, 2023). Esta destacada posición se refleja en su contribución al PIB nacional, consolidándose como el segundo departamento con mayor aporte económico al país, con 212.515 miles de millones de pesos a precios corrientes para 2022 (Infobae, 2023).

La vocación agrícola del departamento se evidencia en su liderazgo en la contribución al PIB agropecuario nacional, aportando el 12,9 por ciento del total, según datos del DANE en el 2022. Adicionalmente, Antioquia se ha posicionado como el principal exportador de productos agropecuarios y minero-energéticos del país, de acuerdo con información del Ministerio de Comercio, Industria y Turismo, lo que refleja la inserción efectiva de su producción en mercados internacionales.

El Oriente Antioqueño representa un caso paradigmático de desarrollo subregional, consolidándose como el segundo centro económico del departamento después del Valle de Aburrá. La subregión contribuye con el 9,72 por ciento del PIB departamental, con una participación destacada del sector agrícola, que representa el 14 por ciento de su actividad económica (Antioquia Cómo Vamos & Comfenalco Antioquia, 2023). Al interior de este ecosistema económico regional, el municipio de San Vicente

Ferrer emerge como un actor estratégico en la producción agrícola. Reconocido como una de las principales despensas agrícolas de Antioquia, el municipio presenta una oferta diversificada de productos con potencial tanto para mercados locales como internacionales, incluyendo:

- Cultivos tradicionales: papa, tomate, frijol voluble, chόcolo.
- Frutales de alto valor: fresa, aguacate hass, tomate de 6rbol, gulupa.
- Productos ornamentales: hortensias.

La preponderancia del sector primario en la economía local queda evidenciada en la estructura del PIB municipal, donde la agricultura, ganadería, caza, silvicultura y pesca representan el 71,74 por ciento del valor agregado. Este indicador subraya la dependencia económica del territorio respecto a las actividades agropecuarias y la necesidad de fortalecer el tejido empresarial y los emprendimientos agrícolas innovadores para garantizar un desarrollo económico sostenible (Alcaldía de San Vicente Ferrer, 2024).

El mercado global de hidroponía evidencia una tendencia de crecimiento sostenido, valorado en 2,92 mil millones de dólares en 2023, con proyecciones de alcanzar 4,82 mil millones para 2030, lo que representa una tasa compuesta anual de crecimiento del 7,4 por ciento. Europa lidera este mercado con una participación del 34 por ciento, mientras que América del Sur, a pesar de una menor cuota de mercado, ha experimentado una expansión acelerada en los últimos años (Exactitude Consultancy, 2023).

Sin embargo, los sistemas hidropónicos implican una barrera de entrada económica importante. La inversión inicial para establecer un cultivo de este tipo incluye la construcción de infraestructura especializada (invernaderos, bancales, tanques, sistemas de fertirriego), la compra de insumos técnicos (semillas certificadas, soluciones nutritivas, sustratos), así como equipos de monitoreo y automatización. Dichos costos son sensiblemente mayores que los de la agricultura convencional, especialmente en sus etapas iniciales, lo cual representa un riesgo financiero considerable si no se asegura una demanda estable y precios diferenciales.

A esto se suma la limitada inclusión financiera del sector rural. Aunque existen instrumentos como FINAGRO, el Fondo Agropecuario de Garantías (FAG) o las líneas verdes del Banco Agrario, muchas veces los pequeños productores encuentran dificultades para acceder a estos recursos debido a la falta de garantías, historial crediticio o conocimientos financieros.

Por otra parte, el mercado de productos sostenibles y diferenciados está en expansión. El consumidor urbano colombiano, especialmente en ciudades como Medellín, muestra una tendencia creciente hacia el consumo de alimentos saludables,

libres de agroquímicos, de origen controlado y producidos con bajo impacto ambiental. Este cambio cultural representa una ventana de oportunidad para la comercialización de productos hidropónicos, siempre que estos cumplan con estándares de calidad, trazabilidad y certificación exigidos por el mercado.

7.1.3. Entorno social

Desde el punto de vista social, la estructura poblacional y laboral del municipio de San Vicente Ferrer ofrece tanto desafíos como oportunidades. La estructura demográfica del municipio revela una marcada vocación rural, con el 73,1 por ciento de su población (aproximadamente 16.424 habitantes) residiendo en zonas rurales. Esta configuración se refleja en indicadores laborales característicos, con una baja tasa de desempleo formal (1,6% a 2021) contrastada con una elevada tasa de informalidad (68,4%), predominantemente concentrada en el sector agrícola (63,1%), lo que evidencia que la dependencia del agro es notoria (Antioquia Cómo Vamos & Comfenalco Antioquia, 2023). Este panorama refleja una economía agrícola tradicional basada en el trabajo familiar, bajos niveles de tecnificación y escasa inserción en cadenas de valor formales.

Según el Informe de dinámica laboral de las nueve subregiones del departamento de Antioquia; (Antioquia Cómo Vamos & Comfenalco Antioquia, 2023), al 2021 el 95,2 por ciento de las empresas en el oriente antioqueño eran micro, el 3,6 por ciento eran pequeñas, el 0,9 por ciento medianas y el 0,2 por ciento eran grandes. Esto muestra una característica propia del tejido empresarial en el departamento, no obstante, la región es la que presenta después del Valle de Aburrá, el mayor número de empresas y densidad empresarial.

En la región como tal, se siguen teniendo una brecha de género alta por subsanar, donde las mujeres registran una tasa global de participación del 41,1 por ciento respecto al 67,3 por ciento de los hombres, una tasa de ocupación del 35,8 por ciento contrastado con un 63,0 por ciento y una tasa de desempleo 7,4 por ciento contra un 3,2 por ciento de los hombres (Antioquia Cómo Vamos & Comfenalco Antioquia, 2023).

La hidroponía, como sistema innovador de producción, tiene el potencial de impactar positivamente este entorno social. Puede contribuir a mejorar la calidad del empleo rural, al generar actividades técnicas especializadas, nuevas formas de asociatividad y oportunidades para la inclusión de jóvenes rurales y mujeres en roles productivos. Además, ofrece una posibilidad real de diversificar la economía local mediante cultivos de alto valor agregado.

No obstante, para que este impacto se materialice, es indispensable un proceso de fortalecimiento de capacidades humanas. La baja escolaridad (solo el 56,1% de la

población termino la básica secundaria), la falta de formación técnica y la resistencia cultural al cambio son factores que pueden limitar la adopción de nuevos sistemas (Antioquia Cómo Vamos & Comfenalco Antioquia, 2023). Por ello, el éxito del proyecto requiere acciones pedagógicas previas, programas de capacitación continuada y un acompañamiento cercano del sector privado y un apoyo por parte de entidades del Estado y del sector académico.

7.1.4. Entorno tecnológico

El entorno tecnológico del sector agropecuario colombiano ha mejorado en la última década, especialmente con el impulso de políticas públicas dirigidas a la innovación rural. La hidroponía, aunque no es una tecnología reciente, ha ganado terreno como una alternativa viable para regiones con limitaciones de suelo, acceso al agua o necesidad de producción controlada.

Instituciones como Agrosavia, el SENA y varias universidades como Los Andes, Bolivariana, entre otras, han avanzado en la transferencia tecnológica para sistemas hidropónicos. Estas instituciones ofrecen programas de formación, unidades experimentales y asistencia técnica en diseño, implementación y operación de cultivos hidropónicos, lo cual representa un activo valioso para proyectos como el propuesto en la Finca Los Guadales.

En el contexto regional de Antioquia, particularmente en el Oriente Antioqueño, se encuentra disponibilidad de tecnología básica e intermedia necesaria para el montaje de sistemas hidropónicos a pequeña y mediana escala. Empresas proveedoras ubicadas en Medellín y municipios cercanos ofrecen soluciones integrales que incluyen estructuras metálicas, mallas de sombreado, sistemas de fertirriego, tanques de almacenamiento, bombas, medidores de pH y conductividad eléctrica (EC), así como sustratos inertes como perlita, fibra de coco o cascarilla de arroz carbonizada. Además, se encuentran disponibles kits de automatización básica para el control de nutrientes y monitoreo ambiental, los cuales permiten iniciar operaciones con un nivel técnico ajustado a las condiciones del proyecto.

La infraestructura tecnológica para este tipo de sistema puede ser adquirida de manera modular, permitiendo escalar el proyecto de forma progresiva. Asimismo, se cuenta con soporte técnico de empresas proveedoras (como gestión agroambiental, hidroponía industrial, entre otros) que ofrecen acompañamiento en la instalación, capacitación del personal y asistencia posventa. Vale la pena destacar que esto representa una ventaja significativa para productores sin experiencia previa en hidroponía.

No obstante, el rezago tecnológico en muchas zonas rurales del país persiste. En San Vicente Ferrer, la conectividad digital es limitada, la apropiación de nuevas tecnologías es baja, y existe una brecha entre el conocimiento tradicional y la innovación. La hidroponía exige un conocimiento técnico específico en nutrición vegetal, manejo de soluciones, control de variables ambientales y mantenimiento de sistemas automatizados. Por ello, el componente tecnológico debe estar acompañado de formación práctica, mentoría y asesoría permanente, asegurando que tanto la instalación como la operación del sistema se realicen con criterios de eficiencia, sostenibilidad y calidad agrícola.

7.1.5. Entorno ecológico/ambiental

El contexto ecológico de San Vicente Ferrer y, en general, del Oriente Antioqueño presenta desafíos importantes derivados de la presión creciente sobre los recursos naturales. Durante las últimas décadas, la expansión de la frontera agrícola, el uso intensivo de agroquímicos, la deforestación, y las prácticas agrícolas convencionales han generado una serie de impactos ambientales significativos. Entre estos se encuentran la degradación progresiva de los suelos, la pérdida de fertilidad natural, la contaminación de cuerpos de agua por lixiviación de agroquímicos, y la disminución de la biodiversidad local. A lo anterior se suman las consecuencias del cambio climático, que ha intensificado los eventos extremos como sequías estacionarias, lluvias intensas y variabilidad climática, afectando directamente la productividad y sostenibilidad de los cultivos. La escasez estacional del recurso hídrico es uno de los principales factores de vulnerabilidad y la erosión del suelo y el deterioro de la calidad del agua comprometen la viabilidad a largo plazo de los sistemas agrícolas convencionales en el territorio. A pesar de esto y las difíciles condiciones por la topografía del territorio con grandes pendientes y lo anteriormente mencionado, San Vicente cuenta con un piso térmico óptimo para el desarrollo de una gran variedad de productos agrícolas y pecuarios.

En este contexto, la hidroponía surge como una alternativa ecológica estratégica para enfrentar los retos ambientales del territorio. Al eliminar el uso de suelo como medio de cultivo, la hidroponía evita la erosión y compactación, y permite un uso más eficiente del espacio productivo. Su capacidad de reducir el consumo de agua hasta en un 98 por ciento en comparación con los métodos tradicionales la convierte en una tecnología que preserva el recurso natural más importante que es el hídrico (El Espectador, 2024). Además, la posibilidad de controlar con precisión la nutrición vegetal reduce significativamente el uso de agroquímicos y minimiza la contaminación del agua, mejorando la calidad ambiental del entorno.

La implementación de cultivos hidropónicos también ofrece la posibilidad de integrar prácticas de economía circular, como el aprovechamiento de aguas lluvia, la recirculación de soluciones nutritivas, y el uso de energías renovables (solar, eólica) para el funcionamiento de sistemas de riego automatizados. Este tipo de soluciones refuerza la resiliencia del sistema productivo frente al cambio climático y fortalece su alineación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), particularmente aquellos relacionados con producción y consumo responsable, acción por el clima y conservación de los ecosistemas terrestres.

En términos de planificación territorial, la hidroponía representa una oportunidad para reducir la presión sobre ecosistemas estratégicos, como zonas de reserva forestal, nacimientos de agua y áreas con vocación de conservación, al ofrecer alternativas productivas en espacios más reducidos o ya intervenidos. Por tanto, este modelo de producción no solo responde a las exigencias ambientales del presente, sino que también ofrece una hoja de ruta para la reconversión sostenible del agro en territorios rurales como San Vicente Ferrer.

7.1.6. Entorno legal

En el marco legal colombiano, el Plan Nacional de Desarrollo 2022-2026 "Colombia Potencia Mundial de la Vida" establece directrices claras para la transición hacia modelos de producción agrícola sostenible, promoviendo sistemas agroecológicos, fortaleciendo la agricultura campesina y fomentando la adopción de prácticas de producción limpia (Departamento Nacional de Planeación, 2023). En este contexto, tecnologías como la hidroponía adquieren relevancia estratégica por su capacidad para optimizar el uso del agua y minimizar impactos ambientales negativos.

La trayectoria de apoyo institucional a la hidroponía no es reciente. El Plan de Desarrollo 2003-2006, establecido mediante la Ley 812 de 2003, ya contemplaba el impulso a los cultivos hidropónicos como estrategia para la generación de empleo, el desarrollo sostenible rural y la seguridad alimentaria, con especial énfasis en poblaciones vulnerables como adultos mayores sin protección estatal (República de Colombia Gobierno Nacional, 2003).

Uno de los pilares de este entorno normativo es la Ley 1876 de 2017, que establece el Sistema Nacional de Innovación Agropecuaria (SNIA), el cual articula las acciones de investigación, transferencia tecnológica y asistencia técnica para el desarrollo del sector agropecuario colombiano (República de Colombia, 2017). Esta norma reconoce la importancia de los proyectos productivos sostenibles y permite que

los sistemas hidropónicos puedan acceder a incentivos públicos siempre que se encuentren formalizados y articulados con actores del ecosistema agropecuario.

Igualmente, la Resolución 464 de 2017 establece un entorno normativo favorable para el desarrollo de agriculturas alternativas al estipular en su artículo 65 que "El Estado promoverá la investigación y la transferencia de tecnología para la producción de alimentos y materias primas de origen agropecuario, con el propósito de incrementar la productividad" (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2017). Esta disposición legal crea un nicho propicio para el desarrollo de proyectos hidropónicos que concilien productividad con sostenibilidad.

El marco de incentivos institucionales incluye:

- Programa de Alianzas Productivas del Ministerio de Agricultura.
- Fondo Agropecuario de Garantías (FAG).
- Líneas de crédito especializado para proyectos sostenibles a través de FINAGRO.

Estas regulaciones se complementan con las exigencias del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) en la resolución 371 de 2021, en materia de registro de predios, uso de insumos, control de enfermedades y certificación de Buenas Prácticas Agrícolas (BPA), indispensables para la comercialización de productos agrícolas en canales formales. Por otro lado, el Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos (INVIMA) establece normativas sanitarias para productos destinados al consumo humano, incluyendo el etiquetado, condiciones de almacenamiento y transporte, así como los registros sanitarios cuando se trate de productos transformados. El cumplimiento de estos estándares es clave para garantizar la seguridad del consumidor y ampliar el alcance comercial de la producción hidropónica.

Sin embargo, este entorno legal, aunque favorable en su diseño, representa importantes desafíos para pequeños productores o iniciativas en fase de arranque. El cumplimiento de requisitos técnicos, registros, trámites y auditorías puede ser complejo si no se cuenta con asesoría legal y técnica. Tal situación puede limitar la posibilidad de acceder a beneficios o incluso impedir la comercialización formal de los productos.

7.1.7. Matriz PESTEL

La siguiente matriz PESTEL realizado revela un panorama multidimensional para el desarrollo de la hidroponía en el Oriente Antioqueño.

Tabla 4.

Matriz PESTEL del proyecto

P Político	E Económicos	S Social	T Tecnológicos	E Ecológicos	L Legales
Plan nacional de desarrollo con priorización del sector agropecuario ✓	Tendencia positiva de crecimiento del sector agropecuario ✓	Alta proporción de población en zonas rurales del municipio y fuerte dependencia del sector agrícola ✓	Limitada conectividad y acceso a la tecnología en la Finca Los Guadales ✗	Abundancia relativa de recursos hídricos en la región ✓	Promoción de investigación y transferencia tecnológica en la resolución 464 de 2017 ✓
Política agraria con enfoque en agroecología y sostenibilidad en Antioquia ✓	Alta presencia de empleo informal en el sector agrícola del municipio ⚠	Brechas en el nivel educativo de la población rural con educación técnica o superior ⚠	Apoyo técnico en innovación con investigaciones de instituciones como Agrosavia y diversas universidades ✓	Degradación de los suelos, por erosión y contaminación en cultivos tradicionales ✓	Regulación de uso de agroquímicos en la resolución 371 de 2021 (ICA) ⚠
Política de programa municipal de "Un campo lleno de oportunidades para el desarrollo rural". ✓	Alto costo inicial de inversión en sistemas hidropónicos ✗	Crecente preferencia por productos orgánicos y sostenibles ✓	Desarrollo de soluciones adaptadas a pequeña escala y evolución de los sistemas hidropónicos ✓	Impacto ambiental por la contaminación con agroquímicos en la agricultura convencional ✓	Concesiones y permisos para el aprovechamiento hídrico ⚠
Riesgos por cambios de administración o enfoque gubernamental	Alta fluctuación de los precios de los productos agrícolas ⚠	Perdida de población joven en zonas rurales y reducción de mano calificada en el campo ✗	Limitado acceso local a componentes especializados e insumos tecnológicos ✗	Gestión de residuos por manejo de sustratos y soluciones nutritivas ⚠	Regulación laboral con normativas de contratación y seguridad social ⚠
Apoyo de programas como SNIA y Alianzas Productivas ✓	Limitaciones para pequeños productores en acceso a financiamiento ✗	Existencia de diversas cooperativas y asociaciones de productores en la región ✓	Falta de apropiación tecnológica y conocimientos en pequeños productores tradicionales	Permisos para la gestión de residuos y gestión del recurso hídrico ⚠	Normativa sobre BPA, insumos y seguridad alimentaria para certificaciones y acceso a mercados ⚠
	Crecimiento del mercado global proyectado de los cultivos hidropónicos ✓	Arraigo a prácticas agrícolas convencionales y tradicionales ⚠			

Fuente: Creación propia a partir del estudio realizado.

El análisis sectorial realizado evidencia un contexto favorable para la implementación de sistemas hidropónicos en el Oriente Antioqueño, particularmente en municipios como San Vicente Ferrer. La matriz PESTEL refuerza esta conclusión identificando factores predominantemente positivos que, gestionados adecuadamente, pueden convertir a la hidroponía en un vector de transformación productiva para la región, conciliando objetivos de productividad, sostenibilidad ambiental y desarrollo rural inclusivo, sin dejar de lado los desafíos estructurales que se puedan presentar que deben ser abordados estratégicamente para el éxito del proyecto.

7.2. ESTUDIO DE MERCADO

El estudio de mercado para productos hidropónicos en el área metropolitana de Medellín se fundamenta en una investigación primaria realizada a través de dos instrumentos aplicados a diferentes actores de la cadena de comercialización: mayoristas y establecimientos gastronómicos de Medellín. Este análisis proporciona

hallazgos fundamentales para la viabilidad comercial del proyecto hidropónico en la Finca Los Guadales.

El análisis revela un mercado altamente receptivo hacia productos hidropónicos, con niveles de aceptación superiores al 90 por ciento en ambos canales evaluados. Los resultados evidencian una convergencia entre la demanda actual de hortalizas frescas y el interés específico por productos hidropónicos.

7.2.1. Definición del producto

7.2.1.1. Producto principal: Lechuga Hidropónica

La selección de lechuga como producto principal para el desarrollo del sistema hidropónico se fundamenta en el análisis convergente de los resultados obtenidos en ambas encuestas, evidenciando una alta alineación entre la demanda actual del mercado y el interés específico por productos hidropónicos. Se debe tener en cuenta que la lechuga es una de las especies hortícolas con sistemas de producción sin suelo, debido a su rápido ciclo de desarrollo, estructura ligera que facilita la cosecha y alta sensibilidad a condiciones ambientales como la temperatura y la humedad. Estas características hacen posible mantener una producción continua, eficiente y homogénea en términos de calidad, favoreciendo además la estandarización de tamaños comerciales y la optimización del rendimiento por unidad de área (Gruda, 2009; Resh, 2013; Sardare & Admane, 2013; Sublett, Barickman, & Sams, 2018; Savvas & Gruda, 2018).

Especificaciones técnicas del producto:

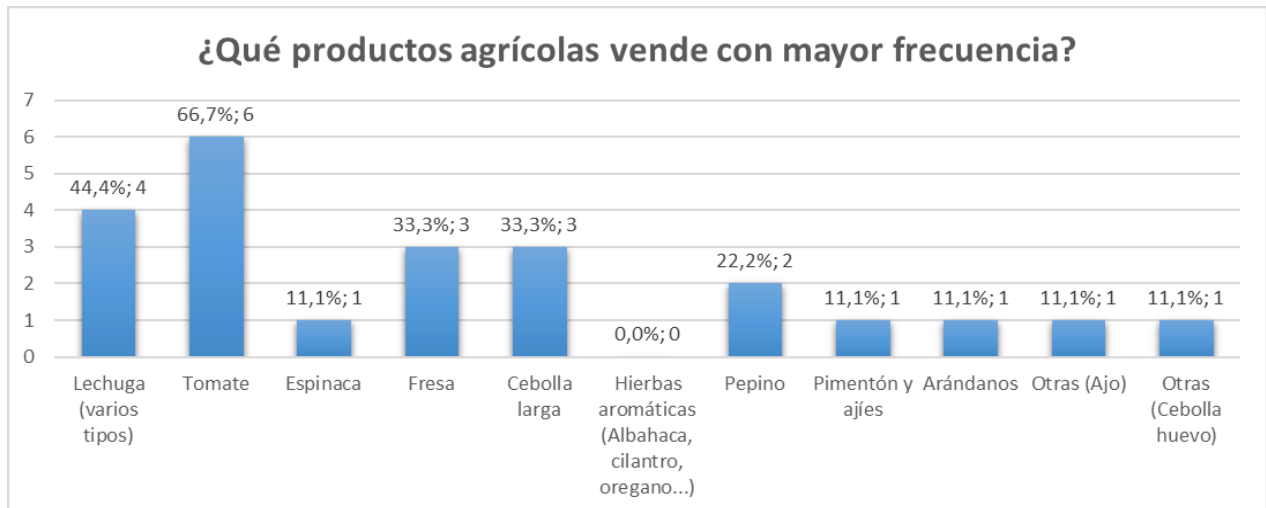
- Especie: Lactuca sativa (lechuga de hoja).
- Peso unitario promedio: 250 gramos por planta.
- Variedad por cultivar: Lechuga crespa (inicialmente).
- Presentación: Empaque individual por planta.

7.2.1.2. Justificación de la selección basada en resultados de encuestas

Los resultados del estudio muestran que la lechuga mantiene una participación relevante en la estructura de demanda de ambos canales comerciales evaluados. En el caso de los mayoristas, los tomates encabezan la lista de productos comercializados, con un 66,7 por ciento de preferencia (6 de 9 encuestados), seguidos por las lechugas, con un 44,4 por ciento (4 de 9), y por las fresas y la cebolla larga, ambas con un 33,3 por ciento (3 de 9).

Ilustración 2.

Uso de productos agrícolas en canal mayorista

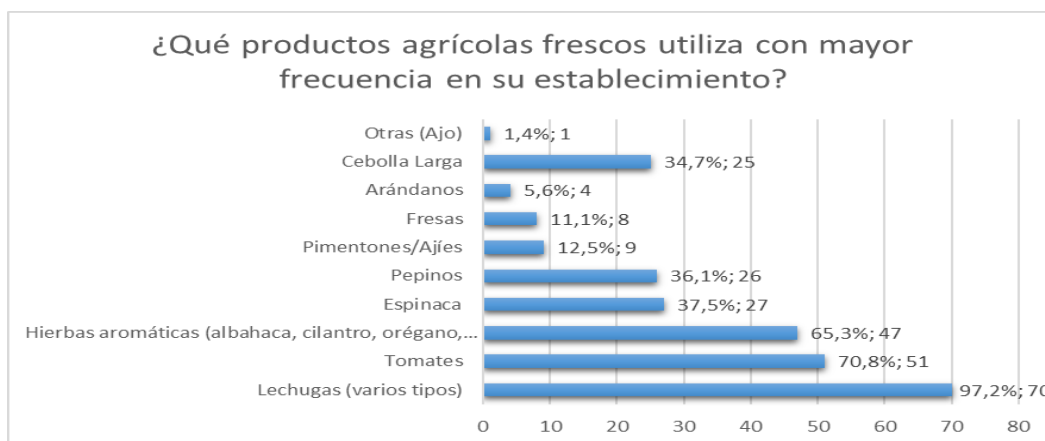


Fuente: Creación propia a partir de las encuestas realizadas en el 2025.

En el segmento de establecimientos gastronómicos, la demanda muestra un comportamiento claramente liderado por la lechuga, que registra una preferencia del 97,2 por ciento. Le siguen el tomate, con un 70,8 por ciento, y las hierbas aromáticas, con un 65,3 por ciento.

Ilustración 3.

Uso de productos agrícolas en establecimientos gastronómicos



Fuente: Creación propia a partir de las encuestas realizadas en el 2025.

Tabla 5.

Ranking de productos por segmento

Posición	Mayoristas	%	Restaurantes	%
1°	Tomate	66.7%	Lechugas (varios tipos)	97.2%
2°	Lechuga (varios tipos)	44.4%	Tomates	70.8%
3°	Fresa	33.3%	Hierbas aromáticas	65.3%
4°	Cebolla larga	33.3%	Espinaca	37.5%
5°	Pepino	22.2%	Pepinos	36.1%

Fuente: Creación propia a partir de las encuestas realizadas en el 2025.

Ilustración 4.

Interés de los productos hidropónicos

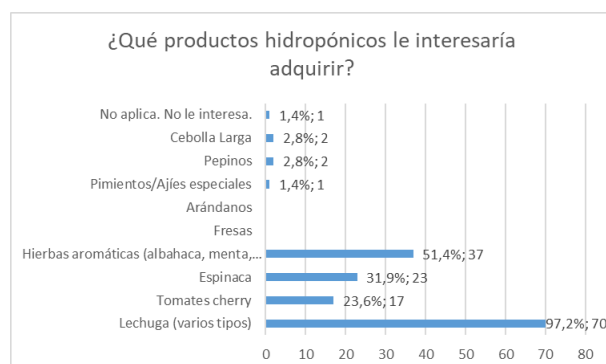


Ilustración 5.

Demanda de los productos hidropónicos



Fuente: Creación propia a partir de las encuestas realizadas en el 2025.

El cruce entre productos actualmente comercializados y el interés declarado por versiones hidropónicas revela una convergencia clara a favor de la lechuga. En el caso de los establecimientos gastronómicos, se muestra un interés por la lechuga hidropónica del 97.2 por ciento, manteniendo el liderazgo exacto. Mientras que, para el canal de mayoristas, la lechuga con una puntuación de 66.7 por ciento, escala a la primera posición en cuanto a interés en productos hidropónicos.

Tabla 6.

Ranking de productos por segmento ajustado

Posición	Mayoristas	%	Variación	Restaurantes	%	Variación
1°	Lechuga (varios tipos)	66.7%	+22.3pp	Lechuga (varios tipos)	97.2%	0
2°	Tomate	33.3%	-33.3pp	Hierbas aromáticas	51.4%	-13.9pp
3°	Cebolla larga	22.2%	-11.1pp	Espinaca	31.9%	-5.6pp
4°	Pimentón y ajíes	22.2%	+11.1pp	Tomate (Cherry)	23.6%	-47.2pp*
5°	Fresa	11.1%	-22.2pp	Cebolla larga	2.8%	-31.9pp

Fuente: Creación propia a partir de las encuestas realizadas en el 2025.

La lechuga se destaca como el único producto que mantiene y mejora su posición al pasar de versión tradicional a hidropónica en ambos segmentos evaluados. Lo anterior, debido a que este producto mantiene su liderazgo exacto en los establecimientos gastronómicos (97.2% → 97.2%). Además, incrementa significativamente su demanda en mayoristas (44.4% → 66.7%) y, supera a la competencia en versión hidropónica mientras otros productos declinan.

7.2.1.1.2. Características diferenciadoras del producto hidropónico

Entre los beneficios percibidos del producto hidropónico, los mayoristas destacaron la limpieza (67%), la disponibilidad constante durante todo el año (22%), la reducción en el uso de pesticidas (22%) y la calidad superior (22%).

Ilustración 6.

Beneficios considerados de los productos hidropónicos

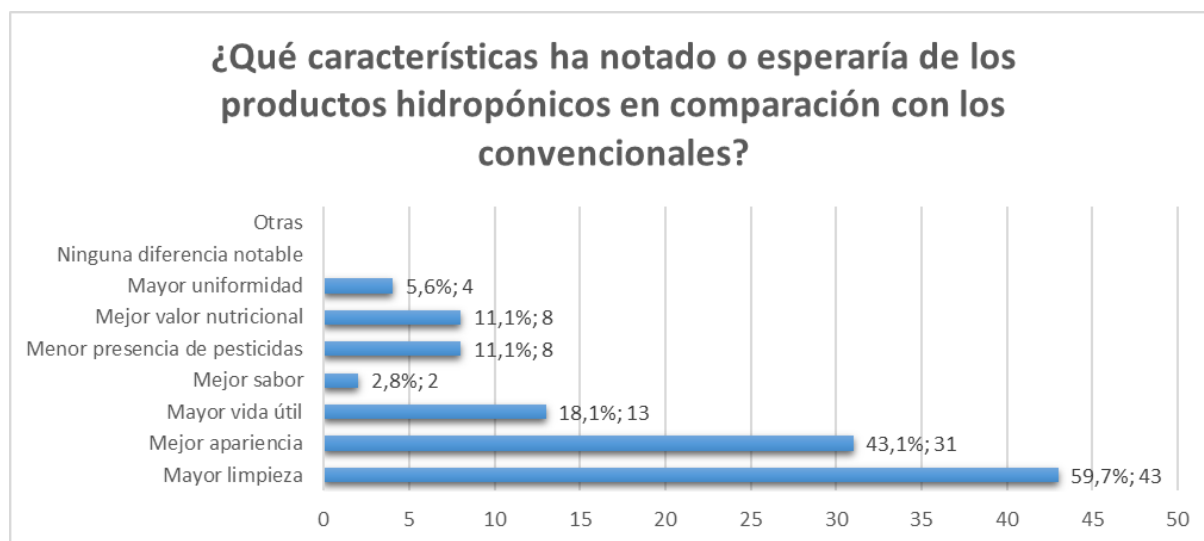


Fuente: Creación propia a partir de las encuestas realizadas en el 2025

Por su parte, los establecimientos gastronómicos resaltaron principalmente la mayor limpieza (59,7%), mejor apariencia visual (43,1%) y mayor vida útil en comparación con productos convencionales (18,1%).

Ilustración 7.

Características diferenciadoras entre productos hidropónicos Vs convencionales



Fuente: Creación propia a partir de las encuestas realizadas en el 2025.

Estos hallazgos consolidan la percepción del producto hidropónico como una alternativa comercial sólida, capaz de satisfacer las exigencias de calidad, presentación e inocuidad de ambos canales estratégicos.

7.2.2. Análisis de la demanda

7.2.2.1. Caracterización del segmento objetivo

El segmento objetivo se define como establecimientos gastronómicos de alta cocina y gourmet de Medellín, caracterizados por su búsqueda constante de ingredientes diferenciados y su menor sensibilidad al precio en favor de la calidad (Ver Tabla 7. Sensibilidad al precio por segmento), con capacidad de absorber *premium pricing* por productos que aporten valor a su propuesta gastronómica.

Tabla 7.*Sensibilidad al precio por segmento*

Tipo de Establecimiento	Muestra	Proporción	Interés positivo	Disposición Premium	Sensibilidad precio
Mayoristas	9	N/A	77.8%	Limitada	Alta
Restaurante alta cocina/gourmet	15	20.8%	93.3%	80.00%	Baja
Restaurante casual/familiar	38	52.8%	92.1%	76.3%	Media
Hotel con servicio alimentación	2	2.8%	100%	100.0%	Muy baja
Restaurante comida rápida	6	8.3%	83.3%	83.3%	Baja
Cafetería	9	12.5%	100%	77.8%	Media
Catering/servicio de eventos	1	1.4%	100%	0%	Muy Alta
Café/Restaurante	1	1.4%	100%	100%	Muy baja

Fuente: Creación propia a partir de las encuestas realizadas en el 2025.

Al tomar como base los resultados de la encuesta para el segmento de alta cocina/gourmet, se muestra a continuación el perfil del segmento objetivo:

Tabla 8.*Perfil del segmento alta cocina/gourmet*

Característica	Valor	Fuente
Participación en muestra	20.83%	15 de 72 establecimientos encuestados
Mercado potencial total	1899 establecimientos	9117 × 20.8% (El Colombiano, 2024)
Interés en productos hidropónicos	93.3%	14 de 15 establecimientos
Disposición a pagar premium	80.0%	12 de 15 establecimientos
Uso actual de lechuga	100%	Totalidad del segmento
Frecuencia de compra	4.0 veces/semana	Promedio ponderado de respuestas $[(10 \times 2.5) + (5 \times 7)] / 15 = 4.0$
Consumo semanal promedio	65 unidades (16.3 kg)	Consumo promedio = $[(1 \times 2.5) + (9 \times 7.5) + (3 \times 18) + (2 \times 60)] / 15$ Consumo promedio = $[2.5 + 67.5 + 54 + 120] / 15$ Consumo promedio = $244 / 15 = 16.27$ kg/semana $16.27 \text{ kg} \div 0.25 \text{ kg (peso lechuga)} = 65$ unidades

Fuente: Creación propia a partir de las encuestas realizadas en el 2025.

7.2.2.2 Estimación de la Demanda Potencial

Para la estimación de la demanda el proyecto hidropónico en la Finca Los Guadales, se tendrá en cuenta un periodo de horizonte de evaluación de cinco años, basados en las características específicas del modelo de negocio propuesto y la necesidad de observar un ciclo completo de desarrollo comercial. Este período permite evaluar la progresión desde la fase inicial de penetración en el mercado objetivo (años 1-2) hasta la consolidación de operaciones y relaciones comerciales estables (años 4-5), considerando que las relaciones B2B en el sector gastronómico requieren tiempo para evolucionar desde transacciones puntuales hacia socios comerciales sostenidos. Este período también proporciona el tiempo necesario para evaluar la recuperación de la inversión inicial del proyecto, considerando que los flujos de caja positivos requieren, tanto el establecimiento de una base sólida de clientes, como la optimización progresiva de los costos operativos. Adicionalmente, cinco años permiten que el proyecto desarrolle la experiencia operativa necesaria, optimice sus procesos productivos y logísticos, y establezca su posicionamiento competitivo en el mercado local, generando así información suficiente para evaluar la viabilidad integral y sostenibilidad de la iniciativa a largo plazo.

7.2.2.2.1. Cálculo del Mercado Objetivo

Al tener en cuenta los datos de la tabla del perfil del segmento objetivo, establecimientos comerciales de alta cocina/gourmet se obtiene:

$$\text{Mercado objetivo} = \text{Mercado potencial} \times \text{Interés} \times \text{Disposición premium}$$

$$\text{Mercado objetivo} = 1899 \times 93.3\% \times 80.0\% = \mathbf{1418 \text{ establecimientos}}$$

7.2.2.2.2. Modelo de adopción del segmento

El modelo de adopción aplicado para el segmento alta cocina/gourmet se fundamenta en la Teoría de Difusión de Innovaciones desarrollada por Rogers (2003), que establece que la adopción de nuevos productos sigue un patrón predecible donde diferentes grupos de consumidores adoptan innovaciones en momentos distintos. El autor identifica cinco categorías de adoptantes con distribuciones aproximadas: innovadores (2.5%), adoptantes tempranos (13.5%), mayoría temprana (34%), mayoría tardía (34%) y rezagados (16%).

En el contexto B2B del sector gastronómico, este modelo requiere adaptaciones específicas considerando que los establecimientos de alta cocina son receptivos a innovaciones diferenciadores, pero exigentes en calidad y consistencia, extendiendo los

períodos de evaluación. Las tasas de penetración proyectadas aplican esta teoría de manera conservadora, ajustada por hallazgos específicos de las encuestas realizadas.

Para el primer año, se proyecta una penetración del 1.6 por ciento (23 clientes de 1,418 establecimientos). Esta cifra deriva del 2.5 por ciento de innovadores según Rogers, ajustado por factor 0.65 basado en la cautela identificada: el 60 por ciento prefiere pedidos "con cantidades variables" y el 46.7 por ciento requiere crédito, evidenciando procesos de validación comercial antes de compras regulares.

El segundo año proyecta 3.6 por ciento (51 clientes), progresión que se fundamenta en que el 100 por ciento prefiere entrega directa, facilitando relaciones personalizadas y el efecto validación de primeros adoptantes en un sector de redes profesionales estrechas.

El tercer año estima 6.0 por ciento (85 clientes), duplicando la penetración anterior. Esta proyección se respalda en beneficios percibidos identificados en las encuestas: 59.7 por ciento valoró limpieza y 43.1 por ciento apariencia visual como diferenciadores principales. Estos atributos requieren tiempo para consolidarse y ser reconocidos por el mercado.

Los años cuarto y quinto proyectan 10 y 16 por ciento, respectivamente (142 y 227 clientes), representando un crecimiento acelerado hacia segmentos de mayor adopción. Aunque Rogers sugiere potenciales mayores para mayoría temprana, las proyecciones se limitan al 16 por ciento considerando las características específicas del nicho premium y la competencia establecida identificada en encuestas con mayoristas.

Estas proyecciones, aunque fundamentadas en teoría establecida y datos empíricos, incorporan asunciones sobre comportamiento futuro que pueden verse afectadas por variables externas como cambios competitivos o evolución de preferencias del sector gastronómico.

Tabla 9.

Penetración del mercado

Año	Mercado Objetivo	Penetración (%)	Clientes Activos
1	1418 establecimientos	1.6%	23
2	1418 establecimientos	3.6%	51
3	1418 establecimientos	6%	85
4	1418 establecimientos	10%	142
5	1418 establecimientos	16%	227

Fuente: Creación propia a partir del estudio realizado.

7.2.2.2.3. Proyección de demanda total

De acuerdo con los patrones de consumo validados por las encuestas, el segmento objetivo tiene un consumo por cliente de 65 unidades a la semana (ver tabla perfil del segmento). De esta manera, el consumo anual promedio alcanza las 3.380 unidades al año (65 unidades x 52 semanas).

Tabla 10.

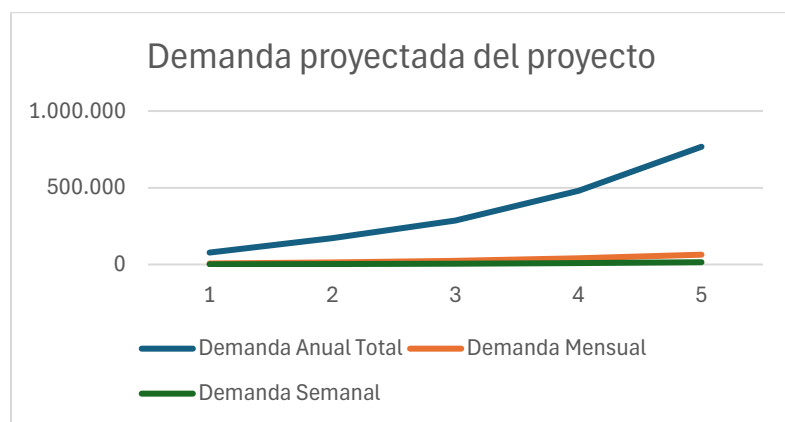
Proyección quincenal de la demanda

Año	Tasa de penetración	Clientes Activos	Consumo anual/Cliente	Demanda Anual Total	Demanda Mensual	Demanda Semanal
1	1,60%	23	3380	77.740	6.478	1.495
2	3,60%	51	3380	172.380	14.365	3.315
3	6,00%	85	3380	287.300	23.942	5.525
4	10,00%	142	3380	479.960	39.997	9.230
5	16,00%	227	3380	767.260	63.938	14.755

Fuente: Creación propia a partir del estudio realizado.

Ilustración 8.

Demanda proyectada



Fuente: Creación propia a partir del estudio realizado.

7.2.2.2.4. Proyección de precios

Para establecer los rangos de precios adecuados, se realizó un análisis del mercado actual de lechugas hidropónicas en el área metropolitana de Medellín, considerando diferentes canales de distribución y marcas posicionadas.

La investigación de precios se fundamentó en la recopilación de precios de las principales cadenas de supermercados, abarcando desde productos sin marca hasta marcas *premium* consolidadas. Este análisis permitió identificar, no solo el rango de precios vigentes, sino también las diferencias de posicionamiento y las oportunidades de precio para un nuevo entrante al mercado.

Tabla 11.

Precios del mercado consultados

Proveedor	Precio/Unidad	Peso	Precio/kg	Observaciones
Olimpica	\$3.400	200g	\$17.000	Marca Olímpica
Tiendas D1	\$2.200	180g	\$12.222	Sin marca
Carulla	\$2.740	170g	\$16.118	Sin marca
Carulla	\$4.900	170g	\$28.824	Marca HortiFresco
Éxito	\$2.580	170g	\$15.176	Sin marca
Éxito	\$3.620	170g	\$21.294	Marca HortiFresco
Jumbo	\$3.750	200g	\$18.750	Marca Cuisine&Co
Jumbo	\$3.250	180g	\$18.056	Marca Makand

Fuente: Sitios Web de los establecimientos comerciales consultado en junio 2025 (Supermercados Olímpica, 2025; Tiendas D1, 2025; Carulla, 2025; Almacenes Éxito, 2025; Almacenes Jumbo Colombia, 2025).

Al tener en cuenta la validación de los precios del mercado, el precio promedio se posiciona en \$3.305 pesos. Al tener en cuenta la disposición a pagar del segmento objetivo, se tienen los límites permitidos para la variación de precios con respecto al año de entrada.

Ilustración 9.

Disposición a pagar por segmento objetivo



Fuente: Creación propia a partir del estudio realizado

En la proyección del incremento de los precios, se tomó como base la inflación de alimentos anual de los años 2015 a 2024, y así realizar el análisis estadístico e identificar el dato de variación anual para el proyecto.

Tabla 12.

Inflación de alimentos – últimos 10 años (2015-2024)

Año	Inflación Anual (%)	Contexto
2015	13,08	Devaluación peso
2016	6,65	Normalización
2017	0,48	Ⓣ Año atípico bajo
2018	1,87	Estabilidad
2019	5,80	Normal
2020	4,80	Pandemia
2021	17,23	Crisis cadenas suministro
2022	27,81	Ⓢ Crisis global máxima
2023	5,00	Normalización
2024	3,31	Estabilización

Fuente: Banco de la República de Colombia – Series estadísticas históricas de precios e inflación (2025).

El promedio de los datos se situó en 8,60 por ciento, con una desviación estándar de 8,44 por ciento y un coeficiente de variación del 98,2 por ciento. La mediana calculada fue de 5,40 por ciento.

Los valores extremos identificados fueron 0,48 por ciento (2017) y 27,81 por ciento (2022), correspondientes a años de deflación de alimentos y crisis inflacionaria global respectivamente.

Debido al alto coeficiente de variación (98,2%), que supera ampliamente el umbral estadístico del 30 por ciento, se determinó que los datos presentan una variabilidad extrema que hace que el promedio aritmético no sea representativo de la tendencia central esperada. La presencia de valores atípicos como la deflación del 2017 (0,48%) y la hiperinflación del 2022 (27,81%) distorsiona significativamente el promedio hacia valores no representativos de condiciones normales de mercado.

Por esta razón, se seleccionó la mediana (5,40%) como base para la proyección de precios, ya que no se ve afectada por valores extremos, refleja mejor las condiciones “normales” del mercado y es estadísticamente más apropiada para series con alta variabilidad, ofreciendo una estimación más robusta y conservadora para la proyección.

Tabla 13.*Proyección de precios*

Año	Precio	Cálculo	Incremento vs. Año Anterior
1	\$ 3.305	Base de mercado	-
2	\$ 3.483	$\$3.305 \times 1.054$	5,40%
3	\$ 3.672	$\$3.483 \times 1.054$	5,40%
4	\$ 3.870	$\$3.672 \times 1.054$	5,40%
5	\$ 4.079	$\$3.870 \times 1.054$	5,40%

Fuente: Creación propia a partir del estudio realizado.

7.2.2.2.5. Proyección de ingresos

La proyección de ingresos del proyecto se construyó integrando dos variables fundamentales: la demanda proyectada según el modelo de adopción validado, la estrategia de precios escalonada definida para cada año.

Esta proyección considera un enfoque realista que refleja el crecimiento gradual del proyecto, desde la fase inicial de penetración en el mercado hasta la consolidación comercial. Los ingresos proyectados incorporan tanto el crecimiento natural de la demanda en el segmento objetivo como los ajustes de precio que permiten evolucionar desde una estrategia de penetración hacia un posicionamiento *premium*. Es importante destacar que estas proyecciones representan el potencial de ingresos basado en la demanda identificada, pero posteriormente se ajustan considerando las limitaciones técnicas del proyecto para ofrecer una visión realista de los ingresos alcanzables.

Tabla 14.*Proyección de ingresos por precios*

Año	Demanda (unidades)	Precio Unitario	Ingresos Potenciales	Crecimiento
1	77.740	\$3.305	\$256.930.700	-
2	172.380	\$3.483	\$600.480.559	133,7%
3	287.300	\$3.672	\$1.054.844.181	75,7%
4	479.960	\$3.870	\$1.857.369.634	76,1%
5	767.260	\$4.079	\$3.129.510.873	68,5%

Fuente: Creación propia a partir del estudio realizado.

7.2.2.2.6. Ajuste de la demanda por restricción en la capacidad instalada del proyecto

El estudio técnico evidencia una restricción del terreno que establece como límite la capacidad instalada del proyecto, teniendo en cuenta que este contempla la implementación en la superficie actual de la Finca Los Guadales. Por ello, se procede a realizar el análisis de la demanda vs la capacidad instalada.

Tabla 15.

Análisis de demanda Vs Capacidad instalada

Año	Demanda Projectada	Capacidad Máxima	Diferencia	% Utilización	Estado
1	77.740	80.160	-2.420	96.98%	✓ Dentro de capacidad
2	172.380	174.240	-1.860	98.93%	✓ Dentro de capacidad
3	287.300	257.280	+30.020	111.7%	✗ Excede capacidad
4	479.960	268.320	+211.640	179.0%	✗ Excede capacidad
5	767.260	268.320	+498.940	286.0%	✗ Excede capacidad

Fuente: Creación propia a partir del estudio realizado.

Bajo este escenario, la demanda del proyecto se enfrenta a una saturación de la capacidad instalada cuando supera las 257.280 unidades anuales. El punto de saturación de la demanda proyectada en el mes de noviembre del año 3.

Demanda Año 2: 172.380 unidades

Demanda Año 3: 287.300 unidades

Crecimiento: 114.920 unidades en 12 meses = 9.576,67 unidades/mes

Unidades faltantes para saturación: 257.280 – 172.380 = 84.900 unidades

Tiempo para saturación: 84.900 ÷ 9.576,67 = 8,87 meses

Punto de saturación: Año 2 + 8,87 meses = Mes 9 (Septiembre del Año 3)

De esta manera, el proyecto tendrá una demanda servida definida por la restricción en la capacidad técnica.

Tabla 16.

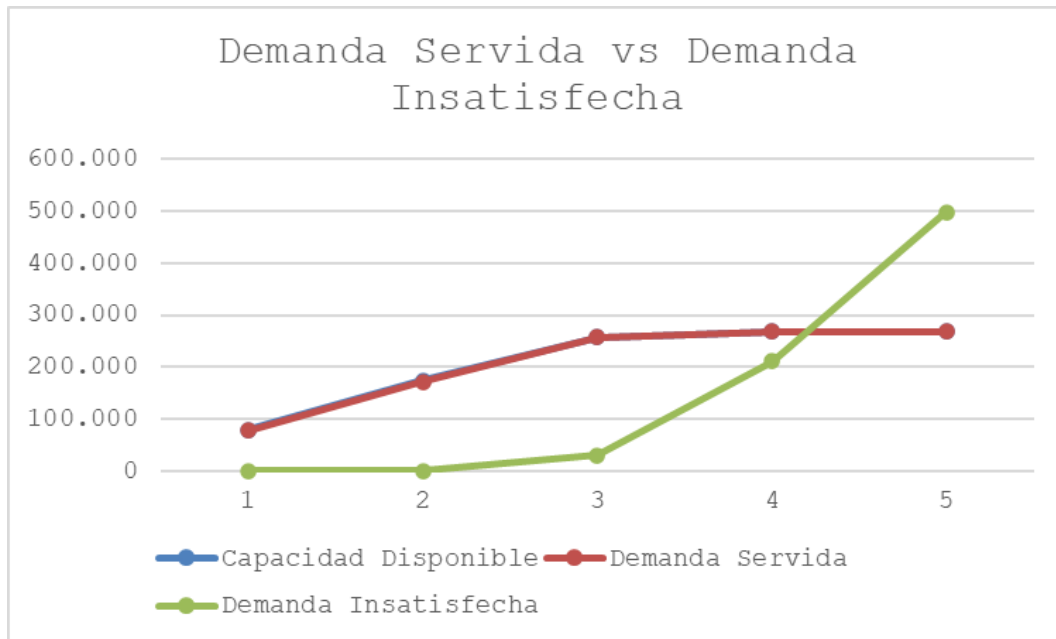
Proyección ajustada considerando restricción técnica

Año	Demanda Proyectada	Capacidad Disponible	Demanda Servida	Demanda Insatisfecha	% Demanda Servida
1	77.740	80.160	77.740	0	100%
2	172.380	174.240	172.380	0	100%
3	287.300	257.280	257.280	30.020	89,6%
4	479.960	268.320	268.320	211.640	55.9%
5	767.260	268.320	268.320	498.940	35.0%

Fuente: Creación propia a partir del estudio realizado.

Ilustración 10.

Demanda servida Vs Demanda insatisfecha



Fuente: Creación propia a partir del estudio realizado.

Tabla 17.*Penetración proyectada Vs Penetración ajustada por capacidad*

Año	Cientes Proyectados	Cientes Reales Atendidos	Penetración Proyectada	Penetración Real	Diferencia	Cientes No Atendidos
1	23	23	1.6%	1.6%	0.0 pp	0
2	51	51	3.6%	3.6%	0.0 pp	0
3	85	76	6.0%	5.4%	-0.6 pp	9
4	142	79	10.0%	5.6%	-4.4 pp	63
5	227	79	16.0%	5.6%	-10.4 pp	148

*Fuente: Creación propia a partir del estudio realizado.***Nota:** Penetración máxima técnica = 79 clientes/1418 mercado objetivo = 5.57%

Finalmente, la proyección de ingresos del proyecto teniendo en cuenta la restricción por la capacidad instalada máxima se ajusta de acuerdo con la siguiente tabla:

Tabla 18.*Proyección de ingresos con restricción de capacidad*

Año	Demanda Proyectada	Demanda Servida	Precio Unitario	Ingresos Reales	Ingresos Potenciales	Ingresos Perdidos
1	77.740	77.740	\$3.305	\$256.930.700	\$256.930.700	\$0
2	172.380	172.380	\$3.483	\$600.480.559	\$600.480.559	\$0
3	287.300	257.280	\$3.672	\$944.623.428	\$1.054.844.181	\$110.220.753
4	479.960	268.320	\$3.870	\$1.038.356.155	\$1.857.369.634	\$819.013.479
5	767.260	268.320	\$4.079	\$1.094.427.388	\$3.129.510.873	\$2.035.083.485

Fuente: Creación propia a partir del estudio realizado.

7.2.3. Análisis de competencia

7.2.3.1. Identificación y perfil de competidores

El mercado de lechugas en el área metropolitana de Medellín presenta competidores en tres categorías principales, según se muestra en la Tabla 19.

Tabla 19.

Clasificación de competidores por tipo

Tipo de Competidor	Empresa	Justificación
Competidores Directos	HortiFresco	Productor hidropónico, segmento premium
	Makand	Productor hidropónico líder nacional
	Hidrovegetal	Productor hidropónico local, mercado similar
Competidores Indirectos	Cuisine&Co	Marca propia <i>retail</i> , producto hidropónico
	Central Mayorista Antioquia	Canal tradicional, producto convencional
Competidores Potenciales	Productores regionales	Posible expansión hacia Medellín
	Nuevos entrantes	Aprovechamiento crecimiento mercado premium

Fuente: Sitios Web de los establecimientos comerciales consultado en junio 2025.

Tabla 20.

Perfil detallado de competidores directos

Competidor	Makand	HortiFresco	Hidrovegetal
Ubicación	Bogotá, Parque Agroindustrial	Zipaquirá, Cundinamarca	Santa Elena, Medellín
Años en operación	No disponible	25 años (desde 1999)	No disponible
Capacidad productiva	+400 fanegadas en rotación +1000 millones lechugas (1er sem. 2020)	No disponible	No disponible
Empleados	180 directos + 150 indirectos	No disponible	No disponible
Certificaciones	No disponible	BPA, BPM, Primus	BPA
Mercados	Nacional	Nacional + Exportación (Panamá, EE.UU.)	Regional (Antioquia)
Diferenciación	Escala masiva, cobertura nacional	Calidad premium, certificaciones	Producto orgánico, sistema 1CpP

Fuente: Sitios Web de los establecimientos comerciales consultado en junio 2025 (Makand S.A.S., s.f.; Hortifresco, s.f.; Hidrovegetal, s.f.).

7.2.3.2. Análisis de precios y posicionamiento

El análisis del panorama competitivo revela estrategias de precios marcadamente diferenciadas entre los actores del mercado hidropónico. Esta segmentación por precios refleja no solo diferentes costos de producción y estructuras empresariales, sino también distintos enfoques de posicionamiento y mercados objetivo.

Para comprender mejor el contexto competitivo en el que se insertará el proyecto Los Guadales, se realizó un análisis comparativo de precios entre los principales competidores identificados. Este análisis considera tanto el precio unitario como el precio por kilogramo, permitiendo evaluar la propuesta de valor de cada competidor e identificar las oportunidades de posicionamiento para el proyecto.

La comparación incluye desde el canal mayorista tradicional, que representa el punto de referencia de precios base del mercado, hasta las marcas *premium* más establecidas, proporcionando un panorama general del espectro de precios en el mercado hidropónico regional.

Tabla 21.

Comparativo de precios por competidor

Competidor	Peso	Precio Unitario	Precio/kg	Premium vs. Mayorista	Posicionamiento
Central Mayorista Fuente: DANE. (SIPSA - Boletín diario de precios mayoristas, 2025)	Variable	-	\$2.000	Base (0%)	Commodity
Proyecto Los Guadales	250g	\$3.305- \$4.079	\$13.220- \$15.864	+661% a +816%	Prémium accesible
Makand	180g	\$3.250	\$18.056	+900%	Volumen eficiente
HortiFresco	170g	\$4.900	\$28.824	+1,440%	Prémium establecido
Hidrovegetal	250g	\$5.000	\$20.000	+1,000%	Ultra premium local

Fuente: Sitios Web de los establecimientos comerciales consultado en junio 2025 (Almacenes Jumbo Colombia, 2025; Carulla, 2025).

7.2.3.3. Análisis FODA de competidores principales

La comprensión profunda de las fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas de los principales competidores resulta esencial para definir una estrategia competitiva diferenciada y sostenible. Este análisis FODA comparativo permite identificar no solo los factores críticos de éxito en el mercado hidropónico, sino también las brechas competitivas que el proyecto Los Guadales puede aprovechar para su posicionamiento.

Esta matriz comparativa proporciona hallazgos valiosos para el diseño de la estrategia competitiva del proyecto, identificando las amenazas a gestionar, así como las oportunidades a capitalizar en el proceso de consolidación comercial.

Tabla 22.

Matriz FODA competidores Vs Proyecto los Guadales

Factor	Makand	HortiFresco	Hidrovegetal	Los Guadales
Fortalezas	<ul style="list-style-type: none"> • Líder indiscutible • Cobertura nacional • Economías de escala 	<ul style="list-style-type: none"> • Marca establecida • Certificaciones internacionales • Capacidad exportadora 	<ul style="list-style-type: none"> • Proximidad geográfica • Producto orgánico • Reconocimiento local 	<ul style="list-style-type: none"> • Flexibilidad • Especialización canal gastronómico • Proximidad a mercado objetivo
Debilidades	<ul style="list-style-type: none"> • Distancia del mercado regional • Enfoque masivo vs. premium 	<ul style="list-style-type: none"> • Ubicación distante • Precios muy altos 	<ul style="list-style-type: none"> • Capacidad limitada • Alcance restringido 	<ul style="list-style-type: none"> • Marca nueva • Capacidad inicial limitada • Sin reconocimiento
Oportunidades	<ul style="list-style-type: none"> • Expansión internacional • Nuevos canales 	<ul style="list-style-type: none"> • Crecimiento mercado premium • Nuevos mercados exportación 	<ul style="list-style-type: none"> • Crecimiento turismo gastronómico • Certificaciones adicionales 	<ul style="list-style-type: none"> • Mercado gastronómico en crecimiento • Tendencia productos locales • Sostenibilidad
Amenazas	<ul style="list-style-type: none"> • Nuevos competidores • Regulaciones 	<ul style="list-style-type: none"> • Competencia en precios • Imitación 	<ul style="list-style-type: none"> • Entrada competidores mayores • Limitaciones de escala 	<ul style="list-style-type: none"> • Reacción de competidores • Sensibilidad económica

Fuente: Creación propia a partir del estudio realizado.

7.2.3.4. Benchmarking competitivo

El *benchmarking* competitivo permite evaluar de manera objetiva el posicionamiento relativo del proyecto Los Guadales frente a sus principales competidores mediante criterios ponderados. Esta metodología facilita la identificación de brechas competitivas y áreas de oportunidad para el desarrollo estratégico del proyecto.

La evaluación considera factores críticos de éxito en el mercado hidropónico, desde aspectos operativos como calidad y precio, hasta elementos estratégicos como cobertura y capacidad de innovación. Esta calificación multifactorial proporciona una base cuantitativa para la toma de decisiones estratégicas y el diseño de ventajas competitivas diferenciadas.

Tabla 23.

Calificación multifactorial de competidores

Factor de Competencia	Peso	Makand	HortiFresco	Hidrovegetal	Los Guadales
Calidad del producto	25%	4	5	5	4
Precio competitivo	20%	4	2	2	4
Cobertura/Distribución	20%	5	4	2	2
Servicio al cliente	15%	3	4	5	5
Innovación/Tecnología	10%	3	4	5	4
Sostenibilidad	10%	3	3	5	5
CALIFICACIÓN TOTAL	100%	3.9	3.8	3.8	3.9

Fuente: Sitios Web de los establecimientos comerciales consultado en junio 2025.

Nota: Escala: 1=Muy bajo, 5=Muy alto

7.2.3.5. Posicionamiento precio-calidad

El mercado se segmenta claramente en cuatro cuadrantes: *Commodity* (Central Mayorista: bajo precio, calidad variable), *Volumen eficiente* (*Makand*: precio medio, calidad estándar), *Prémium establecido* (*HortiFresco*: precio alto, calidad premium), y *Ultra premium local* (*Hidrovegetal*: precio muy alto, calidad excepcional).

El proyecto Los Guadales se posiciona estratégicamente en *Premium* accesible, ofreciendo calidad alta a precio medio-alto, ocupando un espacio intermedio que no está completamente saturado por los competidores existentes.

7.2.3.6. Ventajas competitivas del proyecto

La principal ventaja competitiva del proyecto radica en la especialización geográfica y de canal. Mientras *Makand* optimiza para volumen nacional y HortiFresco para *retail* premium, Los Guadales se especializa en atender restaurantes de alta cocina en Medellín con servicio personalizado y entrega directa. Esta focalización permite ofrecer flexibilidad en productos, frecuencia de entrega y términos comerciales que los competidores de mayor escala no pueden igualar eficientemente.

La proximidad geográfica representa una ventaja operativa significativa, permitiendo entregas el mismo día de cosecha y capacidad de respuesta inmediata ante requerimientos específicos, factores especialmente valorados en el segmento gastronómico premium.

7.2.4. Canales de comercialización

7.2.4.1. Análisis de canales existentes en el mercado

El análisis de competidores revela tres categorías principales de canales en el mercado de lechugas hidropónicas: *retail* masivo (*Makand* en Éxito, Jumbo, Metro, Olímpica), *retail* premium (*HortiFresco* en Carulla premium), y canal gastronómico directo (Hidrovegetal con restaurantes locales). Cada canal presenta características diferenciadas en términos de volumen, precios y requerimientos operativos.

7.2.4.2. Estrategia de canales basada en encuestas

Los resultados de las encuestas a restaurantes del segmento objetivo alta cocina/gourmet, proporcionan el fundamento empírico para la estrategia de canales del proyecto:

Tabla 24.*Preferencias de canal - segmento alta cocina/gourmet*

Aspecto	Preferencia	Porcentaje	Implicación Estratégica
Modalidad de entrega	Entrega directa en establecimiento	100%	Validación total del modelo de venta directa
Frecuencia de entrega	2-3 veces por semana	60%	Alineación perfecta con cronograma bisemanal de producción
Modalidad de pedido	Regular con cantidades variables	60%	Flexibilidad en volúmenes con base estable de clientes
Empaque preferido	Individual por planta	80%	Alta valoración de presentación diferenciada

*Fuente: Creación propia a partir de las encuestas realizadas en el 2025.***Tabla 25.***Estructura de términos de pago - segmento objetivo*

Término de Pago	Restaurantes	Porcentaje	Implicación Financiera
Crédito a 30 días	7 de 15	46.7%	Requerimiento principal de capital de trabajo
Crédito a 15 días	4 de 15	26.7%	Flujo de caja intermedio
Contado	4 de 15	26.7%	Flujo de caja inmediato

Fuente: Creación propia a partir de las encuestas realizadas en el 2025.

7.2.4.3. Diseño de la estrategia de canales

La estrategia de canales del proyecto se fundamenta directamente en los hallazgos del estudio de mercado, priorizando aquellos que mostraron mayor receptividad y alineación con las características del producto hidropónico. El diseño contempla una estructura diversificada que minimiza riesgos comerciales mientras maximiza el potencial de penetración en el mercado objetivo.

La distribución porcentual de ventas por canal refleja tanto las preferencias validadas por el segmento objetivo como las capacidades operativas del proyecto en su fase inicial. Esta estrategia permite un crecimiento escalonado y controlado,

concentrando esfuerzos en el canal de mayor rentabilidad mientras se desarrollan gradualmente canales complementarios.

Tabla 26.

Estrategias canales de comercialización

Canal de comercialización	Estrategia
Canal Primario	Venta Directa B2B (85% de ventas proyectadas)
	<ul style="list-style-type: none"> • Segmento: Restaurantes de alta cocina y gourmet (100% prefieren entrega directa) • Modelo: Entrega directa martes y viernes, alineado con preferencia del 60% del segmento • Cobertura: Área Metropolitana de Medellín • Empaque: Individual por planta (preferido por 80% del segmento objetivos) • Términos de pago escalonados: <ul style="list-style-type: none"> ○ 46.7% crédito a 30 días: Clientes establecidos de mayor volumen ○ 26.7% crédito a 15 días: Clientes medianos o en proceso de fidelización ○ 26.7% contado: Clientes nuevos o de menor volumen
Canal Secundario	Distribuidores Especializados (12% de ventas proyectadas)
	<ul style="list-style-type: none"> • Función: Atender restaurantes fuera del radio de entrega directa • Perfil: Distribuidoras especializadas en productos gourmet
Canal Terciario	Venta Directa Consumidor Final (3% de ventas proyectadas)
	<ul style="list-style-type: none"> • Modalidad: Agroturismo en finca los fines de semana • Objetivo: Construcción de marca y fidelización

Fuente: Creación propia a partir del estudio realizado.

7.2.4.4. Validación de la estrategia con datos del segmento objetivo

El 100 por ciento de preferencia por entrega directa en el segmento de alta cocina/gourmet valida completamente la estrategia de especialización en canal directo B2B. La estructura de términos de pago revela que 73.4 por ciento del segmento requiere financiamiento (crédito 15-30 días), lo cual es manejable y típico del sector gastronómico *premium*

La distribución equilibrada entre diferentes términos de pago permite una gestión escalonada del riesgo crediticio: clientes nuevos inician con pago de contado, evolucionan a crédito 15 días conforme se establece la relación, y finalmente acceden a crédito 30 días como clientes *premium* de mayor volumen.

7.2.5. Análisis FODA del mercado

La síntesis del estudio de mercado mediante un análisis FODA permite consolidar los hallazgos más relevantes de la investigación, integrando los resultados de demanda, competencia y canales de comercialización. Esta herramienta estratégica facilita la identificación sistemática de factores internos y externos que influirán en el desempeño comercial del proyecto hidropónico.

La matriz resultante proporciona la base para diseñar estrategias que maximicen fortalezas y oportunidades, mientras mitigan debilidades y gestionan amenazas del entorno. Este análisis constituye un insumo para la evaluación integral de viabilidad y el diseño de planes de contingencia comercial.

Tabla 27.

Análisis FODA

FORTALEZAS	OPORTUNIDADES
<ul style="list-style-type: none"> • Ubicación estratégica cerca de Medellín • Producto altamente demandado: Lechuga lidera preferencias en los segmentos encuestados • Ventajas competitivas percibidas: Limpieza (59.7%), mejor apariencia (43.1%), mayor vida útil (18.1%) • Especialización de canal: 100% del segmento objetivo prefiere entrega directa • Menor competencia directa local en hidroponía especializada • Enfoque sostenible alineado con tendencias del mercado • Flexibilidad operativa para atender requerimientos específicos 	<ul style="list-style-type: none"> • Interés validado del 97.2% en segmento de establecimientos gastronómicos (93.3% en restaurantes de alta cocina/gourmet), y 66.7% en canales mayoristas. • Disposición a pagar premium: 80% del segmento objetivo acepta precios superiores • Crecimiento del mercado gourmet en Medellín • Políticas gubernamentales pro-agricultura sostenible y tecnificada • Potencial de certificaciones • Mercado no saturado en precio premium accesible

DEBILIDADES	AMENAZAS
<ul style="list-style-type: none"> • Marca nueva sin reconocimiento • Inversión inicial elevada • Capacidad inicial limitada: Saturación desde año 2 con demanda creciente • Curva de aprendizaje técnica y comercial en hidroponía • Dependencia del conocimiento técnico especializado • Limitaciones en capital de trabajo: 73.4% clientes requiere financiamiento (15-30 días) • Restricciones de escalabilidad por tamaño del terreno. 	<ul style="list-style-type: none"> • Competencia de grandes productores ya posicionados (Makand, HortiFresco) • Reacción competitiva por entrada a nicho especializado • Dependencia crítica del canal gastronómico • Sensibilidad a crisis del sector gastronómico (pandemia, recesión) • Fluctuaciones en costos de insumos especializado • Posibles problemas fitosanitarios que afecten producción continua • Entrada de competidores con mayor capacidad y recursos • Cambios regulatorios en normativa hidropónica o sanitaria

Fuente: Creación propia a partir del estudio realizado.

Tabla 28.

Estrategias derivadas del FODA

FO - Fortalezas + Oportunidades	FA - Fortalezas + Amenazas
<ul style="list-style-type: none"> • Capitalizar ubicación geográfica y de canal para capturar el 93,3% de interés validado por el segmento objetivo • Desarrollar programa de fidelización aprovechando la preferencia por entrega directa (100%) • Posicionar sostenibilidad como diferenciador clave ante el crecimiento de alimentación saludable • Implementar sistema de certificaciones progresivo para reforzar ventajas competitivas percibidas 	<ul style="list-style-type: none"> • Establecer contratos a mediano plazo que reduzcan sensibilidad competitiva por precio • Diversificar gradualmente a otros canales (distribuidores especializados 12%, venta directa 3%) • Utilizar flexibilidad operativa para crear barreras de entrada mediante servicio personalizado • Desarrollar sistema de alertas de costos y contratos de suministro a término fijo
DO - Debilidades + Oportunidades	DA - Debilidades + Amenazas

<ul style="list-style-type: none"> • Aprovechar incentivos gubernamentales para superar limitaciones de capital • Desarrollar alianzas estratégicas con restaurantes clave para acelerar reconocimiento de marca • Implementar crecimiento escalonado aprovechando alta demanda para expandir capacidad gradualmente • Buscar financiamiento especializado para agronegocios innovadores • Establecer alianzas para acelerar curva de aprendizaje tecnológico 	<ul style="list-style-type: none"> • Establecer reservas financieras para enfrentar volatilidad del sector • Implementar sistema de monitoreo competitivo continuo para ajustes estratégicos oportunos • Desarrollar plan de contingencia para crisis del canal gastronómico (COVID-19 lecciones aprendidas) • Mantener flexibilidad en estructura de costos para adaptabilidad
--	---

Fuente: Creación propia a partir del estudio realizado.

7.3. ESTUDIO TÉCNICO

El presente estudio técnico tiene como finalidad establecer la prefactibilidad operativa del sistema hidropónico propuesto y definir de manera integral los requerimientos técnicos, estructurales y tecnológicos para su implementación en la Finca Los Guadales, ubicada en el municipio de San Vicente Ferrer, Antioquia. En función del análisis de mercado realizado, recolección de información de fuentes primarias y secundarias y conversaciones con el agrónomo Junior Gómez que tiene un cultivo hidropónico en el municipio de Marinilla, se ha determinado que el cultivo más pertinente es la lechuga de hoja (*lactuca sativa* o conocida como lechuga crespa).

Para garantizar un modelo productivo eficiente, escalable y ambientalmente sostenible de acuerdo con la demanda proyectada en el estudio de mercado. Este estudio desarrolla el análisis de tecnologías disponibles, las condiciones agroclimáticas del sitio, el dimensionamiento del sistema con el diseño técnico, así como el flujograma del proceso y el plan de implementación con el consolidado de inversión, costos y gastos del proyecto.

7.3.1. Evaluación de sistemas hidropónicos

Los sistemas hidropónicos, que materializan dicha técnica, abarcan una amplia gama de métodos y estructuras. Estos van desde sistemas simples de raíz flotante, ideales para principiantes o pequeños productores, hasta complejas instalaciones automatizadas capaces de producir grandes cantidades de alimentos en espacios reducidos. Cada variante de sistema hidropónico tiene sus propias características y

ventajas, las cuales se deben de analizar bajo el contexto general de cada uno de los proyectos.

A continuación, se presenta una tabla comparativa de los principales sistemas de cultivo hidropónico. Esta fue elaborada a partir de la información técnica y descriptiva recopilada del portal especializado Nosoilsolutions (s.f.), el cual ofrece una caracterización detallada de cada técnica, incluyendo sus ventajas, desventajas y aplicaciones más comunes. La tabla tiene como propósito sintetizar y facilitar la comprensión de las particularidades de cada sistema.

Tabla 29.

Tipos de técnicas de cultivos hidropónicos

Técnica	Descripción	Ventajas	Desventajas	Datos Relevantes
Flujo y Reflujo	Consiste en inundar temporalmente las raíces de las plantas con una solución nutritiva y luego permitir que drene, repitiendo el ciclo.	<ul style="list-style-type: none"> - Buena oxigenación de las raíces. - Uso eficiente de nutrientes y agua. - Compatible con una amplia variedad de plantas 	<ul style="list-style-type: none"> - Complejidad en la automatización del sistema. - Sensible a fallos en el suministro eléctrico. 	Ideal para plantas de crecimiento rápido y producción masiva.
Aeropónica	Las raíces de las plantas están suspendidas en el aire y se rocían con una solución nutritiva.	<ul style="list-style-type: none"> - Alta eficiencia en el uso de agua. - Crecimiento acelerado de las plantas. - Requiere menos sustrato. 	<ul style="list-style-type: none"> - Sistema costoso y de mantenimiento técnico. - Vulnerabilidad ante fallos en el suministro de agua o nutrientes. 	Es la técnica más avanzada, usada para cultivos de alto valor como hierbas o flores.
Raíz Flotante	Las plantas están suspendidas en una lámina flotante y sus raíces están sumergidas directamente en la solución nutritiva.	<ul style="list-style-type: none"> - Método sencillo y de bajo costo. - Buena disponibilidad de nutrientes. - Ideal para cultivos de hoja verde. 	<ul style="list-style-type: none"> - Limitado para plantas grandes o de fruto. - Requiere una aireación constante del agua. 	Muy utilizado en la producción de lechugas y otras hojas verdes.

Goteo	El agua y los nutrientes se suministran a las raíces a través de un sistema de goteo, permitiendo un control preciso del riego.	<ul style="list-style-type: none"> - Control óptimo del suministro de nutrientes. - Eficiente en el uso de agua. - Funciona con una amplia gama de plantas. 	<ul style="list-style-type: none"> - Sistema costoso y requiere mantenimiento constante. - Riesgo de obstrucción en las tuberías de goteo. 	Se adapta bien, tanto a plantas pequeñas como grandes.
Mecha	Utiliza una mecha para transportar el agua y los nutrientes desde un depósito hasta las raíces de las plantas.	<ul style="list-style-type: none"> - Sistema sencillo y de bajo costo. - No requiere electricidad. - Fácil de configurar y mantener. 	<ul style="list-style-type: none"> - Limitado a plantas pequeñas y de bajo consumo de agua. - Baja eficiencia en el suministro de nutrientes. 	Ideal para principiantes o cultivos pequeños como hierbas aromáticas.
NFT Nutrient Film Technique	Las raíces de las plantas están en contacto con una fina lámina de solución nutritiva que fluye continuamente a través de un canal.	<ul style="list-style-type: none"> - Bajo consumo de agua y nutrientes. - Buen control sobre las condiciones de crecimiento. 	<ul style="list-style-type: none"> - Requiere monitoreo constante para evitar fallos en la bomba de agua. - No adecuado para plantas de gran tamaño o con raíces muy desarrolladas. 	Utilizado para cultivos de hojas pequeñas, como lechugas y fresas.

Fuente: Creación propia a partir del estudio realizado.

Cada uno de estos sistemas se adapta a diferentes tipos de cultivos, escalas de producción y contextos ambientales, ofreciendo soluciones versátiles para diversos escenarios agrícolas. La elección del sistema más adecuado depende de factores como el tipo de cultivo, el espacio disponible, el clima, los recursos y los objetivos de producción.

Ilustración 11.

Tipos de sistema de cultivo hidropónico



Fuente: (Iberdrola, s.f.)

Se evaluaron seis sistemas hidropónicos reconocidos a nivel técnico para el cultivo de hortalizas de hoja: NFT (Nutrient Film Technique), Flujo y reflujo (ebb and flow), Raíz flotante (raft o DWC), Goteo, Mecha y Aeroponía. A continuación, se presenta una tabla comparativa multicriterio con base en seis variables clave: inversión inicial, consumo de agua, eficiencia productiva, complejidad operativa, sostenibilidad ambiental y adaptabilidad climática:

Tabla 30.

Evaluación de técnicas de cultivos hidropónicos

Criterio / Sistema	NFT	Flujo y Reflujo	Raíz Flotante (DWC)	Goteo	Mecha	Aeroponía
Inversión inicial	Baja	Media	Baja	Media	Muy baja	Alta
Consumo de agua	Muy bajo	Medio	Medio	Medio	Bajo	Muy bajo

Eficiencia productiva	Alta	Alta	Media	Alta	Baja	Muy alta
Complejidad operativa	Baja	Media	Baja	Media	Muy baja	Alta
Sostenibilidad ambiental	Alta	Media	Alta	Media	Media	Alta
Adaptabilidad climática	Muy alta	Alta	Alta	Alta	Media	Media

Fuente: Creación propia a partir del estudio realizado.

El sistema NFT sobresale por su equilibrio entre eficiencia, bajo consumo de agua, inversión moderada y facilidad operativa. A diferencia del sistema de flujo y reflujo o raíz flotante, que requieren mayor volumen de agua y control térmico, el NFT es más adaptable a espacios medianos como el de la finca Los Guadales. Frente a sistemas como mecha o goteo, el NFT ofrece mejor eficiencia técnica y sanitaria. Aunque la aeroponía presenta el mayor rendimiento potencial, su alta complejidad y costos no la hacen recomendable para proyectos en etapa de consolidación. Por estas razones, el sistema NFT es seleccionado como la opción más viable para el proyecto, considerando el clima templado, el tipo de cultivo y la capacidad de gestión técnica disponible.

7.3.2. Estudio de localización y tamaño

La finca Los Guadales se encuentra en zona rural de San Vicente Ferrer a 14 km de la cabecera municipal, a 2.150 msnm, con clima templado, temperaturas entre 16–19 °C, humedad relativa promedio del 75 por ciento y precipitación anual cercana a los 2.000 mm. Estas condiciones favorecen el cultivo de hortalizas de hoja, reduciendo riesgos de plagas y enfermedades típicas de climas cálidos. El terreno presenta pendiente leve, suelo intervenido, disponibilidad de agua por nacimientos y acueducto veredal, y conexión eléctrica rural. La ubicación tiene acceso por vía terciaria transitable entre los municipios de San Vicente y El Peñol.

La finca tiene una extensión de 7.200 metros cuadrados (los delimitados en amarillo en la siguiente imagen de color amarillo), de los cuales se tienen alrededor de 2.000 metros cuadrados libres para el montaje del cultivo (los delimitados en rojo), que representan restricción para el cálculo del tamaño final del proyecto.

Ilustración 12.

Localización de la finca Los Guadales



Fuente: (Google Maps, 2025).

Al tener en cuenta los 2.000 m² disponibles para el cultivo, se realiza el cálculo de la optimización del proyecto para encontrar la mayor capacidad instalada posible del proyecto considerando una densidad de siembra máxima de 20 plantas/m², propia de sistemas NFT, distribuidas en ciclos escalonados de producción por camas daría como máximo una capacidad instalada 40.000 plantas por ciclo. Adicional, al área requerida del cultivo, el proyecto necesita un área total con infraestructura (invernadero), que incluye los pasillos técnicos y los retiros requeridos de las camas con los laterales del invernadero por exposición al sol y al agua de las plantas de los extremos. Con ello se reduciría la capacidad máxima del proyecto y se encontró la capacidad final. Igualmente, se requiere una zona de manejo de solución nutritiva, espacio de germinación, área de empaque y mantenimiento.

De acuerdo con la demanda proyectada en el estudio de mercado, la restricción de espacio que se tiene en la finca para el cultivo, la demanda encontrada semanalmente de lechuga en el estudio de mercado en cada uno de los años del proyecto, el ciclo de producción de la lechuga que es de 45 días, el dimensionamiento de las camas de

producción descrito a continuación en la ingeniería del proyecto y teniendo en cuenta entregas de tres veces por semana, que es lo más preferidos por los clientes, se realizó un plan de producción escalonado en tres años, el cual entregó los siguientes datos de producción:

Tabla 31.

Producción escalonada del proyecto

Descripción	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4 en adelante
Capacidad instalada por ciclo	11.520	23.040	33.600	33.600
Producción anual	80.160	174.240	257.280	268.320
Producción promedio mensual	7.680	15.360	22.360	22.360
Producción promedio semanal	1.781	3.591	5.160	5.160
Porcentaje de capacidad	34,3%	68,6%	100,0%	100,0%

Fuente: Creación propia a partir del estudio realizado.

7.3.3. Ingeniería del proyecto

Para el montaje del cultivo proyectado de lechugas de hoja (*lactuca sativa*) en la Finca Los Guadales garantizando una implementación eficiente del sistema NFT horizontal, se han determinado los siguientes requerimientos técnicos con base en criterios de viabilidad operativa, disponibilidad de tecnologías en el mercado nacional y adaptabilidad al entorno local.

7.3.3.1. Requerimientos técnicos y selección tecnológica

7.3.3.1.1. Camas de producción

El tamaño de la tubería utilizada en cada una de las camas de producción varía entre 2 – 4 pulgadas, dependiendo principalmente del tipo de planta utilizada. Para el montaje del sistema hidropónico de cultivo NFT para lechugas de hoja se emplearán tubos de PVC de 2 pulgadas de diámetro sin utilizar canastillas o espumas en el trasplante. Los tubos de PVC vienen por un largo de 6 metros y deben ser aptos para la conducción de agua potable de mediana presión, adicionalmente se deben de pintar y recubrir con pintura blanca alguicida que evitan la proliferación de algas y otros macroorganismos en la tubería que pueden afectar el cultivo. Los tubos requeridos por una longitud de 6 metros tienen un costo de 49.000 por unidad.

Las camas deben de tener una pendiente de alrededor del 30 por ciento y quedar a una altura de entre 70 y 90 cm desde el suelo hasta la parte superior del canal, esta altura permite:

- Ergonomía para el operario, evitando posturas incómodas o inclinaciones prolongadas durante la siembra, el mantenimiento y la cosecha.
- Buena circulación de aire por debajo de los canales.
- Evacuación eficiente de la solución nutritiva mediante gravedad (por pendiente del canal entre las camas de producción y el tanque madre).
- Protección del sistema ante salpicaduras de suelo o encharcamientos en el piso.

Para realizar el espaciado entre las plantas y ubicar los agujeros en la tubería depende de lo grande que se busca tener la lechuga para la venta, en el mercado se pueden conseguir desde 200 hasta 500 gramos o más. Un gramaje ideal para la venta y comercialización de la lechuga es de alrededor de 250 gramos para lo cual se recomienda una distancia entre orificios de 20 cm teniendo en cuenta tres variables: la competencia entre plantas donde al tener densidad por metro cuadrado muy alta se obstaculizan entre ellas el nivel de absorción de luz y su espacio de crecimiento, la higiene buscando evitar el contacto entre plantas para reducir la propagación de alguna plaga por todo el cultivo y la facilidad de cosecha evitando el cruce fuerte de raíces entre las plantas reduciendo la fuerza requerida para la recolección. Los orificios de cada planta se deben realizar de 1-3/4 de pulgada para un óptimo crecimiento de la planta. El diseño de las camas de cultivo es el siguiente: cada cama puede tener un máximo de ocho tubos de 2" de 12 metros cada uno (ya que no se recomiendan tubos de más de 15 metros de largo por la distribución de los nutrientes entre plantas donde las ultimas no tendrían la misma absorción). Teniendo cuenta la distancia entre orificios recomendada de 20 cm se calcula un total de 60 plantas por tubo, para un total de 480 plantas por cama.

Tabla 32.

Dimensionamiento de las camas de producción unitaria

Descripción	Cantidad	Unidad
Distancia entre lechugas	0,2	Metros
Número de tubos por cama	8	Und
Ancho de la cama	1,5	Metros
Largo de la cama	12	Metros
Área cultivable por cama	18	m2

Porcentaje de caída cama	30	%
Número de plantas por tubo	60	Und
Capacidad por cama	480	Und

Fuente: Creación propia a partir del estudio realizado.

Al tener en cuenta la producción escalonada por años, el número de camas requerida en cada uno de los años respecto a la capacidad instalada, serian:

Tabla 33.

Dimensionamiento de las camas de producción por año

Descripción	Año 1	Año 2	Año 3 en adelante
Capacidad instalada por ciclo	11.520	23.040	33.600
Numero de camas instaladas	24	48	70
Area cultivable total (m2)	432	864	1.260

Fuente: Creación propia a partir del estudio realizado.

7.3.3.1.2. Sistema de bombeo

Para el sistema de bombeo o también llamado sistema madre se requieren: tanque, bomba, sistema de tuberías y mangueras de presión, temporizador y el sistema de filtración. Resulta importante en la selección de estos equipos tener en cuenta que se requiere un caudal por tubo de entre 1 y 2 litros por minuto, según Castrillón Velásquez y Duque Hoyos (2019) y otros autores quienes aseguran que un porcentaje de oxigenación ideal para las plantas, aumenta la absorción de los nutrientes.

Con este dato se realiza el cálculo de la bomba para la capacidad total y final del proyecto de 70 camas de producción, ya que es mucho mejor tener una bomba sobredimensionada en los primeros dos años que realizar compra de una bomba diferente cada año. Para el proyecto se requiere una bomba centrífuga de alto caudal ya que se necesita una presión constante para asegurar estabilidad en el caudal de entrega a cada una de las mangueras de alimentación a los tubos de las camas. Como se tienen 70 camas de 8 tubos cada uno, se requiere un flujo total entre 560 y 1120 litros por minuto con una succión y una descarga entre 1 – 3 pulgadas. Igualmente teniendo en cuenta la altura media que tendría el sistema desde el tanque máxima de 20 metros, se necesitaría una bomba de alrededor de 2 - 3 Hp, lo cual conduce a una selección de una bomba PEDROLLO HFm 6B que cumple con las características técnicas requeridas entregando 290,6 gpm (1100 l/min) al sistema, lo que quedaría un caudal por tubo de 1.96 l/min con el sistema completo, siendo este una marca confiable, con muy buenas prestaciones y relativamente económica. La bomba tiene un costo de 3.415.000.

Se debe tener en cuenta que es necesario realizar el montaje de un tubo recirculante, el cual permite que el caudal sobrante de agua dependiendo del flujo deseado en los tubos de las camas, retorne nuevamente al tanque. Esto, especialmente en los primeros dos años, donde no estará instalado el total de las camas de producción del proyecto.

Como la bomba no trabaja continuamente, sino por ciclos para evitar la sobresaturación en las raíces y favorecer la oxigenación, se debe de realizar la compra de un temporizador o control de arranque de la bomba para realizar la programación de estos ciclos. Para ello, se requiere de un controlador digital, el cual se programe de la siguiente manera en el horario de 7:00 am a 6:00 pm, donde hay luz solar se programa por ciclos de tres minutos de trabajo por seis minutos de descanso y de 6:00 pm a 7:00 am realizar ciclos de cinco minutos por tres horas de descanso para hidratar la planta. Se cotiza un temporizador un con *re/ee* por 80.507 pesos.

El tanque madre, según el especialista consultado, para un cultivo menor a 3.000 plantas debe tener una capacidad de alrededor de 1.000 litros, por lo que para el proyecto se visualiza la compra de un tanque entre 11.000 y 12.000 litros. Teniendo en cuenta que, como ocurre con la bomba, es más pertinente realizar una única compra del tanque para la capacidad final del proyecto y no cambiar tanques en los primeros años, se debe de realizar la compra de un tanque mínimo de 12.000 litros. Los tanques de 12.000 no son comerciales, por lo cual se debe de comprar un tanque de 15.000 litros, el cual tiene un costo de 9.754.900. Igualmente, se debe de tener en cuenta el montaje de la tubería para la alimentación del agua al tanque desde la tubería del acueducto de la casa, la cual debe de venir con una llave de paso para mantener el nivel del agua requerido en el tanque.

Para el montaje del sistema hidráulico se tienen dos etapas de tuberías, mangueras, filtros y accesorios. La primera etapa es todo el montaje requerido desde el tanque, hacia la bomba y desde la bomba hacia las camas. Y una segunda fase que es el montaje requerido desde el final de las camas hacia el retorno a tanque.

En la primera etapa se requiere comprar tubería, accesorios y mangueras de alta presión por el trabajo de la bomba. Para este sistema se requiere:

- Tubería de alta presión en PVC de 2 pulgadas para el tramo entre la succión de la bomba y el tanque.
- Filtro para tubería de 2 pulgadas en la succión de la bomba para su protección de impurezas. Ideal que sea un filtro lavable, y para este montaje se requieren tres válvulas de bola en PVC para el mismo diámetro de

tubería y la instalación de una tubería *bypass* para el mantenimiento y limpieza del filtro. Filtro de Rotoplas por un costo de 79.700.

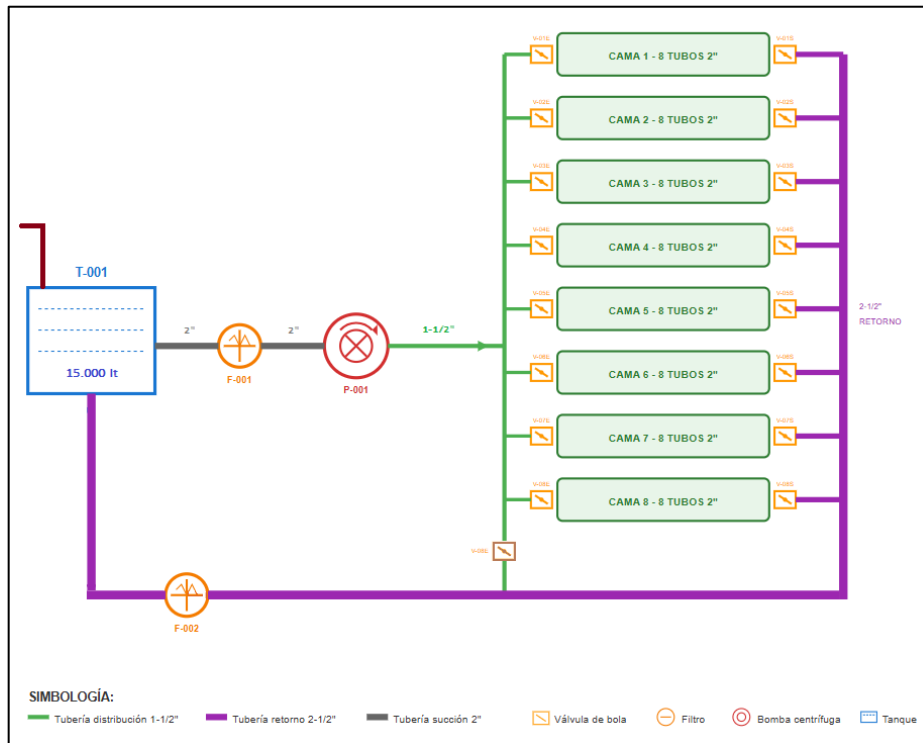
- Tubería de alta presión de 1-1/2 pulgadas de la descarga de la bomba hacia cada una de las camas de producción.
- Mangueras de 16 mm para la transición entre la tubería de 1-1/2 pulgadas y la derivación a cada una de las camas.
- Mangueras de alta presión de 4 mm (microtubos) para la descarga de la manguera de 16 mm a cada uno de los tubos de las camas.
- Válvulas de bola en PVC de 1-1/2 pulgada que debe de ir al ingreso de cada una de las camas, la cual es requerida para cerrar el flujo para realizar el mantenimiento y los lavados requeridos por cama.
- Accesorios en PVC para tuberías de alta presión de 1-1/2 pulgadas como codos, tee, tapones, entre otros.

En la segunda etapa igualmente se requiere la compra de tubería, mangueras y accesorios, pero de baja presión:

- Tubería de PVC de 2-1/2 pulgadas que recoge el agua de cada uno de los tubos para retornar nuevamente a tanque.
- Válvulas de bola en PVC de 2-1/2 pulgadas que debe de ir al final de la tubería de retorno de cada una de las camas, la cual es requerida para cerrar el flujo para realizar el mantenimiento y los lavados requeridos por cama. Antes de esta válvula se debe de poner un desvío con otra válvula para no descargar el agua de la limpieza de las camas al tanque.
- Filtro tipo rejilla a la descarga del tanque de fácil limpieza para atrapar la turba que pueda provenir del cultivo como raíces o terrones de arena.
- Manguera de 16 mm que van desde la descarga de los tubos de las camas a la tubería de retorno a tanque
- Accesorios en PVC para tuberías de 2-1/2 pulgadas para la descarga de las mangueras de las camas al retorno del tanque como codos, tee, tapones, entre otros.

Ilustración 13.

Esquema sistema hidráulico cultivo



Fuente: Creación propia a partir del estudio realizado.

Es importante considerar que en la descarga al tanque, la tubería debe de tener una altura mayor a los 30 centímetros para generar la oxigenación requerida en el agua (Castrillón Velásquez & Duque Hoyos, 2019).

7.3.3.1.3. Invernadero y centro de acopio

La infraestructura proyectada contempla la instalación de un invernadero tipo capilla a dos aguas, construido en estructura de guadua inmunizada con cimentación en concreto, lo cual proporciona una solución económica, sostenible y resistente a las condiciones climáticas del Oriente antioqueño. La cubierta será en polisombra reforzada y polietileno traslúcido resistente a rayos UV, lo que permitirá un manejo eficiente de la temperatura, la humedad relativa y la radiación solar. El diseño incluye ventilación natural cenital y lateral, sin requerimientos de ventiladores mecánicos, lo que facilita la renovación del aire y el control pasivo del microclima, reduciendo además el consumo energético.

Para calcular el costo del montaje de esta infraestructura se debe estimar el área requerida para el invernadero. Aquí es importante tener en cuenta su degradación en el tiempo y su devaluación, entendiendo que el montaje se realiza por fases en los primeros tres años de acuerdo con el área cultivable de cada año. En el cálculo del área requerida para el invernadero en cada una de las fases, se hace necesario respetar los siguientes espacios: pasillos técnicos de circulación entre las camas de 0,5 metros y los retiros de un metro.

Los cálculos para el montaje del invernadero por fases son los siguientes, en donde se encuentra que el año 3 se llega a copar el 98,3 por ciento de los 2.000 metros cuadrados disponibles para el cultivo con un área del invernadero de 1.966 metros cuadrados:

Tabla 34.

Cálculos para el área del invernadero

Descripción	Año 1	Año 2	Año 3	Unidad
Ancho de la cama	1,5	1,5	1,5	Metros
Largo de la cama	12	12	12	Metros
Distancia entre camas	0,5	0,5	0,5	Metros
Retiros en los extremos	1	1	1	Metro
Área cultivable total (m2)	432	864	1260	m2
Ancho total del invernadero	25,5	49,5	71,5	Metros
Largo total del invernadero	27,5	27,5	27,5	Metros
Área invernadero a construir por año	701	660	605	m2
Área total del invernadero	701	1361	1966	m2
Porcentaje cultivable	62%	63%	64%	Porcentaje

Fuente: Creación propia a partir del estudio realizado.

Para la cotización del invernadero se contacta a la firma Invernaderos SG que fabrican diferentes tipos de estas estructuras en el Oriente Antioqueño por un costo de 15.100.000 de pesos el del primer año, la extensión del segundo año 13.500.000 y la extensión del tercer año 12.200.000 a precio de hoy.

Entre los espacios destinados al cuarto de control o también llamado manejo de la solución nutritiva donde se instalarán el tanque, la bomba, los filtros, las válvulas de retorno y el sistema de monitoreo manual y para el punto de acopio postcosecha con superficie lavable, que permitirá realizar las labores de limpieza, clasificación, pesado, empaque y almacenamiento temporal de los productos, se requiere realizar una construcción civil de plancha de cemento y techo para cada una las zonas, el cual se

cotiza con maestro de obra de la zona. El espacio postcosecha contará con acceso vehicular para facilitar la carga, mesas de acero inoxidable, un sistema de drenaje adecuado y zonas diferenciadas para evitar la contaminación cruzada entre productos sucios y limpios. Para los dos primeros se prevé realizar la compra de una mesa de acero inoxidable con lavadero para el manejo de las lechugas postcosecha y para el tercer año realizar la compra de una segunda mesa; cada mesa tiene un costo de 2.150.000.

7.3.3.2. *Manejo de Plántulas, Nutrición y Parámetros de Cultivo*

La implementación eficiente de un cultivo hidropónico inicia con la selección adecuada de plántulas. En este proyecto se optará por la adquisición directa de plántulas desarrolladas en bandejas alveolares grandes, listas para el trasplante, lo que permite reducir significativamente los tiempos del ciclo productivo y minimizar las pérdidas por estrés o mortalidad en el proceso de adaptación. Esta estrategia evita la inversión en infraestructura de germinación propia, la cual tiene un costo considerable y facilita el enfoque exclusivo en la fase de producción.

Los proveedores especializados entregan plántulas con estándares fitosanitarios y morfológicos uniformes, cultivadas en sustratos inertes compatibles con sistemas NFT, como espuma fenólica o lana de roca. Estos materiales ofrecen una alta capacidad de retención de humedad, aireación y estabilidad estructural, fundamentales para garantizar el anclaje y el desarrollo inicial del sistema radicular. Una vez trasplantadas al sistema NFT, las plantas no requieren ningún tipo de sustrato adicional, ya que las raíces quedan suspendidas en el canal y reciben directamente el flujo continuo de la solución nutritiva. En Germioriente venden las plántulas de alveolo grande de un cubo de 128-140 para inserción directa en los orificios de los tubos de las camas sin ningún tipo de apoyo por un valor de 100 pesos por plántula.

La nutrición es, sin duda, uno de los pilares de los sistemas hidropónicos, ya que reemplaza el suelo por una solución nutritiva completa. Esta debe satisfacer todas las etapas del ciclo de la planta, pues la calidad, el equilibrio y el monitoreo continuo inciden directamente en el crecimiento, productividad y sanidad de los cultivos. En entornos sin tierra, cualquier deficiencia o exceso en los nutrientes disueltos se manifiesta rápidamente en la planta, lo que requiere un control técnico preciso de parámetros como el pH, la conductividad eléctrica y la oxigenación de la solución (Pennsylvania State University Extension, 2023).

Para facilitar la operación y garantizar estabilidad en la formulación de nutrientes, el presente proyecto utilizará soluciones hidropónicas preparadas. Estas mezclas son formuladas por proveedores especializados con base en los requerimientos nutricionales del cultivo de lechuga y ajustadas a las condiciones climáticas de la región. Esta decisión

estratégica minimiza errores de formulación y facilita la operación técnica del sistema. A continuación, se muestran los elementos esenciales que componen las soluciones nutritivas, los cuales se dividen en macroelementos y microelementos. Esta tabla fue elaborada a partir de la información recopilada del portal especializado Pennsylvania State University Extension (2023).

Tabla 35.

Tipos de nutrientes en cultivo hidropónico

Tipo de Nutriente	Elemento	Función principal en la planta
Macroelementos en el ambiente	C (Carbono)	Componente estructural de la materia orgánica
	O (Oxígeno)	Esencial para la respiración celular y la fotosíntesis
	H (Hidrógeno)	Participa en procesos bioquímicos y equilibrio hídrico
	N (Nitrógeno)	Formación de hojas, proteínas y clorofila
Macroelementos	P (Fósforo)	Desarrollo radicular y floración
	K (Potasio)	Regulación hídrica y resistencia a enfermedades
	Ca (Calcio)	Formación de paredes celulares, transporte de nutrientes
	Mg (Magnesio)	Componente de la clorofila, fotosíntesis
	S (Azufre)	Síntesis de aminoácidos y proteínas
Microelementos	Fe (Hierro)	Respiración y síntesis de clorofila
	Mn (Manganeso)	Activación enzimática, fotosíntesis
	Zn (Zinc)	Formación de hormonas y proteínas
	Cu (Cobre)	Regulación de procesos enzimáticos
	B (Boro)	Crecimiento de tejidos meristemáticos
	Mo (Molibdeno)	Asimilación del nitrógeno
	Cl (Cloro)	Fotosíntesis y osmorregulación
	Ni (Níquel)	Conversión del nitrógeno y activación de enzimas

Fuente: Creación propia a partir del estudio realizado.

El monitoreo de los parámetros fisicoquímicos de la solución nutritiva es clave en hidroponía, ya que determina la disponibilidad efectiva de nutrientes para las plantas. Dos variables esenciales por controlar son el pH y la electro-conductividad (EC). Un pH fuera de rango puede generar bloqueos en la absorción de elementos como hierro o fósforo, mientras que una EC inadecuada puede inducir deficiencias o toxicidades por exceso de sales.

En el marco de este proyecto, el monitoreo no será automatizado, sino que se realizará mediante la medición diaria con instrumentos manuales: un potenciómetro (medidor de pH) y un conductímetro (medidor de EC), operados por el personal capacitado en campo. Esta metodología, aunque manual, es efectiva y económica para el tamaño del sistema proyectado. Los rangos recomendados para el cultivo de lechuga según (AURA VERDE Hidroponía, 2023), son los siguientes:

- pH óptimo: entre 5.5 y 6.5, idealmente cercano a 6.0.
- Conductividad eléctrica (EC): entre 1.800 – 2.200 mS, idealmente cercano a los 2.000 por encima.

El registro y análisis de estos datos permitirá hacer ajustes en la formulación de la solución nutritiva y mantener condiciones óptimas para el desarrollo del cultivo. Un medidor de PH (PH metro o potenciómetro), conductividad eléctrica (conductímetro) y temperatura (termómetro), todo en uno tiene un costo de 1.047.188 pesos.

7.3.3.3. *Manejo y control de plagas*

El enfoque de este proyecto será la producción orgánica, por lo cual no se contempla el uso de pesticidas químicos convencionales. Se implementará un programa de manejo integrado de plagas e insectos (MIP) basado en estrategias preventivas, culturales y biológicas. Entre las prácticas que se adoptarán están:

- Monitoreo frecuente del estado sanitario del cultivo para detección temprana de plagas.
- Instalación de trampas cromáticas (amarillas y azules) para control y seguimiento de insectos voladores.
- Uso de extractos vegetales (como ajo, ají o neem) como repelentes naturales.
- Aplicación foliar por medio de un “cacorro” o bomba de fumigación de soluciones como vinagre con jabón Fab o azufre y calcio para insectos.
- Aplicación de polycal de acción preventiva y curativa para el control de hongos (antifúngico).
- Aplicación foliar por medio de un “cacorro” o bomba de fumigación de microkel Calcio – Boro y aminogib los cuales son unos fertilizantes líquidos orgánicos que ayudan a la sanidad y crecimiento de la planta.
- Control de malezas en el entorno del invernadero y eliminación de residuos vegetales que puedan convertirse en reservorios de plagas.

Estas acciones permitirán mantener niveles poblacionales de plagas por debajo del umbral económico de daño, garantizando la sanidad del cultivo, la inocuidad del producto final y la sostenibilidad ambiental del sistema.

7.3.4. Proceso productivo

El proceso productivo del sistema hidropónico proyectado está diseñado para garantizar un flujo continuo de producción con ciclos escalonados y una trazabilidad completa desde la adquisición de las plántulas hasta la entrega final al cliente. A continuación, se describen las etapas clave del flujo operativo:

1. Adquisición de plántulas: El proceso se inicia con la compra de plántulas en alveolo grande a proveedores especializados (plantuladeros). La recogida y el transporte se realizan directamente en las instalaciones del plantuladero por parte de personal del proyecto, desde donde son llevadas a la Finca Los Guadales. Al llegar, se revisa su calidad y cantidad, validando su estado fitosanitario. En caso de inconsistencias, se procede con la devolución y retroalimentación al proveedor para una mejora continua del proceso.
2. Trasplante y preparación del sistema: Una vez verificadas, las plántulas son trasplantadas manualmente en las camas de producción del sistema NFT directamente al tubo, tal como se explicó anteriormente. Posterior a la siembra, se inicia la preparación técnica del sistema abriendo la válvula de ingreso de agua a cada cama, prendiendo la bomba hidráulica y programándola con los ciclos de trabajo establecidos, los cuales garantizan una adecuada oxigenación del sistema radicular y eficiencia en el uso energético y teniendo en cuenta mantener el tanque lleno con el agua y la solución nutritiva requerida. Es importante considerar que mensualmente se debe de realizar la evacuación de toda el agua del tanque, realizar limpieza y desinfección del tanque, limpieza de los filtros del sistema y llenándolo nuevamente con agua y solución nutritiva.
3. Etapas de crecimiento vegetativo: Durante aproximadamente 45 días, las plantas desarrollan su biomasa foliar. En esta fase se realiza un monitoreo constante con equipos manuales como potenciómetro (pH), termómetro y conductímetro (EC), los cuales son operados por personal capacitado que registra diariamente los valores y realiza los ajustes necesarios en la solución nutritiva. Se mantiene también el control fitosanitario preventivo, inspeccionando visualmente la sanidad de las plantas y aplicando soluciones de extractos naturales para el control de

plagas e insectos. Esta fase también contempla el seguimiento de condiciones climáticas y del avance fenológico de las plantas.

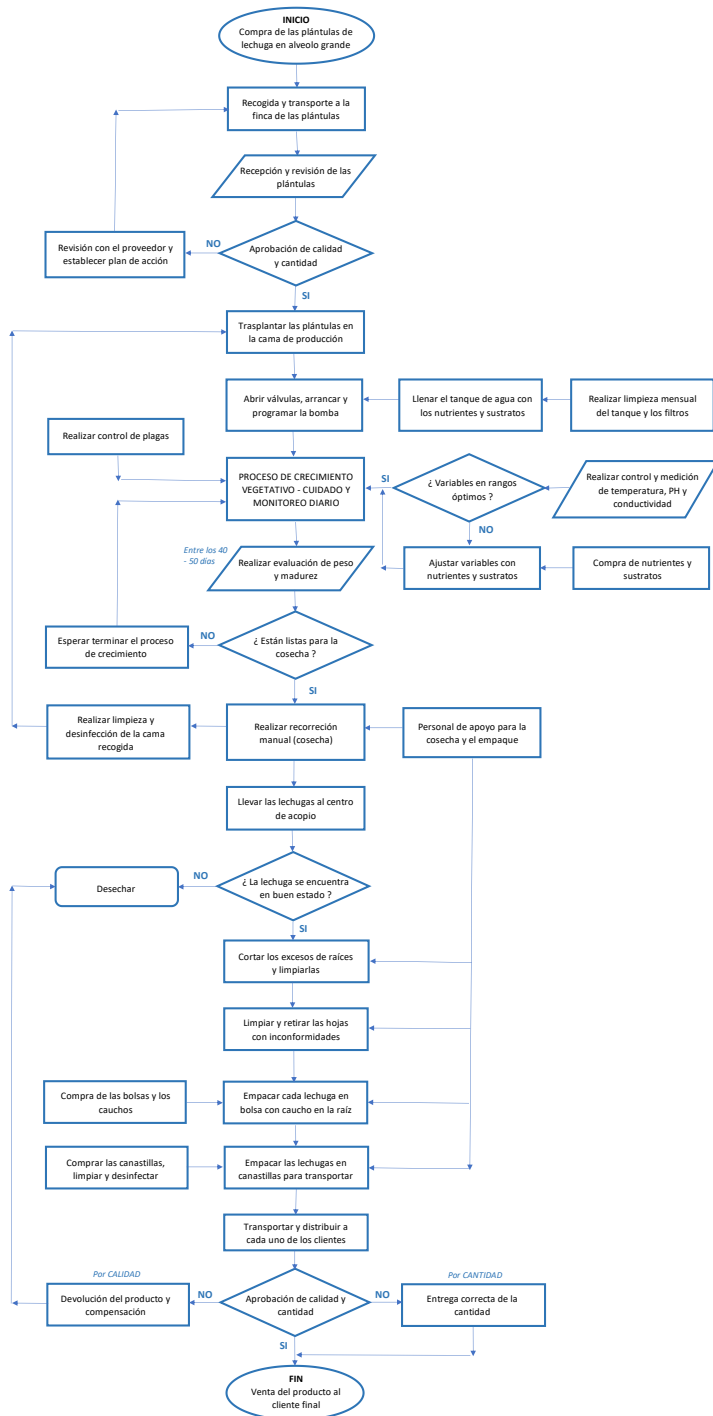
4. Cosecha y limpieza del sistema: Al alcanzar el tamaño y peso óptimos, se realiza la cosecha de las lechugas, las cuales se arrancan manualmente del tubo con su raíz completa teniendo especial cuidado de no dañar las hojas de la planta por lo cual se deben de coger desde el tallo. Para esta actividad también se contrata personal de apoyo. Posteriormente, se inicia la limpieza profunda de las camas de cultivo. Esta incluye el retiro de residuos de raíces, turba, algas y restos vegetales acumulados en los orificios de plantación. Luego se procede a desinfectar las tuberías y canales mediante una solución de hipoclorito de sodio y yodo, con el objetivo de eliminar patógenos y evitar la proliferación de hongos en el nuevo ciclo. Esta limpieza es fundamental para mantener condiciones sanitarias adecuadas en el sistema.
5. Postcosecha y empaque: Las lechugas cosechadas se trasladan al centro de acopio, donde comienza el proceso de selección y empaque. Primero, se eliminan manualmente las hojas externas dañadas o deterioradas (deshoje) y después se realiza el corte de los excesos de raíz. Luego se realiza el empaque en bolsas capuchonas y se protegen las raíces en bolsas hidratadoras con un poco de agua selladas con caucho, asegurando frescura prolongada durante el transporte y la entrega. Las canastillas en que se agrupan las unidades son previamente desinfectadas.
6. Distribución y entrega: Finalmente, las canastillas empacadas se trasladan directamente por el personal del proyecto hasta las instalaciones del cliente final, cumpliendo con las condiciones higiénicas establecidas. Se registra la entrega para efectos de trazabilidad y seguimiento postventa, y si se tiene algún problema de calidad o cantidad se realiza la compensación adecuada al cliente. Por canastilla caben alrededor de 20 lechugas ya empacadas (Castrillón Velásquez & Duque Hoyos, 2019) y el costo de estas es de 18.624 pesos.

Cada una de estas etapas está diseñada para mantener la calidad del producto final y asegurar un flujo operativo eficiente. Esta metodología permitirá mantener una entrega constante de tres veces por semana al cliente, ajustándose a la demanda y garantizando regularidad en la oferta. Con esto se crea el cronograma de siembra y cosecha de cada uno de los ciclos, donde se estipula que los días de siembra serán los martes, jueves y sábados de cada mes (en la mañana se lavan las camas y en la tarde se siembra) y los días de cosecha serían los lunes, miércoles y viernes (en la mañana se recoge y en la tarde se empaca y se transporta). En los anexos se encuentra el plan de producción de los primeros cuatro años del proyecto.

A continuación, se presenta el flujograma detallado del proceso productivo:

Ilustración 14.

Flujograma del proceso



Fuente: Creación propia a partir del estudio realizado.

7.3.5. Inversiones, costos y gastos

Para determinar la viabilidad económica del proyecto de cultivo hidropónico en la Finca Los Guadales, es indispensable conocer los requerimientos financieros que implica su puesta en marcha y operación. Este apartado detalla, en primer lugar, la inversión inicial necesaria para la implementación del sistema productivo, seguido por los costos fijos y variables que sostendrán el funcionamiento del cultivo a lo largo del tiempo. Finalmente, se presenta una proyección de la capacidad instalada de producción para estimar la oferta anual esperada. Estos insumos son fundamentales para el desarrollo del análisis financiero posterior.

7.3.5.1. *Inversiones iniciales requeridas*

La inversión inicial contempla todos aquellos elementos necesarios para la puesta en marcha del proyecto, incluyendo la infraestructura, el sistema técnico de producción, herramientas e insumos básicos. No se contemplan costos asociados al terreno, ya que este corresponde a un predio de propiedad de los promotores del proyecto, lo que representa una ventaja significativa al reducir la carga de inversión fija.

La construcción del invernadero será contratada con la firma especializada Invernaderos SG, responsable de la instalación del sistema tipo capilla a dos aguas con estructura en guadua y cubierta plástica, con base en las áreas previamente calculadas por año. A su vez, se han estimado los costos de las obras civiles necesarias, como la instalación de una loza en cemento y un techo, para el montaje del tanque y la bomba y la del centro de acopio, cuyo valor se proyecta en \$520.000 por metro cuadrado según cotización realizada con un maestro de obra de la zona. Este mismo profesional proporcionó estimaciones para la instalación de las redes de iluminación y agua desde la vivienda principal de la finca hasta la zona del proyecto.

La selección de las bombas, tuberías, canales NFT y tanque madre fue realizada con base en el estudio de los requerimientos técnicos y de tecnología del sistema, donde se dimensionaron los requerimientos hidráulicos, eléctricos y operativos del sistema.

Además, se ha incluido la compra de las canastillas plásticas, necesarias para el transporte de las lechugas cosechadas. Esta compra también se realizará en tres fases de acuerdo con la producción semanal de cada año establecidas anteriormente. Considerando que cada canastilla permite almacenar 20 lechugas, y que en el primer año por día de cosecha serían máximo dos camas que equivalen a 960 plantas se requerirían comprar 48 canastillas. Para el año 2 sería un máximo de tres camas por día de cosecha equivalente a una compra de 24 canastillas. Y para el año 3 en adelante

serían un máximo de cinco camas por día de cosecha equivalente a una compra de otras 48 canastillas.

Para el centro de acopio se ha contemplado la compra de una mesa de acero inoxidable de dos metros por 0,60 m con lavadero incorporado, con un valor aproximado de \$2.050.000 para los dos primeros años y la compra de una segunda mesa el tercer año, lo cual garantizará condiciones higiénicas adecuadas para el manejo postcosecha del producto. En los primeros dos años no se contempla la adecuación ni fabricación de oficinas para el proyecto únicamente la consecución de mobiliario para adecuar en la casa actual de la finca, ya para el tercer año se contempla la construcción de una pequeña oficina con un costo aproximado de \$30.000.000 de fabricación modular. Adicionalmente, se contemplan gastos de constitución de la empresa y certificación ICA requeridas como el Registro de Predio Productor (RPP), el cual tiene vigencia indefinida y el de Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) que tiene una vigencia de cada tres años.

A continuación, se presenta la tabla del desglose de todos los costos de inversión requeridos en cada uno de los años:

Tabla 36.

Costos de inversión año 1 del proyecto

INVERSIÓN AÑO 1				
Concepto	Cantidad	Unidad	Valor Unitario (COP)	Valor Total (COP)
Constitución de la empresa			\$ 4.287.690	\$ 4.287.690
Invernadero tipo capilla en guadua (701 m ²)	1	Und	\$ 15.100.000	\$ 15.100.000
Tubos de 2" para las camas	192	Tubos	\$ 49.000	\$ 9.408.000
Montaje de las camas (pintura alguicida, estructuras de apoyo, herramientas, accesorios...)	24	Camas	\$ 135.000	\$ 3.240.000
Bomba PEDROLLO HFm 6B	1	Und	\$ 3.415.000	\$ 3.415.000
Temporizador bomba	1	Und	\$ 80.507	\$ 80.507
Tanque madre de 15.000 L	1	Und	\$ 9.754.900	\$ 9.754.900
Obra civil para sistema de bombeo (tanque y bomba)	9,5	m2	\$ 520.000	\$ 4.940.000
Filtro Rotoplas succión bomba 2"	1	Und	\$ 79.700	\$ 79.700
Tuberías, válvulas, mangueras y accesorios hidráulicos alta presión (2" y 1-1/2")			\$ 8.969.600	\$ 8.969.600
Medidor de PH, conductividad y temperatura	1	Und	\$ 1.047.188	\$ 1.047.188
Filtro rejilla descarga a tanque	1	Und	\$ 65.000	\$ 65.000
Tuberías, válvulas y accesorios hidráulicos baja presión (2-1/2") para el retorno			\$ 6.116.400	\$ 6.116.400
Mesa inoxidable para el centro de acopio con drenaje	1	Und	\$ 2.150.000	\$ 2.150.000
Obra civil para el acopio	12,5	m2	\$ 520.000	\$ 6.500.000
Instalaciones de luz y agua desde la finca hacia el cultivo			\$ 2.100.000	\$ 2.100.000
Canastillas para el transporte	48	Und	\$ 18.624	\$ 893.952
Herramientas y utensilios			\$ 1.500.000	\$ 1.500.000
Computadores e insumos	2	Und	\$ 1.029.900	\$ 2.059.800
Certificación ICA (RPP + BPA)			\$ 1.750.000	\$ 1.750.000
Mobiliario e insumo			\$ 8.000.000	\$ 8.000.000
Total inversión inicial estimada			\$ 91.457.737	\$ 91.457.737

Fuente: Creación propia a partir del estudio realizado.

Para el cálculo de los costos de las inversiones adicionales a realizar en el año 2 y el año 3, se evalúa cual es la inflación proyectada por los diferentes bancos y analistas económicos en el país con el fin de determinar los costos con valor a hoy a su valor futuro en los próximos años donde se realizarían las respectivas inversiones. El Banco de la República anticipa que la inflación convergerá al 3 por ciento a finales de 2026 (Presidencia de la República de Colombia, 2025).

Modelos globales como los de *Trading Economics* proyectan una inflación de aproximadamente 4 por ciento en 2026 y una tasa de 3,5 por ciento en 2027 (Trading Economics, 2025). De manera conservadora, en este trabajo se asume una inflación del 4 por ciento para 2026 y 7,64 por ciento acumulada entre hoy y 2027, conforme al comportamiento esperado del índice de precios. Esto muestra los siguientes costos de inversión en cada año, tal como se presenta en la Tabla 37.

Tabla 37.

Costos de reinversión año 2 del proyecto

INVERSIÓN AÑO 2 (Con inflación del 4%)				
Concepto	Cantidad	Unidad	Valor Unitario (COP)	Valor Total (COP)
Ampliación invernadero tipo capilla en guadua (660 m ²)	1	Und	\$ 14.040.000	\$ 14.040.000
Tubos de 2" para las camas	192	Tubos	\$ 50.960	\$ 9.784.320
Montaje de las camas (pintura alquicida, estructuras de apoyo, herramientas, accesorios...)	24	Camas	\$ 140.400	\$ 3.369.600
Tuberías, válvulas, mangueras y accesorios hidráulicos alta presión (1-1/2")			\$ 7.664.384	\$ 7.664.384
Tuberías, válvulas y accesorios hidráulicos baja presión (2-1/2") para el retorno			\$ 4.614.272	\$ 4.614.272
Canastillas para el transporte	24	Und	\$ 19.369	\$ 464.855
Herramientas y utensilios			\$ 800.000	\$ 800.000
Total inversión estimada año 2				\$ 40.737.431

Fuente: Creación propia a partir del estudio realizado.

Tabla 38.*Costos de reinversión año 3 del proyecto*

INVERSIÓN AÑO 3 (Con inflación acumulada del 7,64%)				
Concepto	Cantidad	Unidad	Valor Unitario (COP)	Valor Total (COP)
Ampliación invernadero tipo capilla en guadua (605 m ²)	1	Und	\$ 13.132.080	\$ 13.132.080
Tubos de 2" para las camas	176	Tubos	\$ 52.744	\$ 9.282.874
Montaje de las camas (pintura alquicida, estructuras de	22	Camas	\$ 145.314	\$ 3.196.908
Tuberías, válvulas, mangueras y accesorios hidráulicos alta presión (1-1/2")			\$ 7.758.691	\$ 7.758.691
Tuberías, válvulas y accesorios hidráulicos baja presión (2-1/2") para el retorno			\$ 4.173.849	\$ 4.173.849
Canastillas para el transporte	48	Und	\$ 20.047	\$ 962.250
Herramientas y utensilios			\$ 1.000.000	\$ 1.000.000
Mesa inoxidable para el centro de acopio con drenaje	1	Und	\$ 2.314.260	\$ 2.314.260
Re-certificación ICA (BPA)			\$ 1.500.000	\$ 1.500.000
Computadores	2	Und	\$ 1.108.584	\$ 2.217.169
Inmobiliario e insumos	2	Und	\$ 5.000.000	\$ 10.000.000
Construcción oficina			\$ 32.292.000	\$ 32.292.000
Total inversión estimada año 3			\$ 87.830.080	\$ 87.830.080

Fuente: Creación propia a partir del estudio realizado.

7.3.5.2. Costos y gastos operativos del proyecto

Los costos operativos corresponden a los gastos periódicos que aseguran el funcionamiento continuo del sistema de cultivo. Estos se clasifican en dos grandes grupos: costos fijos y costos variables. Los primeros son aquellos que permanecen constantes, independientemente del nivel de producción, mientras que los variables fluctúan en función del volumen de actividad o número de ciclos productivos realizados.

Entre los costos fijos más representativos se encuentran los gastos administrativos del proyecto, entre ellos el salario mensual de los operarios encargados del manejo del sistema hidropónico, contratación de mano de obra para las labores de trasplante y cosecha, así como el pago por servicios públicos (energía eléctrica para el funcionamiento de la bomba y el sistema de monitoreo, y el agua requerida para el cultivo y para limpieza general), entre otros. También, se contemplan los costos por transporte hacia los puntos de entrega de los productos, y el mantenimiento preventivo de los equipos técnicos y del sistema hidráulico. Por su parte, los costos variables incluyen la adquisición periódica de plántulas en alveolo grande, solución nutritiva lista para su aplicación, empaques (bolsas capuchonas y bolsas hidratadoras), los productos de limpieza y desinfección del sistema entre ciclos productivos y los productos requeridos para el control de plagas y fertilización.

Para el cálculo de los costos variables, por unidad de lechuga, se tuvo en cuenta la forma escalonada con la que se calculó el proyecto obteniendo el total de camas producidas en cada uno de los años (en el primer año 167 camas producidas, en el segundo 363, el tercero 536 y del cuarto en adelante 559). Se cotizaron las plántulas en Germioriente que queda cerca de la finca y hacen servicio a domicilio y las bolsas, capuchones y cauchos para el empaque con Mi Mundo Hidropónico. Para los costos de las soluciones nutritivas ya mezcladas, las soluciones de corrección de PH y las soluciones para el control de plaga, se estimaron los valores con apoyo del agrónomo experto en hidroponía Junior Gómez ajustado de acuerdo con la cantidad necesaria por cama producida. La energía se calculó como un costo fijo ya que como en los primeros años la bomba está sobredimensionada sería un error manejarlo como una variable. Dependiendo de la producción se calcula el consumo de energía de una bomba de 2HP trabajando en los ciclos establecidos y el consumo de unos dos bombillos, lo que daría un consumo mensual de 180 kWh/mes. Igualmente, el agua se debe considerar una parte como costo fijo, el cual sería el consumo mensual del llenado del tanque dependiendo de la capacidad de cada año y el agua requerida para la limpieza del tanque. Y como costo variable, el consumo de agua para la limpieza de las camas, el lavado de las lechugas postcosecha y la reposición diaria por evaporación y absorción del sistema.

Tabla 39.

Consumo variable de agua por cama

Uso del Agua Variable	Frecuencia	Consumo estimado por cama	Total ciclo estimado
Reposición por evaporación y absorción	Diario	20 litros/día aprox.	0,9 m ³
Limpieza de cama entre cosechas	1 por ciclo	800 litros por ama	0,8 m ³
Lavado de lechugas en postcosecha	1 por ciclo	500 litros por cosecha	0,5 m ³
Total estimado de agua por cama:			2,2 m³/mes

Fuente: Creación propia a partir del estudio realizado.

Para estimar el consumo de fungicida, hipoclorito de sodio y abono foliar (Microkel o Kelic) en una cama de cultivo hidropónico de lechuga cressa con 480 plantas, se partió del volumen de aplicación por planta y la frecuencia recomendada para cada producto durante un ciclo de cultivo. En el caso del fungicida, se consideró una dosis de 2 mL por litro de agua y un volumen de 75 mL por planta, con cuatro aplicaciones por ciclo, lo que permitió calcular el volumen total de solución y la cantidad de producto necesaria por cama en cada aplicación y al finalizar el ciclo.

Para el hipoclorito de sodio, utilizado en la desinfección de las camas entre cosechas, se estimó el volumen interno de los tubos de cultivo en cada cama (8 tubos de 2" por 12 metros) y se aplicó una dilución al 1por ciento, equivalente a 10 mL por litro de agua, realizándose 8 lavadas al mes. Finalmente, para el abono foliar, se tomó una

dosis de 0,8 mL/L con un volumen de 70 mL de solución por planta y una frecuencia de seis aplicaciones por ciclo. A partir de estos parámetros, se calculó el consumo por aplicación, por ciclo y su estimado mensual, permitiendo proyectar el abastecimiento necesario por cama de cultivo.

El siguiente es el cálculo de los costos variables del proyecto para calcular el costo unitario de producción de las lechugas:

Tabla 40.

Cálculo de los costos variables

Detalle	Cantidad/ Duración	Unidad	Costo Unitario (COP)	Costo por Ciclo (COP)	Costo variable por lechuga (COP)
Consumo de agua	2,2	m ³ /ciclo	\$ 3.000	\$ 6.600	\$ 13,8
Compra de plántulas + domicilio	480	Und/ciclo	\$ 150	\$ 72.000	\$ 150,0
Mezclas preparadas de solución nutritiva	2	Ciclo	\$ 155.000	\$ 77.500	\$ 161,5
Solución de control de PH y conductividad	4	Ciclo	\$ 50.000	\$ 12.500	\$ 26,0
Bolsas y cauchos de empaque x100	5	Kits/ciclo	\$ 14.765	\$ 73.825	\$ 147,7
Hipoclorito de sodio y jabones potásicos para las limpiezas	388	mL/ciclo	\$ 53.000	\$ 26.500	\$ 6,9
Abono foliar (microkel y/o aminogb)	161	mL/ciclo	\$ 1.169.200	\$ 58.460	\$ 15,2
Control de plagas e insectos (polycan, fab y vinagre)	288	mL/ciclo	\$ 609.402	\$ 40.627	\$ 10,6
Total costo unitario variable:					\$ 532

Fuente: Creación propia a partir del estudio realizado.

Adicional a los costos variables que dependen de la cantidad de lechuga producida, y los costos fijos anteriormente mencionados del consumo de luz y agua, se tienen los costos operacionales mensuales, donde los más representativos son el costo del transporte desde la finca hacia el cliente final, los gastos administrativos, los gastos de mantenimiento, los costos de nómina, la compra de un seguro agrícola y el costo de la estrategia de marketing y ventas. En la siguiente tabla se muestra el detalle de los costos operativos y administrativos del proyecto en cada uno de los tres primeros años, excluyendo los costos de transporte y de nómina que al ser costos tan considerables en el proyecto se evaluarán cada uno por aparte.

Tabla 41.*Cálculo de los costos fijos operacionales y administrativos año 1, 2 y 3*

COSTOS FIJOS OPERACIONALES Y ADMINISTRATIVOS AÑO 1				
Detalle	Cantidad	Unidad	Costo mensual	Costo anual
Consumo de energía	180	kWh/mes	\$ 306.000	\$ 3.672.000
Consumo de agua (llenado y lavado tanque)	8	m ³ /mes	\$ 24.000	\$ 288.000
Mantenimiento de equipos e instalaciones	1	Mensual	\$ 350.000	\$ 4.200.000
Red de internet en el proyecto	1	Mensual	\$ 95.000	\$ 1.140.000
Papelería y suministros	1	Mensual	\$ 80.000	\$ 960.000
Capacitación y formación del personal	1	Anual		\$ 1.500.000
Gastos legales	1	Anual		\$ 1.800.000
Sistema de facturación electrónica	1	Anual		\$ 3.600.000
Seguro agrícola	1	Anual		\$ 1.947.872
Herramientas Office 365	1	Anual		\$ 1.800.000
Estrategias de marketing y ventas	1	Mensual	\$ 250.000	\$ 3.000.000
			Total costo anual:	\$ 23.907.872

COSTOS FIJOS OPERACIONALES Y ADMINISTRATIVOS AÑO 2				
Detalle	Cantidad	Unidad	Costo mensual	Costo anual
Consumo de energía	190	kWh/mes	\$ 335.920	\$ 4.031.040
Consumo de agua (llenado y lavado tanque)	15	m ³ /mes	\$ 46.800	\$ 561.600
Mantenimiento de equipos e instalaciones	1	Mensual	\$ 416.000	\$ 4.992.000
Red de internet en el proyecto	1	Mensual	\$ 98.800	\$ 1.185.600
Papelería y suministros	1	Mensual	\$ 104.000	\$ 1.248.000
Gastos legales	1	Anual		\$ 1.976.000
Sistema de facturación electrónica	1	Anual		\$ 3.744.000
Seguro agrícola	1	Anual		\$ 3.200.528
Herramientas Office 365	1	Anual		\$ 1.872.000
Estrategias de marketing y ventas	1	Mensual	\$ 260.000	\$ 3.120.000
			Total costo anual:	\$ 22.810.768

COSTOS FIJOS OPERACIONALES Y ADMINISTRATIVOS AÑO 3 EN ADELANTE				
Detalle	Cantidad	Unidad	Costo mensual	Costo anual
Consumo de energía	200	kWh/mes	\$ 365.976	\$ 4.391.712
Consumo de agua (llenado y lavado tanque)	23	m ³ /mes	\$ 74.272	\$ 891.259
Mantenimiento de equipos e instalaciones	1	Mensual	\$ 484.380	\$ 5.812.560
Red de internet en el proyecto	1	Mensual	\$ 106.348	\$ 1.276.180
Papelera y suministros	1	Mensual	\$ 145.314	\$ 1.743.768
Gastos legales	1	Anual		\$ 2.152.800
Sistema de facturación electrónica	1	Anual		\$ 3.875.040
Seguro agrícola	1	Anual		\$ 5.481.440
Herramientas Office 365	1	Anual		\$ 1.937.520
Estrategias de marketing y ventas	1	Mensual	\$ 279.864	\$ 3.358.368
			Total costo anual:	\$ 27.562.279

Fuente: Creación propia a partir del estudio realizado.

Para determinar el costo de transporte del proyecto de cultivo hidropónico de lechuga crespa, se estimó el valor teniendo en cuenta la ubicación de la finca en el municipio de San Vicente Ferrer y el destino de los productos en Medellín y otros municipios del Valle de Aburrá, y se decidió que este servicio sería tercerizado. Se estableció una frecuencia de tres entregas semanales, agrupando todos los pedidos del día en una sola ruta, lo que representa 156 entregas al año.

El cálculo parte de una distancia promedio de 120 kilómetros por entrega (ida y vuelta), utilizando un vehículo tipo furgón refrigerado adecuado para productos hortícolas frescos. Se tomó como base un costo promedio de \$2.800 COP por kilómetro recorrido, el cual incluye gastos de combustible, mantenimiento, peajes y el pago del conductor. Este valor fue establecido con base en tarifas logísticas promedio del transporte intermunicipal de alimentos perecederos en el departamento, según consultas realizadas en la plaza del municipio. Con este valor, el costo por entrega en el primer año es de \$336.000 COP, que multiplicado por 156 entregas da un costo total anual de \$52.416.000 COP.

A medida que el proyecto incrementa su producción, también se proyecta una mayor dispersión de los clientes, lo cual genera un aumento en la distancia recorrida por entrega. En el segundo año se estimó un aumento del 20 por ciento en el trayecto (144 km por entrega), y un mayor costo por kilómetro al requerir un carro de mayor capacidad, con un costo de \$504.000 COP por viaje, lo que eleva el costo anual a \$78.624.000 COP. En el tercer año y siguientes, se proyecta un aumento del 30 por ciento sobre la distancia original (187 km por entrega), llevando el costo anual a \$94.248.000 COP.

Finalmente, se validó la capacidad de carga del vehículo a partir del año 2, considerando que para el tercer año se transportarán hasta 5.160 lechugas por semana,

distribuidas en tres entregas de aproximadamente 1.720 lechugas por viaje. Estas se embalan en las canastillas de 20 lechugas cada una, lo que equivale a 86 canastillas por entrega, con un volumen total de aproximadamente 5,2 m³, perfectamente manejables en un furgón refrigerado de 6 a 8 m³ de capacidad. Con esto, se garantiza la eficiencia y viabilidad del transporte durante el crecimiento del proyecto.

Tabla 42.

Cálculo de los costos de transporte por año

Descripción	Año 1	Año 2	Año 3 en adelante
Costos transporte entrega clientes	\$ 52.416.000	\$ 78.624.000	\$ 90.720.000

Fuente: Creación propia a partir del estudio realizado.

La planificación de la nómina del proyecto ha sido estructurada de acuerdo con los requerimientos técnicos del cultivo, la normativa laboral colombiana y criterios de sostenibilidad financiera. Durante los diferentes años de operación se contará con un equipo base conformado por un gerente general que hará las funciones del director técnico y de producción durante los primeros años mientras la estabilización de la empresa. En el cuarto año se realizará la contratación de un nuevo director técnico y de producción, un director comercial y de marketing que adicionalmente apoyará el tema contable y administrativo de la compañía durante los primeros tres años. De la misma manera, en el cuarto año se contrataría un auxiliar comercial para apoyar en estas funciones, operadores de producción y auxiliares de cosecha, quienes varían en su cantidad en los primeros tres años de acuerdo con el crecimiento de la capacidad instalada del proyecto.

La vinculación del personal directivo y operativo se realizará mediante contratos a término indefinido, mientras que los auxiliares de cosecha serán contratados bajo la modalidad de término fijo parcial, dado que su actividad es constante, pero por jornadas específicas dentro del mes. De esta manera, se permite un modelo flexible y ajustado a la dinámica estacional del cultivo, como se explicó en el estudio administrativo.

Para el cálculo de los costos mensuales y anuales se consideraron todos los componentes obligatorios establecidos por la legislación colombiana en materia de seguridad social, prestaciones sociales y parafiscales. A los salarios base se les adicionaron cesantías (8.33%), intereses sobre cesantías (1%), primas de servicios (8.33%), vacaciones (4.17%), aportes a pensión (12%) y salud (8.5%), haciendo la provisión por ley mensual de cada uno de estos rubros. También se incorporó el aporte correspondiente al Sistema de Riesgos Laborales, teniendo en cuenta que las actividades agropecuarias están catalogadas como Riesgo II, lo que equivale a un aporte

del 1.044 por ciento sobre el salario base. En cuanto a los parafiscales, se aplicó únicamente el aporte correspondiente a la Caja de Compensación Familiar (4 %), ya que la empresa no está obligada a realizar aportes al ICBF ni al SENA. Esta exoneración se fundamenta en que no se supera el umbral de diez salarios mínimos mensuales legales vigentes, tal como lo establece el artículo 114-1 del Estatuto Tributario (República de Colombia, 2016), que exonera a sociedades y personas jurídicas de los aportes al ICBF y SENA cuando los empleados devengan menos de diez SMMLV (Sinergy & Lowells, 2025).

Durante los periodos de vacaciones anuales de los operadores y auxiliares de cosecha, se ha previsto la contratación de un supernumerario por término fijo que asumirá temporalmente sus funciones, garantizando la continuidad de las actividades operativas sin afectar la productividad del cultivo. Este relevo está incluido dentro de los cálculos globales del presupuesto de personal.

Los salarios del personal fueron proyectados considerando las tendencias históricas del crecimiento del salario mínimo legal vigente en Colombia. A partir de un salario base estimado para 2025, se aplicaron ajustes anuales del 8.5 por ciento para 2026, 8.0 por ciento para 2027 y 7.5 por ciento para 2028, porcentajes calculados con base en los incrementos recientes decretados por el gobierno nacional. Este crecimiento fue aplicado de manera homogénea a todos los cargos, incluyendo el valor por día trabajado de los auxiliares de cosecha.

El resultado de estos cálculos muestra que, en el primer año, el costo mensual total en nómina asciende a \$18.430.043, lo que representa un costo anual de \$195.883.963. En el segundo año, debido al incremento salarial y a la incorporación de un segundo auxiliar de cosecha, el costo mensual se eleva a \$22.532.159, alcanzando un total anual de \$240.467.649. Para el tercer año, con la incorporación de un segundo operador de producción y la reorganización interna, donde se dividió el cargo originalmente ocupado por el “Gerente general y director técnico y de producción”, lo que permite especializar funciones y fortalecer el control operativo y estratégico. Asimismo, se contrató un auxiliar comercial para apoyar al director comercial y de marketing en tareas de campo, atención a clientes y gestión logística. Esta ampliación del equipo junto con el ajuste salarial proyectado generó un costo mensual total de \$39.536.898. y un valor anual de \$447.402.538. En el cuarto año, se incorporó un tercer auxiliar de cosecha fortaleciendo los tiempos de recolección y empaquetado, para lo que adicional al aumento salarial del año, se generó un costo mensual total de \$43.876.813 y un valor anual de \$492.228.708.

Estos valores consolidados se presentan en la siguiente tabla, donde se evidencian claramente las tendencias de crecimiento de los costos laborales del proyecto:

Tabla 43.

Cálculo de los costos de nómina por año

Cantidad Año 1	Cargo	Tipo de Contrato	Salario Base	Auxilio Transp.	Prestaciones Sociales							Parafiscales			Total Mensual	Total Anual
					Cesantías	Int. Ces.	Primas	Vacaciones	Pensiones	Salud	ARL (Riesgo II)	CCF	ICBF	SENA		
					8,33%	1,00%	8,33%	4,17%	12,00%	8,50%	1,04%	4,00%	0,00%	0,00%		
1	Gerente General - Director técnico y producción	Indefinido	\$ 4.500.000	N/A	\$ 374.850	\$ 45.000	\$ 374.850	\$ 187.650	\$ 540.000	\$ 382.500	\$ 46.980	\$ 180.000	\$ 0	\$ 0	\$ 6.631.830	\$ 79.581.960
1	Director comercial y marketing	Indefinido	\$ 4.000.000	N/A	\$ 333.200	\$ 40.000	\$ 333.200	\$ 166.800	\$ 480.000	\$ 340.000	\$ 41.760	\$ 160.000	\$ 0	\$ 0	\$ 5.894.960	\$ 70.739.520
1	Operador de producción	Indefinido	\$ 1.450.000	\$ 200.000	\$ 120.785	\$ 14.500	\$ 120.785	\$ 60.465	\$ 174.000	\$ 123.250	\$ 15.138	\$ 58.000	\$ 0	\$ 0	\$ 2.338.923	\$ 28.043.076
1	Auxiliar de cosecha	Termino fijo parcial	\$ 725.000	\$ 200.000	\$ 60.393	\$ 7.250	\$ 60.393	\$ 30.233	\$ 87.000	\$ 61.625	\$ 7.569	\$ 29.000	\$ 0	\$ 0	\$ 1.268.462	\$ 15.221.538
1	Supernumario (vacaciones operador y auxiliar)	Termino fijo 1 mes	\$ 1.423.500	\$ 200.000	\$ 118.578	\$ 14.235	\$ 118.578	\$ 59.360	\$ 170.820	\$ 120.998	\$ 14.861	\$ 56.940	\$ 0	\$ 0	\$ 2.297.869	\$ 2.297.869
TOTAL:															\$ 195.883.963	

Cantidad Año 2	Cargo	Tipo de Contrato	Salario Base	Auxilio Transp.	Prestaciones Sociales							Parafiscales			Total Mensual	Total Anual
					Cesantías	Int. Ces.	Primas	Vacaciones	Pensiones	Salud	ARL (Riesgo II)	CCF	ICBF	SENA		
					8,33%	1,00%	8,33%	4,17%	12,00%	8,50%	1,04%	4,00%	0,00%	0,00%		
1	Gerente General - Director técnico y producción	Indefinido	\$ 4.882.500	N/A	\$ 406.712	\$ 48.825	\$ 406.712	\$ 203.600	\$ 585.900	\$ 415.013	\$ 50.973	\$ 195.300	\$ 0	\$ 0	\$ 7.195.536	\$ 86.346.427
1	Director comercial y marketing	Indefinido	\$ 4.340.000	N/A	\$ 361.522	\$ 43.400	\$ 361.522	\$ 180.978	\$ 520.800	\$ 368.900	\$ 45.310	\$ 173.600	\$ 0	\$ 0	\$ 6.396.032	\$ 76.752.379
2	Operador de producción	Indefinido	\$ 1.573.250	\$ 217.000	\$ 131.052	\$ 15.733	\$ 131.052	\$ 65.605	\$ 188.790	\$ 133.726	\$ 16.425	\$ 62.930	\$ 0	\$ 0	\$ 2.535.561	\$ 60.853.475
1	Auxiliar de cosecha	Termino fijo parcial	\$ 786.625	\$ 217.000	\$ 65.526	\$ 7.866	\$ 65.526	\$ 32.802	\$ 94.395	\$ 66.863	\$ 8.212	\$ 31.465	\$ 0	\$ 0	\$ 1.376.281	\$ 16.515.369
1	Supernumario (vacaciones operador y auxiliar)	Termino fijo 1 mes y medio	\$ 1.544.498	\$ 217.000	\$ 128.657	\$ 15.445	\$ 128.657	\$ 64.406	\$ 185.340	\$ 131.282	\$ 16.125	\$ 61.780	\$ 0	\$ 0	\$ 2.493.188	\$ 3.739.782
TOTAL:															\$ 240.467.649	

Cantidad Año 3	Cargo	Tipo de Contrato	Salario Base	Auxilio Transp.	Prestaciones Sociales							Parafiscales			Total Mensual	Total Anual
					Cesantías	Int. Ces.	Primas	Vacaciones	Pensiones	Salud	ARL (Riesgo II)	CCF	ICBF	SENA		
					8,33%	1,00%	8,33%	4,17%	12,00%	8,50%	1,04%	4,00%	0,00%	0,00%		
1	Gerente General	Indefinido	\$ 7.030.800	N/A	\$ 585.666	\$ 70.308	\$ 585.666	\$ 293.184	\$ 843.696	\$ 597.618	\$ 73.402	\$ 281.232	\$ 0	\$ 0	\$ 10.361.571	\$ 124.338.854
1	Director técnico y producción	Indefinido	\$ 5.273.100	N/A	\$ 439.249	\$ 52.731	\$ 439.249	\$ 219.888	\$ 632.772	\$ 448.214	\$ 55.051	\$ 210.924	\$ 0	\$ 0	\$ 7.771.178	\$ 93.254.141
1	Director comercial y marketing	Indefinido	\$ 4.687.200	N/A	\$ 390.444	\$ 46.872	\$ 390.444	\$ 195.456	\$ 562.464	\$ 398.412	\$ 48.934	\$ 187.488	\$ 0	\$ 0	\$ 6.907.714	\$ 82.892.570
1	Auxiliar comercial	Indefinido	\$ 2.109.240	\$ 234.360	\$ 175.700	\$ 21.092	\$ 175.700	\$ 87.955	\$ 253.109	\$ 179.285	\$ 22.020	\$ 84.370	\$ 0	\$ 0	\$ 3.342.831	\$ 40.113.976
2	Operador de producción	Indefinido	\$ 1.699.110	\$ 234.360	\$ 141.536	\$ 16.991	\$ 141.536	\$ 70.853	\$ 203.893	\$ 144.424	\$ 17.739	\$ 67.964	\$ 0	\$ 0	\$ 2.738.406	\$ 65.721.753
2	Auxiliar de cosecha	Termino fijo parcial	\$ 849.555	\$ 234.360	\$ 70.768	\$ 8.496	\$ 70.768	\$ 35.426	\$ 101.947	\$ 72.212	\$ 8.869	\$ 33.982	\$ 0	\$ 0	\$ 1.486.383	\$ 35.673.196
1	Supernumario (vacaciones operador y auxiliar)	Termino fijo 2 meses	\$ 1.675.780	\$ 234.360	\$ 139.592	\$ 16.758	\$ 139.592	\$ 69.880	\$ 201.094	\$ 142.441	\$ 17.495	\$ 67.031	\$ 0	\$ 0	\$ 2.704.024	\$ 5.408.047
TOTAL:															\$ 447.402.538	

Cantidad Año 4 en adelante	Cargo	Tipo de Contrato	Salario Base	Auxilio Transp.	Prestaciones Sociales							Parafiscales			Total Mensual	Total Anual
					Cesantías	Int. Ces.	Primas	Vacaciones	Pensiones	Salud	ARL (Riesgo II)	CCF	ICBF	SENA		
					8,33%	1,00%	8,33%	4,17%	12,00%	8,50%	1,04%	4,00%	0,00%	0,00%		
1	Gerente General	Indefinido	\$ 7.558.110	N/A	\$ 629.591	\$ 75.581	\$ 629.591	\$ 315.173	\$ 906.973	\$ 642.439	\$ 78.907	\$ 302.324	\$ 0	\$ 0	\$ 11.138.689	\$ 133.664.268
1	Director técnico y producción	Indefinido	\$ 5.668.583	N/A	\$ 472.193	\$ 56.686	\$ 472.193	\$ 236.380	\$ 680.230	\$ 481.830	\$ 59.180	\$ 226.743	\$ 0	\$ 0	\$ 8.354.017	\$ 100.248.201
1	Director comercial y marketing	Indefinido	\$ 5.038.740	N/A	\$ 419.727	\$ 50.387	\$ 419.727	\$ 210.115	\$ 604.649	\$ 428.293	\$ 52.604	\$ 201.550	\$ 0	\$ 0	\$ 7.425.793	\$ 89.109.512
1	Auxiliar comercial	Indefinido	\$ 2.267.433	\$ 251.937	\$ 188.877	\$ 22.674	\$ 188.877	\$ 94.552	\$ 272.092	\$ 192.732	\$ 23.672	\$ 90.697	\$ 0	\$ 0	\$ 3.593.544	\$ 43.122.525
2	Operador de producción	Indefinido	\$ 1.826.543	\$ 251.937	\$ 152.151	\$ 16.991	\$ 141.536	\$ 70.853	\$ 203.893	\$ 144.424	\$ 17.739	\$ 67.964	\$ 0	\$ 0	\$ 2.894.032	\$ 69.456.763
3	Auxiliar de cosecha	Termino fijo parcial	\$ 913.272	\$ 251.937	\$ 76.076	\$ 8.496	\$ 70.768	\$ 35.426	\$ 101.947	\$ 72.212	\$ 8.869	\$ 33.982	\$ 0	\$ 0	\$ 1.572.984	\$ 56.627.439
1	Supernumario (vacaciones operador y auxiliar)	Termino fijo 2 meses y medio	\$ 1.801.463	\$ 251.937	\$ 150.062	\$ 16.758	\$ 139.592	\$ 69.880	\$ 201.094	\$ 142.441	\$ 17.495	\$ 67.031	\$ 0	\$ 0	\$ 2.857.754	\$ 7.144.384
TOTAL:															\$ 492.228.708	

Fuente: Creación propia a partir del estudio realizado.

7.4. ESTUDIO ADMINISTRATIVO Y LEGAL

7.4.1. Componente Administrativo

El análisis administrativo representa un pilar fundamental en el estudio de prefactibilidad del proyecto hidropónico en la Finca Los Guadales. Este aparte aborda la definición de la estructura organizacional, los perfiles de cargo y los costos administrativos necesarios para garantizar la operación eficiente del emprendimiento. La correcta estructuración administrativa determina, no solo la viabilidad operativa del proyecto, sino también su capacidad para responder ágilmente a las demandas del mercado y los desafíos productivos propios de un sistema de cultivo tecnificado.

El presente análisis responde parcialmente al objetivo específico de "Definir la estructura administrativa y el marco legal necesario para la implementación del proyecto hidropónico sostenible", enfocándose en los aspectos organizacionales del emprendimiento. Se examina la forma societaria más adecuada, la estructura organizacional del proyecto, la definición de procesos operativos y los requerimientos de recursos humanos que permitirán la implementación exitosa del sistema hidropónico sostenible en San Vicente Ferrer, Antioquia.

7.4.1.1 Estructura Organizacional

La estructura organizacional del proyecto hidropónico en la Finca Los Guadales ha sido diseñada siguiendo un modelo de crecimiento escalonado que se adapta a las necesidades operativas y la capacidad financiera del proyecto en sus diferentes etapas de desarrollo.

Durante los primeros tres años de operación (Fase I), el proyecto adoptará una estructura organizacional compacta y multifuncional, donde la eficiencia operativa y el control de costos administrativos son prioritarios. En esta etapa inicial, la Gerencia General asumirá simultáneamente las funciones de la Dirección Técnica y de Producción, aprovechando el perfil del gerente-propietario, quien cuenta con formación técnica y experiencia en gestión de proyectos agrícolas.

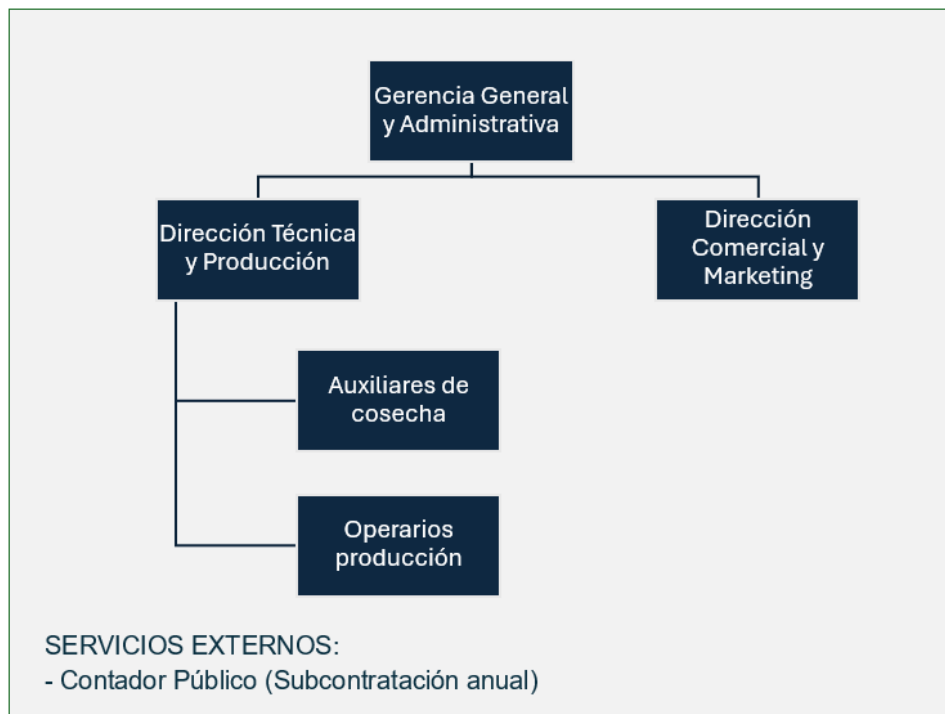
Esta decisión estratégica le permite al proyecto reducir significativamente los costos fijos durante el período crítico de consolidación comercial y recuperación de la inversión inicial. El Director Comercial y de Marketing operará de manera independiente, enfocándose exclusivamente en el desarrollo del mercado objetivo y la construcción de relaciones comerciales sólidas con el segmento gastronómico premium identificado.

El personal operativo estará conformado por auxiliares de cosecha y operadores de producción, cuyo número variará de acuerdo con las necesidades específicas de producción establecidas por el sistema de ciclos escalonados del cultivo hidropónico. Este equipo ejecutará las labores técnicas bajo la supervisión directa de la Dirección Técnica, permitiendo ajustes en la dotación de personal, según los requerimientos operativos del proyecto y la optimización de recursos humanos conforme se consolide la operación. Los servicios contables serán provistos mediante subcontratación anual con un contador público independiente, optimizando costos sin comprometer el cumplimiento de obligaciones tributarias y laborales.

A partir del cuarto año (Fase II), cuando el proyecto haya alcanzado estabilidad operativa y financiera, se implementará una diferenciación de funciones gerenciales. Se contratará un director técnico y de producción independiente, liberando al Gerente General para concentrarse en la planificación estratégica, el desarrollo de nuevos mercados y la exploración de oportunidades de crecimiento. Simultáneamente, se incorporará un auxiliar de apoyo para el área comercial, respondiendo al incremento en el volumen de clientes y la complejidad de las operaciones de marketing.

Ilustración 15.

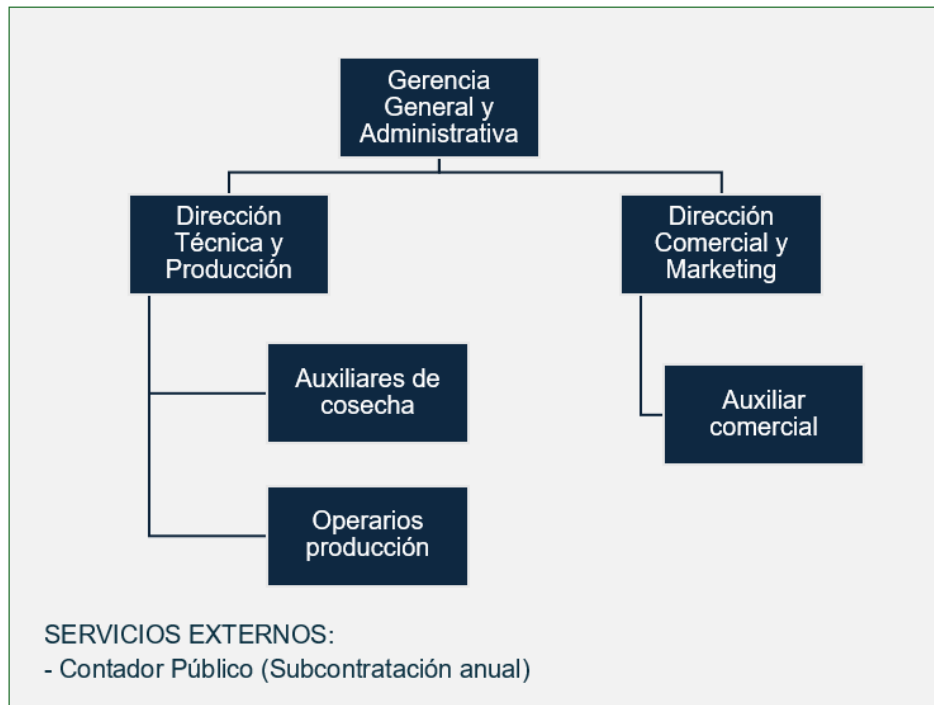
Estructura organizacional Fase I



Fuente: Creación propia a partir del estudio realizado.

Ilustración 16.

Estructura organizacional Fase II



Fuente: Creación propia a partir del estudio realizado.

7.4.1.2. Misión, Visión, Valores Corporativos

7.4.1.2.1. Misión

"Producir alimentos hidropónicos de alta calidad mediante tecnologías sostenibles, contribuyendo al desarrollo agrícola de San Vicente Ferrer y optimizando el uso de recursos naturales, para satisfacer la demanda de productos frescos y nutritivos en el mercado regional".

7.4.1.2.2. Visión

"Para 2030, ser reconocidos como líderes regionales en producción hidropónica sostenible, destacándonos por la innovación, calidad y compromiso ambiental, consolidando un modelo de negocio rentable que genere valor compartido para accionistas, empleados y comunidad".

7.4.1.2.3. Valores Corporativos

- **Sostenibilidad:** Compromiso con la gestión responsable de recursos naturales y la reducción del impacto ambiental.
- **Innovación:** Búsqueda constante de mejoras tecnológicas y procesos más eficientes.
- **Calidad:** Excelencia en todos nuestros productos y servicios, superando expectativas de clientes.
- **Integridad:** Transparencia y ética en todas nuestras operaciones y relaciones.
- **Compromiso Social:** Contribución activa al desarrollo económico y social de la región.

7.4.1.3 Descripción de cargos y funciones

7.4.1.3.1. Nivel Gerencial

Gerencia General y Administrativa
<p>Nivel: Estratégico Reporta a: Junta de Socios Supervisa a: Director Técnico, Director Comercial Formación: Profesional en Administración, Ingeniería Agrícola o afines con especialización en Gerencia de Proyectos Experiencia: Mínimo tres años en gestión de proyectos agrícolas Funciones principales:</p> <ul style="list-style-type: none">• Planificación estratégica y dirección general del proyecto.• Gestión financiera avanzada y búsqueda de financiamiento.• Desarrollo de nuevos mercados y oportunidades de negocio.• Administración de recursos humanos y relaciones laborales.• Representación legal y relaciones institucionales.• Exploración de oportunidades de expansión o diversificación.• Supervisión de las direcciones técnica y comercial.• Gestión de alianzas estratégicas.
<p>Competencias clave: Liderazgo estratégico, visión integral de negocio, habilidades administrativas. Salario base: \$6.000.000</p>

7.4.1.3.2. Nivel Directivo

Dirección Técnica y de Producción
<p>Nivel: Táctico</p> <p>Reporta a: Gerente General</p> <p>Supervisa a: Auxiliares de cosecha, Operarios de Producción</p> <p>Formación: Ingeniero Agrónomo o Agrícola con conocimientos en hidroponía</p> <p>Experiencia: Mínimo cuatro años en sistemas de producción hidropónica</p> <p>Funciones principales:</p> <ul style="list-style-type: none">• Planificación y supervisión técnica integral de la producción.• Control de calidad e implementación de estándares técnicos.• Manejo especializado de sistemas de nutrición y automatización.• Investigación e implementación de nuevas tecnologías.• Gestión de certificaciones técnicas y de calidad.• Supervisión y capacitación del personal técnico.• Optimización continua del sistema hidropónico.• Gestión de inventarios técnicos e insumos especializados.
<p>Competencias clave: Habilidad técnica, innovación, gestión de calidad</p> <p>Salario base: \$4.500.000</p>

Director Comercial y de Marketing
<p>Reporta a: Gerente General</p> <p>Supervisa a: Auxiliar Comercial</p> <p>Formación: Profesional en Marketing o Administración con énfasis comercial</p> <p>Experiencia: Mínimo cuatro años en gestión comercial</p> <p>Funciones principales:</p> <ul style="list-style-type: none">• Desarrollo e implementación de estrategia comercial.• Gestión integral de clientes del segmento gastronómico premium.• Negociación y cierre de contratos comerciales.• Desarrollo de nuevos mercados y prospección de clientes.• Gestión de marca y posicionamiento del producto.• Marketing digital y manejo de redes sociales.• Análisis de competencia y tendencias del mercado.• Servicio postventa y fidelización de clientes.• Reportes comerciales y análisis de ventas.• Coordinación logística para entregas a clientes.
<p>Competencias clave: Orientación comercial, creatividad, liderazgo de equipos</p> <p>Salario base: \$4.000.000</p>

7.4.1.3.3. Personal Área Técnica

Auxiliares de cosecha
<p>Reporta a: Director técnico y de Producción</p> <p>Formación: Bachiller con capacitación en hidroponía</p> <p>Experiencia: Deseable experiencia en labores agrícolas</p> <p>Funciones principales:</p> <ul style="list-style-type: none">• Cosecha especializada de productos hidropónicos.• Clasificación y selección postcosecha según estándares de calidad.• Empaque y preparación de productos para entrega.• Limpieza y desinfección de áreas de cosecha.• Registro de datos de producción y calidad.• Apoyo en actividades de siembra cuando sea requerido.
<p>Salario base: \$1.450.000 (Valor medio tiempo: \$725.000)</p>

Operarios de Producción
<p>Nivel: Operativo</p> <p>Reporta a: Director Técnico y de Producción</p> <p>Formación: Bachiller con capacitación técnica en agricultura</p> <p>Experiencia: Preferiblemente con experiencia en labores agrícolas</p> <p>Funciones principales:</p> <ul style="list-style-type: none">• Siembra y trasplante en sistema NFT.• Mantenimiento y operación de equipos hidropónicos (bombas, sistemas de riego).• Monitoreo diario de parámetros técnicos (pH, CE, temperatura).• Aplicación de soluciones nutritivas y tratamientos fitosanitarios.• Mantenimiento preventivo de instalaciones e invernadero.• Limpieza y desinfección del sistema entre ciclos productivos.• Registro de consumos y estado de equipos.
<p>Salario base: \$1.450.000</p>

7.4.1.3.4. Personal Área Comercial

Auxiliar Comercial
<p>Reporta a: Director Comercial</p> <p>Formación: Técnico o tecnólogo en áreas comerciales</p> <p>Experiencia: Mínimo un año en apoyo comercial</p> <p>Funciones principales:</p> <ul style="list-style-type: none">• Apoyo directo al Director Comercial en gestión de clientes.• Gestión de cartera y seguimiento a pedidos.• Apoyo en actividades de marketing digital y redes sociales.• Atención al cliente y servicio postventa.• Elaboración de reportes comerciales.• Coordinación logística de entregas.• Apoyo en prospección de nuevos clientes.
<p>Salario base: \$1.800.000</p>

7.4.1.3.5. Servicios Externos

Contador Público + Auxiliar contable (Subcontratado)
<p>Modalidad: Prestación de servicios</p> <p>Formación: Contador Público con tarjeta profesional</p> <p>Experiencia: Sector agrícola y PYMES</p> <p>Funciones principales:</p> <ul style="list-style-type: none">• Elaboración y presentación de declaraciones tributarias.• Procesamiento mensual de nómina y prestaciones sociales.• Estados financieros mensuales y anuales.• Asesoría tributaria y cumplimiento normativo.• Revisión de procesos contables y controles internos.• Certificaciones laborales y tributarias.
<p>Salario base: \$34.164.000</p>

7.4.1.4. Políticas de Gestión del Talento Humano

7.4.1.4.1. Política de Selección y Contratación

El proyecto implementará un proceso de selección transparente basado en competencias técnicas y comportamentales, priorizando la contratación local con al menos el 60 por ciento del personal proveniente de San Vicente Ferrer y municipios

vecinos. Se realizará verificación de referencias y antecedentes, aplicando el período de prueba legal para evaluar desempeño y adaptación cultural.

Todo nuevo colaborador recibirá inducción integral de 40 horas durante la primera semana, abarcando aspectos corporativos, protocolos técnicos y medidas de seguridad específicas del cargo. Esta política busca garantizar igualdad de oportunidades mientras se contribuye al desarrollo territorial y se aprovecha el conocimiento agrícola local.

7.4.1.4.2. Política de Capacitación y Desarrollo

Se establecerá un programa anual de capacitación garantizando mínimo 40 horas de formación por empleado, enfocadas en competencias técnicas hidropónicas, buenas prácticas agrícolas y herramientas de gestión según el cargo. Se desarrollarán alianzas con SENA, universidades regionales y centros de investigación para acceder a formación certificada y especializada.

El desempeño será evaluado semestralmente mediante sistema integral considerando cumplimiento de objetivos, calidad del trabajo y competencias comportamentales. Estas evaluaciones fundamentarán planes individuales de mejora y trayectorias de carrera para posiciones clave, asegurando desarrollo continuo del capital humano.

7.4.1.4.3. Política de Remuneración y Beneficios

La estructura salarial se basará en competitividad del mercado regional, garantizando cumplimiento riguroso de obligaciones laborales colombianas incluyendo prestaciones sociales, seguridad social y parafiscales.

Los beneficios incluirán auxilio de alimentación para personal operativo, día libre remunerado por cumpleaños y actividades trimestrales de bienestar familiar. Estas medidas buscan atraer y retener talento calificado mientras se fortalece el ambiente laboral y se reconoce el aporte individual al éxito organizacional.

7.4.1.4.4. Política de Seguridad y Salud en el Trabajo

Se implementará Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo (SG-SST) conforme a la Resolución 0312 de 2019 del Ministerio del Trabajo (Ministerio del Trabajo, 2019), identificando y controlando riesgos específicos del cultivo hidropónico incluyendo químicos, ergonómicos, eléctricos y biológicos. Se garantizará entrega y control de elementos de protección personal específicos, capacitación en su uso correcto y programa de simulacros de emergencias.

Dado que el proyecto contará con menos de diez trabajadores, se designará un Vigía en Seguridad y Salud en el Trabajo en lugar del Comité Paritario, conforme a lo establecido en la normativa vigente (Ministerio del Trabajo, 2019), quien será responsable de promover y vigilar el cumplimiento del SG-SST. Se establecerá programa de vigilancia epidemiológica con evaluaciones médicas periódicas y monitoreo de exposición a agentes químicos y biológicos, asegurando detección temprana y medidas correctivas oportuna siguiendo los estándares mínimos establecidos para empresas de este tamaño (Ministerio del Trabajo, 2019).

7.4.1.5. Indicadores de Gestión Administrativa

Para garantizar el adecuado desempeño y control del proyecto hidropónico en la Finca Los Guadales, se han establecido indicadores clave de gestión (KPIs) para cada área funcional. Estos indicadores permitirán monitorear el cumplimiento de objetivos, identificar desviaciones y tomar decisiones oportunas para asegurar la viabilidad y sostenibilidad del proyecto.

Tabla 44.

Indicadores clave de gestión administrativa por área

Área	Indicador	Meta Años 1-3	Meta Año 4+	Frecuencia de Medición
Gerencia General	ROI del proyecto	>25%	>30%	Anual
	Cumplimiento del plan estratégico	>90%	>95%	Trimestral
	Eficiencia administrativa (gastos adm./ventas)	<20%	<15%	Mensual
	Margen operativo	>25%	>30%	Mensual
	Liquidez corriente	>1.5	>2.0	Mensual
	Clima organizacional	>80%	>85%	Semestral
Función Técnica	Rendimiento por m ²	>45 kg/m ² /año	>50 kg/m ² /año	Mensual
	Calidad de producto (primera categoría)	>95%	>98%	Diario
	Eficiencia hídrica	<20 L/kg	<18 L/kg	Mensual
	Mermas de producción	<5%	<3%	Semanal

	Ciclos productivos anuales	>7	>8	Anual
	Cumplimiento de protocolos BPA	100%	100%	Semanal
	Implementación de mejoras técnicas	2 por año	4 por año	Trimestral
Dirección Comercial	Cumplimiento de ventas	100%	105%	Mensual
	Satisfacción del cliente	>90%	>95%	Trimestral
	Nuevos clientes	5 mensuales	8 mensuales	Mensual
	Presencia digital (<i>engagement</i>)	+10% mensual	+15% mensual	Mensual
	Retención de clientes	>85%	>90%	Trimestral
	Días de cartera	<30 días	<25 días	Mensual
	Efectividad en prospección	>25% conversión	>30% conversión	Trimestral
Personal Operativo	Productividad por operario	>150 kg/mes/operario	>180 kg/mes/operario	Mensual
	Tiempo de ciclo siembra-cosecha	45 días	42 días	Por ciclo
	Eficiencia en uso de insumos	Variación <5% vs. estándar	Variación <3% vs. estándar	Mensual
	Cumplimiento de capacitación	40 horas/año/operario	40 horas/año/operario	Anual
Servicios Externos	Cumplimiento tributario	100%	100%	Mensual
	Oportunidad en reportes contables	<5 días después del mes	<3 días después del mes	Mensual
	Optimización tributaria	1 oportunidad/año	2 oportunidades/año	Semestral

Fuente: Creación propia a partir del estudio realizado.

Estos indicadores serán medidos y analizados según la frecuencia establecida, presentando informes de gestión consolidados mensualmente a la Gerencia General y trimestralmente a la Junta de Socios. Para cada indicador se implementará un sistema de alertas tempranas que identifique desviaciones significativas, permitiendo acciones correctivas oportunas.

La implementación de este sistema de indicadores se realizará de manera gradual, priorizando los relacionados con productividad, calidad y gestión financiera básica en la fase inicial como elementos críticos para la supervivencia del proyecto, incorporando posteriormente los indicadores comerciales avanzados y de desarrollo

organizacional (como clima laboral, optimización tributaria y mejoras técnicas especializadas), conforme el proyecto se consolide y alcance estabilidad operativa.

7.4.1.6. Sistemas de Información

Para soportar la operación eficiente del proyecto hidropónico, se implementará una infraestructura de sistemas de información simplificada y costo-eficiente que permita la gestión, control y toma de decisiones, priorizando herramientas accesibles y de bajo costo operativo. Esta aproximación reconoce que en la etapa inicial del proyecto es fundamental optimizar recursos sin comprometer la calidad de la información requerida para la gestión integral del negocio.

Durante los primeros años de operación, el proyecto adoptará un modelo híbrido que combina software especializado para funciones críticas que requieren cumplimiento normativo, con herramientas ofimáticas robustas para la gestión interna de procesos. Esta estrategia permite mantener costos fijos bajos mientras se garantiza el acceso a información confiable y oportuna para la toma de decisiones.

Tabla 45.

Costos de los sistemas de información

Sistema	Propósito	Herramienta	Costo Estimado
Sistema de Facturación Electrónica	Emisión y gestión de facturas electrónicas conforme a requisitos DIAN, control de cartera	Software especializado certificado por DIAN	\$3.600.000/año
Suite Office 365 Business	Herramientas ofimáticas, correo corporativo, almacenamiento en nube, colaboración	Microsoft Office 365 Business Standard	\$1.800.000/año
Gestión Integral en Excel	Control de inventarios, gestión de clientes (CRM básico), trazabilidad de productos, análisis financiero, reportes de producción	Excel avanzado con macros y plantillas personalizadas	\$0 (incluido en Office 365)
Total costo anual			\$5.400.000

Fuente: Creación propia a partir del estudio realizado (Microsoft Corporation, 2025).

7.4.2. Componente legal

El análisis legal constituye el componente normativo esencial del estudio de prefactibilidad del proyecto hidropónico en la Finca Los Guadales. Esta sección identifica y examina el marco legal aplicable, los requisitos de formalización empresarial, las obligaciones tributarias y los beneficios fiscales disponibles para el proyecto. El cumplimiento del marco jurídico no solo garantiza la legalidad de las operaciones, sino que también posibilita el acceso a incentivos gubernamentales, certificaciones de calidad y mercados formales que exigen plena regularidad legal.

El presente análisis completa el objetivo específico de "Definir la estructura administrativa y el marco legal necesario para la implementación del proyecto hidropónico sostenible", centrándose en los aspectos legales y tributarios del emprendimiento. Se detallan los trámites de constitución empresarial, los permisos y licencias específicos para la actividad hidropónica, las obligaciones fiscales aplicables y los beneficios tributarios disponibles para proyectos agrícolas sostenibles, proporcionando un panorama integral del cumplimiento normativo requerido para la operación exitosa y legalmente segura del proyecto.

7.4.2.1. Figura de constitución legal

Para el proyecto hidropónico en la Finca Los Guadales se propone constituir una Sociedad por Acciones Simplificada (S.A.S.). Esta figura jurídica, establecida mediante la Ley 1258 de 2008 (Congreso de la República de Colombia, 2008), presenta ventajas significativas para este tipo de emprendimiento agrícola tecnificado.

La S.A.S. permite la constitución mediante documento privado, reduciendo costos notariales y simplificando el proceso inicial. Limita la responsabilidad de los socios al monto de sus aportes, protegiendo su patrimonio personal. Su estructura administrativa simplificada no requiere revisor fiscal obligatorio hasta ciertos niveles de ingresos, facilitando la operación con menores costos fijos.

En el aspecto tributario, ofrece beneficios para empresas en fase de crecimiento y mayor flexibilidad para recibir futuras inversiones mediante diferentes tipos de acciones. Según el informe "Dinámica de Creación de Empresas en Colombia 2024" de Confecámaras (2025), la formación de sociedades registró un crecimiento del 5,2 por ciento en 2024, destacando que "las sociedades presentan una mayor tasa de supervivencia a cinco años (44%) en comparación con las personas naturales (30%)" y "una tasa de movilidad empresarial del 18%, considerablemente superior al 0,7 por ciento

de las personas naturales" (pág. 2), lo que evidencia su mayor potencial para crecer y consolidarse en el mercado.

Adicionalmente, el mismo informe señala que la creación de sociedades "suele responder a emprendimientos por oportunidad, que se caracterizan por una visión estratégica y un enfoque en el valor agregado, elementos que favorecen su sostenibilidad a largo plazo" (Confecámaras, 2025, pág. 2). Estas características hacen de la S.A.S. la opción más adecuada para el proyecto hidropónico en la finca Los Guadales.

7.4.2.2. Marco Legal Integral

La implementación del proyecto hidropónico requiere el cumplimiento de un marco normativo integral que abarca desde la constitución empresarial hasta las obligaciones operativas específicas del cultivo sin suelo. Este conjunto articulado de normas establece las bases legales para una operación formal, sostenible y comercialmente viable, permitiendo además el acceso a beneficios fiscales y certificaciones que agregan valor al proyecto.

El marco legal se estructura en ocho categorías principales: normatividad empresarial para la formalización, normatividad laboral para la gestión del recurso humano, normatividad tributaria con sus respectivos beneficios fiscales, normatividad agrícola específica para cultivos hidropónicos, normatividad sanitaria para garantizar inocuidad, normatividad ambiental para la sostenibilidad, normatividad comercial para las transacciones, y normatividad de contingencia para la gestión de riesgos operativos.

Nota metodológica. El presente marco normativo se construye a partir de la consulta directa a normas oficiales vigentes. Las principales fuentes consultadas incluyen: Sistema Único de Información Normativa - SUIN-JURISCOL (2025), Ley 1258 de 2008 sobre Sociedades por Acciones Simplificadas (Congreso de la República de Colombia, 2008), Ley 2277 de 2022 de Reforma Tributaria (Congreso de la República de Colombia, 2022) y Estatuto Tributario - Decreto 624 de 1989 (Presidencia de la República de Colombia, 1989). Las demás normas específicas citadas en la tabla se encuentran debidamente registradas en las bases de datos oficiales consultadas.

Tabla 46.

Marco normativo integral aplicable al proyecto

Categoría	Norma	Aspecto Regulado	Descripción de Aplicación en el Proyecto
NORMATIVIDAD EMPRESARIAL	Ley 1258 de 2008	Sociedades por Acciones Simplificadas	Constitución de "Hidropónicos Los Guadales S.A.S.", actividad CIU 0113

	Código de Comercio (Decreto 410 de 1971)	Obligaciones mercantiles	Registro mercantil, libros contables obligatorios, contratos comerciales con restaurantes
	Ley 1014 de 2006	Fomento al emprendimiento	Acceso a programas de apoyo empresarial y líneas de financiamiento especializadas
	Decreto 1074 de 2015	Trámites comerciales	Procedimientos de registro ante Cámara de Comercio y formalización empresarial
NORMATIVIDAD LABORAL	Código Sustantivo del Trabajo	Relaciones laborales	Contratos indefinidos para directivos, fijos para operarios, cumplimiento prestaciones sociales
	Ley 100 de 1993	Sistema de seguridad social	Afiliación obligatoria a EPS, AFP, ARL y Caja de Compensación para 6 empleados proyectados
	Ley 1562 de 2012	Sistema de Riesgos Laborales	Clasificación ARL Clase III (riesgo alto) por actividades agrícolas con químicos
	Decreto 1072 de 2015	Decreto Único Laboral	Cumplimiento integral de normativa laboral compilada
	Resolución 0312 de 2019	Sistema de Gestión SST	Designación de Vigía de SST (menos de 10 trabajadores), no requiere COPASST
	Ley 9 de 1979	Elementos de Protección Personal	Provisión obligatoria de EPP para manejo de nutrientes, fungicidas y labores de campo
NORMATIVIDAD TRIBUTARIA	Estatuto Tributario (Decreto 624 de 1989)	Impuesto sobre la Renta	Tarifa del 35% sobre utilidades, obligación de declarar y pagar anticipo
	Art. 424 Estatuto Tributario	Exclusión IVA productos agrícolas	Lechugas hidropónicas en estado natural excluidas de IVA, ventaja competitiva
	Ley 2277 de 2022	Reforma Tributaria	Acceso a rentas exentas para agricultura tecnificada y sostenible
	Decreto 1625 de 2016	Procedimientos tributarios	Retención en la fuente como agente retenedor, declaraciones mensuales
	Ley 1819 de 2016	Gravamen Movimientos Financieros	4x1000 sobre transacciones, exención en cuenta de ahorros hasta 350 UVT mensuales
	Normativa Municipal	Impuesto de Industria y Comercio	Tarifa preferencial 2-3 por mil para actividades agrícolas en San Vicente Ferrer

	Normativa Municipal	Impuesto Predial	Aplicable sobre predio rural, posible tratamiento preferencial para actividad productiva
BENEFICIOS FISCALES	Ley 2277 de 2022, Art. 35	Rentas exentas agropecuarias	Exención parcial para ingresos de productos hidropónicos con componente tecnológico
	Art. 255 Estatuto Tributario	Descuentos inversiones ambientales	25% descuento sobre inversiones en sistemas de recirculación y ahorro de agua
	Ley 1715 de 2014	Incentivos energías renovables	Deducción del 50% en inversión de sistema fotovoltaico para bombas y equipos
	Régimen Simple de Tributación	Simplificación tributaria	Tarifa única integrando varios impuestos si ingresos <100.000 UVT anuales
NORMATIVIDAD AGRÍCOLA	Resolución ICA 448 de 2016	Registro predios productores	Inscripción anual de la finca como predio productor de hortalizas hidropónicas
	Resolución ICA 30021 de 2017	Buenas Prácticas Agrícolas	Certificación BPA obligatoria para venta a restaurantes y mercados formales
	Resolución ICA 3168 de 2015	Manejo Integrado de Plagas	Plan obligatorio de MIP con énfasis en control biológico para producción orgánica
	Resolución ICA 68370 de 2020	Registro de fertilizantes	Solo uso de soluciones nutritivas y fertilizantes registrados ante ICA
	Resolución ICA 1167 de 2010	Registro de bioinsumos	Uso preferencial de extractos vegetales y controladores biológicos registrados
	NTC 5422	Norma técnica hortalizas	Cumplimiento de estándares técnicos para producción de hortalizas frescas
	NTC 5400	Norma técnica BPA	Implementación de estándares nacionales de buenas prácticas agrícolas
NORMATIVIDAD SANITARIA	Resolución 2674 de 2013	Inocuidad alimentaria	Buenas prácticas de manufactura en área de postcosecha y empaque
	Decreto 1500 de 2007	Inspección sanitaria	Trazabilidad completa y registros sanitarios para comercialización
	Decreto 60 de 2002	Análisis de peligros (HACCP)	Sistema recomendable para garantizar inocuidad en producción hidropónica

NORMATIVIDAD AMBIENTAL	Decreto 1076 de 2015	Gestión ambiental integral	Permisos de uso de agua ante CORNARE si consumo supera límites domésticos
	Ley 373 de 1997	Uso eficiente del agua	Programa de ahorro del 80-90% mediante recirculación en sistema NFT
	Ley 1252 de 2008	Gestión integral de residuos	Plan de manejo para residuos vegetales (compostaje) y envases de insumos
	Decreto 4741 de 2005	Residuos peligrosos	Participación en programa Campo Limpio para devolución de envases agroquímicos
	Ley 1931 de 2018	Cambio climático	Estrategias de mitigación mediante menor huella de carbono del sistema hidropónico
	Resolución 1207 de 2014	Reúso de aguas tratadas	Aprovechamiento de agua lluvia y recirculación de soluciones nutritivas
NORMATIVIDAD COMERCIAL	Ley 1480 de 2011	Estatuto del Consumidor	Garantías de calidad, información veraz sobre productos hidropónicos
	Decreto 1074 de 2015	Regulación comercial	Competencia leal, protección al consumidor en mercado gastronómico
	Resolución DIAN 000042 de 2020	Facturación electrónica	Obligatoria para todas las ventas a restaurantes y distribuidores
NORMATIVIDAD DE CONTINGENCIA	Ley 1523 de 2012	Gestión del riesgo	Plan de contingencia para fallas eléctricas en sistemas de bombeo y automatización
	Resolución 0312 de 2019	Emergencias laborales	Protocolos de emergencia específicos para riesgos del cultivo hidropónico.

Fuente: Creación propia a partir del estudio realizado.

7.4.2.3. Proceso de formalización empresarial

La formalización se realizará mediante la constitución de "Hidropónicos Los Guadales S.A.S." aprovechando las ventajas de simplicidad constitutiva, flexibilidad administrativa y protección patrimonial. El proceso incluye elaboración del documento constitutivo, registro ante Cámara de Comercio, obtención del RUT definitivo, apertura de cuenta bancaria y registro de libros corporativos.

1. Documento de Constitución

Elaboración de documento privado con:

- Nombre, documento de identidad y domicilio de accionistas.
- Razón social: "Hidropónicos Los Guadales S.A.S."
- Domicilio principal: Municipio de San Vicente Ferrer, Antioquia.
- Término de duración: Indefinido.
- Actividad principal: Cultivo de hortalizas, raíces y tubérculos (CIU 0113).
- Capital autorizado, suscrito y pagado.
- Sistema de representación legal.
- Designación de administradores.

2. Registro ante Cámara de Comercio:

- Formulario de Registro Único Empresarial y Social (RUES).
- Pre-RUT expedido por la DIAN.
- Pago de derechos de inscripción y matrícula mercantil.
- Inscripción de libros obligatorios: libro de actas y libro de accionistas.

3. Trámites ante la DIAN:

- Obtención del RUT definitivo.
- Resolución de facturación electrónica.
- Inscripción como responsable de IVA, según corresponda.
- Registro como autorretenedor de impuestos, si aplica.

4. Apertura de Cuenta Bancaria:

- Cuenta corriente a nombre de la sociedad.
- Certificado de existencia y representación legal.
- RUT definitivo.
- Documentos del representante legal.

5. Registro como Establecimiento Comercial:

- Inscripción ante la Alcaldía Municipal.
- Pago de impuestos municipales correspondientes.
- Cumplimiento de normas de funcionamiento local.

Tabla 47.*Costos de constitución y formalización empresarial*

Concepto	Valor (COP)	Observaciones
Constitución de la S.A.S.		
Documento privado de constitución	\$0	No tiene costo, se elabora internamente
Autenticación de firmas	\$37.500	Notaría, 2 socios a \$18.750 c/u (Superintendencia de Notariado y Registro, 2025)
Registro en Cámara de Comercio		
Formulario RUES	\$8.100	Tarifa única 2025 (Cámara de Comercio de Medellín para Antioquia, 2025)
Derechos de inscripción por constitución	\$69.000	Tarifa fija para personas jurídicas 2025 (Cámara de Comercio de Medellín para Antioquia, 2025)
Impuesto de registro (0.7%)	\$490.000	Sobre capital inicial de \$70.000.000 (Departamental)
Registro de Libros		
Solicitud libro de actas	\$23.100	Tarifa 2025
Solicitud libro de accionistas	\$23.100	Tarifa 2025
Hojas para libros (100 hojas)	\$6.000	\$60 por hoja (opcional)
Certificados		
Certificado de existencia y representación legal	\$11.600	Tarifa 2025
Registros Adicionales		
Registro Único Tributario (RUT)	\$0	Sin costo ante la DIAN (Dirección de Impuestos y Aduanas Nacionales, 2025)
Inscripción como responsable IVA	\$0	Sin costo ante la DIAN
Numeración de Facturación	\$0	Sin costo ante la DIAN
Apertura cuenta bancaria	\$0	Sin costo, pero puede requerir depósito inicial
Registro de Marca		
Búsqueda de antecedentes marcarios	\$60.500	Tarifa SIC 2025 (Superintendencia de Industria y Comercio, 2025)
Solicitud de registro de marca	\$1.419.000	Clase 31 (productos agrícolas) - Tarifa SIC 2025 (Superintendencia de Industria y Comercio, 2025)

Otros Costos		
Asesoría legal para constitución	\$1.500.000	Honorarios profesionales estimados
Gastos de desplazamiento	\$100.000	Transporte para trámites
Otros gastos administrativos	\$150.000	Copias, certificaciones adicionales, etc.
Provisión para imprevistos (10%)	\$389.790	Colchón para gastos no contemplados
TOTAL	\$4.287.690	Total incluido imprevistos

Fuente: Elaboración propia con base en tarifas oficiales de Cámara de Comercio de Medellín para Antioquia (2025), Superintendencia de Industria y Comercio (2025), Superintendencia de Notariado y Registro (2025), y Dirección de Impuestos y Aduanas Nacionales (2025).

7.4.2.4. Régimen tributario y beneficios fiscales

7.4.2.4.1. Obligaciones tributarias

El proyecto hidropónico estará sujeto al régimen tributario ordinario colombiano, con obligaciones específicas que varían según la naturaleza agrícola de la actividad y las características de la figura societaria seleccionada. La principal obligación corresponde al Impuesto sobre la Renta, que se aplicará a la tarifa del 35 por ciento sobre las utilidades generadas por la empresa (Ley 2277 de 2022), requiriendo declaración anual y pago de anticipo, según los procedimientos establecidos por la DIAN.

Una ventaja competitiva significativa para el proyecto radica en que los productos agrícolas en estado natural como la lechuga están excluidos del IVA según el artículo 424 del Estatuto Tributario, partida arancelaria 07.05 (Decreto 624 de 1989, Estatuto Tributario), lo que permite ofrecer precios más competitivos frente a productos procesados o importados que sí causan este impuesto. Sin embargo, la empresa causará IVA del 19 por ciento sobre todos los insumos, equipos y servicios adquiridos para la operación (Ley 1819 de 2016), generando saldos a favor que pueden ser solicitados en devolución o compensados con otros impuestos, optimizando el flujo de caja del proyecto.

En el ámbito municipal, el proyecto se beneficiará de la tarifa preferencial del 2-3 por mil para actividades agrícolas en el Impuesto de Industria y Comercio de San Vicente Ferrer, representando una carga tributaria, significativamente menor que otros sectores económicos. La empresa actuará como agente retenedor en sus compras y contratación de servicios, requiriendo declaraciones mensuales de retenciones en la fuente y expedición de certificados anuales a terceros.

El Gravamen a los Movimientos Financieros (4x1000) aplicará sobre todas las transacciones bancarias, aunque existe la posibilidad de designar una cuenta de ahorros como exenta hasta 350 UVT mensuales (Ley 2277 de 2022). Dicha estrategia puede

reducir significativamente este costo operativo mediante una adecuada planificación financiera.

7.4.2.4.2. Beneficios Fiscales Estratégicos

El proyecto puede acceder a importantes beneficios fiscales que optimizan su estructura tributaria y mejoran la rentabilidad de la inversión. Si bien la Ley 2277 de 2022 (Congreso de la República de Colombia, 2022) derogó diversos incentivos tributarios para el sector agropecuario. Igualmente, existen beneficios fiscales vigentes que pueden ser aplicables a actividades agrícolas con componente tecnológico y sostenible como la hidroponía, sujeto a la evaluación y aprobación de las autoridades competentes.

Las inversiones en sistemas de recirculación de agua y control ambiental pueden acceder al descuento del 25 por ciento sobre el impuesto de renta según el artículo 255 del Estatuto Tributario (2016), beneficio aplicable a inversiones en control, conservación y mejoramiento del medio ambiente. Este descuento se calcula sobre el valor total de las inversiones ambientales realizadas, previa acreditación por parte de la autoridad ambiental respectiva, representando un incentivo para la implementación de tecnologías sostenibles.

Una alternativa estratégica a evaluar es la inclusión en el Régimen Simple de Tributación (RST) si los ingresos anuales son menores a 100.000 UVT (Artículo 905. Sujetos pasivos del régimen simple de tributación, 2019). Esta opción simplificaría significativamente las obligaciones tributarias al integrar varios impuestos en una tarifa única que oscila entre 1,2 y 8,3 por ciento, según los ingresos (Dirección de Impuestos y Aduanas Nacionales - DIAN), reduciendo costos administrativos y de cumplimiento, especialmente importantes durante los primeros años de operación. El RST permite además una menor carga administrativa al unificar las declaraciones de renta, ICA y consumo en una sola obligación.

La combinación estratégica de estos beneficios fiscales puede representar una optimización significativa de la carga tributaria durante los primeros años de operación, mejorando el flujo de caja y la rentabilidad del proyecto. Sin embargo, es fundamental contar con asesoría tributaria especializada para garantizar el cumplimiento de todos los requisitos normativos y la correcta aplicación de los beneficios fiscales disponibles.

7.5. ESTUDIO AMBIENTAL

La evaluación de impacto ambiental realizada en el marco del proyecto de cultivo hidropónico sostenible en la Finca Los Guadales, ubicada en el municipio de San

Vicente Ferrer (Antioquia), tiene como objetivo identificar los posibles efectos positivos y negativos que podrían derivarse de su implementación. Este análisis busca anticipar los riesgos ambientales, proponer estrategias de mitigación, y asegurar que el diseño y operación del sistema estén alineados con los principios de sostenibilidad y cumplimiento normativo.

Dado que el proyecto se encuentra en fase de prefactibilidad, la evaluación ambiental se centra en una caracterización general de los impactos más relevantes sobre componentes como el agua, el suelo, la atmósfera, la biodiversidad, los residuos y el entorno socioeconómico. La metodología utilizada contempla el uso de herramientas cualitativas como la matriz de Leopold adaptada y la comparación con sistemas agrícolas convencionales.

Este análisis también toma como base el marco normativo ambiental colombiano, así como lineamientos técnicos establecidos por entidades como el ICA, el Ministerio de Ambiente y CORNARE. Además, se incluye una propuesta de plan de manejo ambiental preliminar y un sistema de indicadores para el monitoreo de los efectos del proyecto, lo cual permitirá, en etapas posteriores, realizar un estudio de impacto ambiental más detallado. en caso de requerirse por parte de las autoridades competentes. La evaluación ambiental, por tanto, constituye una herramienta fundamental para asegurar su viabilidad y fortalecer su valor como modelo replicable de agricultura sostenible en contextos rurales de Colombia.

7.5.1. Marco normativo ambiental aplicable

La implementación de un sistema hidropónico sostenible en Colombia se encuentra regulada por un conjunto de normas ambientales que garantizan la protección de los recursos naturales, la inocuidad en la producción agrícola y la sostenibilidad de los procesos agroindustriales. Estas disposiciones legales definen tanto las obligaciones como los derechos de los productores con relación al uso del agua, el manejo de residuos, el empleo de insumos agrícolas y las prácticas de producción limpia.

En el caso particular del proyecto a desarrollarse en la Finca Los Guadales, el cumplimiento de la normativa ambiental vigente resulta esencial para asegurar su viabilidad legal, el acceso a mercados formales y la posibilidad de acceder a incentivos e instrumentos financieros para su implementación. La siguiente tabla presenta una sistematización normativa construida con base en el análisis de disposiciones legales clave que rigen la gestión ambiental y agrícola en Colombia.

Dicha recopilación se organizó en tres bloques temáticos: legislación ambiental general, normativa sobre recursos hídricos y regulación de insumos agrícolas, con el

propósito de identificar el marco regulatorio aplicable al estudio ambiental del proyecto hidropónico. La selección normativa se basó en fuentes oficiales como el Sistema Único de Información Normativa – SUIN, el sitio web del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, y los documentos técnicos y resolutivos emitidos por el Instituto Colombiano Agropecuario – ICA, Entre los documentos revisados se destacan la Ley 99 de 1993 (República de Colombia, 1993); el Decreto 1076 de 2015 (República de Colombia, 2015); y la Resolución 3002 de 2005 del ICA (Instituto Colombiano Agropecuario – ICA, 2005).

Tabla 48.

Marco normativo ambiental en Colombia

Categoría	Norma	Contenido Relevante
Legislación Ambiental General	Ley 99 de 1993	- Crea el Ministerio de Ambiente y el SINA. - Establece principios y mecanismos de gestión y participación.
	Decreto 1076 de 2015	- Compila la normativa ambiental sectorial. - Reglamenta licencias, permisos y trámites ambientales.
	Ley 1931 de 2018	- Define estrategias de adaptación y mitigación del cambio climático. - Fomenta desarrollo bajo en carbono.
Legislación sobre Recursos Hídricos	Decreto 1541 de 1978 (D. 1076 de 2015)	- Reglamenta el uso de aguas superficiales y subterráneas. - Define permisos y obligaciones del usuario.
	Ley 373 de 1997	- Establece programas de uso eficiente y ahorro de agua. - Exige planes de seguimiento y metas de consumo.
	Resolución 1207 de 2014	- Regula uso de aguas residuales tratadas. - Establece parámetros de calidad y permisos de reúso
Normativa sobre Insumos Agrícolas	Resolución 150 de 2003 (ICA)	- Regula el registro de fertilizantes. - Define categorías toxicológicas y restricciones de uso.
	Resolución 3002 de 2005 (ICA)	- Establece Buenas Prácticas Agrícolas (BPA). - Incluye manejo de residuos y reducción de riesgos ambientales.
	Resolución 1167 de 2010 (ICA)	- Regula bioinsumos y extractos vegetales. - Fomenta alternativas sostenibles para el control fitosanitario.

Fuente: Creación propia a partir del estudio realizado.

7.5.2. Cultivos hidropónicos Vs Cultivos tradicionales

El análisis comparativo entre los sistemas de cultivo tradicionales y los sistemas hidropónicos resulta fundamental para valorar el aporte ambiental del modelo propuesto en el presente estudio. En Colombia, la agricultura convencional ha estado históricamente asociada al uso intensivo del suelo, al empleo frecuente de agroquímicos, y a la sobreexplotación de los recursos hídricos, generando impactos negativos como la degradación de suelos, la contaminación de fuentes de agua, la pérdida de biodiversidad y la emisión de gases de efecto invernadero.

Por su parte, la hidroponía representa una alternativa ambientalmente más eficiente, al eliminar el uso directo del suelo agrícola, reducir drásticamente el consumo de agua y minimizar el uso de pesticidas y fertilizantes químicos. Esta tecnología permite además el cultivo en zonas degradadas o no aptas para la agricultura tradicional, lo que contribuye a la conservación de áreas de alto valor ecológico y a la reducción de la presión sobre ecosistemas sensibles.

Sin embargo, también existen algunas consideraciones ambientales en torno al uso de materiales plásticos, la generación de residuos inorgánicos, el consumo energético y la necesidad de control técnico riguroso para evitar la acumulación de sales o contaminantes en las soluciones nutritivas. La sostenibilidad del sistema hidropónico, por tanto, dependerá en gran medida de las prácticas de manejo adoptadas, la eficiencia energética, y la capacidad de reciclar y tratar adecuadamente los insumos utilizados.

Tabla 49.

Comparativo cultivos tradicionales Vs cultivos hidropónicos

Aspecto Ambiental	Cultivo Tradicional	Cultivo Hidropónico	Ventaja comparativa
Uso del suelo	Requiere grandes extensiones de suelo fértil Riesgo de erosión y compactación	No requiere suelo agrícola Evita erosión y degradación del terreno	Conservación del suelo y posibilidad de uso en terrenos no aptos para agricultura tradicional (Putra & Yuliando, 2015)
Consumo de agua	Elevado consumo (hasta 70% se pierde por infiltración y evaporación)	Uso eficiente (ahorro del 80–90% mediante recirculación y control)	Ahorro de 70-90% en consumo hídrico (Barbosa , y otros, 2015)

Uso de agroquímicos	Aplicación masiva de fertilizantes y pesticidas Alta contaminación de suelos y aguas	Uso reducido y controlado de nutrientes Bajo riesgo de lixiviación	Reducción de 70-80% en uso de agroquímicos y menor impacto en biodiversidad. No se especifica ningún origen.
Emisiones y residuos	Emisiones asociadas a maquinaria y transporte Residuos orgánicos sin control	Posible generación de residuos plásticos Mayor potencial de reciclaje	Reducción de 20-30% en huella de carbono por kg de producto. No se especifica ningún origen.
Biodiversidad	Puede provocar pérdida de hábitats y fragmentación ecológica	Uso de espacios controlados y cerrados Menor interferencia con el entorno	Posibilidad de sistemas de circuito cerrado y reciclaje de nutrientes. No se especifica ningún origen.
Adaptabilidad	Limitado a condiciones agroclimáticas y calidad del suelo	Alta adaptabilidad a espacios urbanos, zonas áridas o degradadas	Mayor capacidad de mantener producción bajo condiciones climáticas variables. No se especifica ningún origen.
Eficiencia energética	Baja eficiencia, alta dependencia de combustibles fósiles	Puede integrar energías limpias (solar, eólica) Mayor eficiencia operativa	Este es una desventaja, por un consumo entre 82 y 90 veces mayor por kg producido. (Barbosa , y otros, 2015)
Calidad del producto	Sujeto a variaciones ambientales y edáficas	Control preciso de nutrientes y condiciones de crecimiento	Productos más uniformes y con mejor control de calidad (Resh, 2013)

Fuente: Creación propia a partir del estudio realizado.

Esta comparación evidencia que, bajo condiciones de manejo adecuado, el sistema hidropónico ofrece ventajas significativas desde el punto de vista ambiental frente a los sistemas agrícolas tradicionales. Su implementación permite reducir la presión sobre los recursos naturales y avanzar hacia una producción agrícola más sostenible y resiliente ante el cambio climático.

7.5.4. Identificación y valoración de los impactos ambientales

Para evaluar los impactos ambientales del proyecto, se utilizó una metodología basada en la matriz de Leopold, adaptada según los lineamientos de la Guía Ambiental para el Subsector Hortifrutícola (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial;

Sociedad de Agricultores de Colombia – SAC, 2009), que ofrece criterios detallados para la gestión de agua, suelo y residuos en actividades productivas.

Asimismo, se complementó este enfoque con el estudio de Gruda et al. (2019), quienes analizan los recursos consumidos, la eficiencia y la huella ambiental de los sistemas hidropónicos. Adicionalmente, se tuvo en cuenta la Resolución 1023 de 2005, que adopta las Guías Ambientales como instrumentos de autorregulación y consulta técnica (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2005).

Esta integración metodológica garantiza una evaluación ambiental robusta, alineada con las mejores prácticas nacionales para proyectos agrícolas sostenibles. Los criterios utilizados para la valoración fueron:

- **Fases:** Implementación (I) u Operación (O)
- **Naturaleza:** Positivo (+) o Negativo (-)
- **Intensidad:** Baja (1), Media (2), Alta (3)
- **Extensión:** Puntual (1), Local (2), Regional (3)
- **Persistencia:** Temporal (1), Permanente (3)
- **Reversibilidad:** Corto plazo (1), Mediano plazo (2), Irreversible (3)
- **Importancia:** Suma ponderada de los criterios anteriores

Tabla 50.

Matriz de impacto ambiental

Componente	Impacto Potencial	Fase	Naturaleza	Intensidad	Extensión	Persistencia	Reversibilidad	Importancia
Agua	Consumo de agua	O	-	2	1	3	2	-8
	Alteración de calidad	O	+	1	1	1	1	-4
	Recirculación y eficiencia	O	+	3	1	3	3	10
Suelo	Protección del suelo natural	O	+	3	1	3	3	10
	Generación de residuos inorgánicos	I, O	-	2	1	2	2	-7
	Manejo de sustratos	O	+	1	1	2	1	-5
Aire	Emissiones por transporte	O	-	1	2	1	1	-5
	Reducción de emisiones vs. agricultura tradicional	O	+	2	2	3	3	10
Flora y Fauna	Modificación de hábitat	I	-	1	1	3	2	-7
	Protección de biodiversidad vs. agroquímicos	O	+	2	2	3	2	9
Socioeconómico	Generación de empleo	I, O	+	2	2	3	3	10
	Transferencia tecnológica	O	+	3	2	3	3	11
	Eficiencia productiva	O	+	3	2	3	3	11
	Calidad del producto	O	+	3	2	3	3	11

Fuente: Creación propia a partir del estudio realizado.

7.5.4.1. Impactos Positivos Significativos:

- Recirculación y eficiencia hídrica: El sistema hidropónico permitirá un ahorro de agua de aproximadamente 70-90 por ciento en comparación con cultivos tradicionales, según las estimaciones de Barbosa et al. (2015). Esto es particularmente relevante para San Vicente Ferrer, donde el estrés hídrico estacional afecta la producción agrícola.
- Protección del suelo natural: Al no utilizar suelo para el cultivo, se evita la degradación y erosión típicas de la agricultura convencional, como lo confirma el estudio de Putra & Yuliando (2015). Este beneficio es especialmente importante considerando que el 40 por ciento de los suelos del territorio colombiano presentan algún grado de degradación (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2016).
- Transferencia tecnológica: El proyecto servirá como modelo demostrativo para otros productores de la región, contribuyendo a la difusión de prácticas sostenibles. La Secretaría de Agricultura de Antioquia (2024) ha identificado la necesidad de unidades demostrativas de tecnologías agrícolas sostenibles en la región.
- Eficiencia productiva: Mayor rendimiento por unidad de área y ciclos de producción más cortos, conforme a lo documentado por Kozai et al. (2016), quienes reportan una capacidad de producción por unidad de área entre 76 y 116 veces superior a la agricultura tradicional.

7.5.4.2. Impactos Negativos Por Gestionar:

- Consumo de agua: Aunque es más eficiente que sistemas tradicionales, sigue siendo un recurso por gestionar cuidadosamente. La microcuenca que abastece la zona de San Vicente Ferrer presenta fluctuaciones estacionales en niveles freáticos y caudales, especialmente debido a los dos periodos secos y dos lluviosos propios del régimen bimodal de precipitación de la región (CORNARE, 2011). Esta variabilidad histórica exige implementar medidas de gestión hídrica adaptadas.
- Generación de residuos inorgánicos: Uno de los desafíos ambientales de los sistemas hidropónicos es el manejo de residuos inorgánicos, en particular plásticos de canales, tuberías y empaques de nutrientes. La literatura especializada advierte que dichos materiales pueden generar una fuente significativa de residuos plásticos si no se aplican estrategias de reciclaje o reutilización (Riggio, Jones, & Gibson, 2019). Esto exige implementar programas de recuperación, economía circular y manejo responsable de dichos desechos, tal como lo plantean los estudios sobre sostenibilidad en hidroponía.

- Modificación de hábitat: Durante la fase de implementación del proyecto, se contempla únicamente el uso del área estrictamente necesaria, minimizando perturbaciones al entorno. No obstante, el Plan de Ordenamiento Territorial de San Vicente Ferrer subraya la importancia de mantener corredores de conectividad ecológica en zonas productivas, con el fin de proteger la fauna silvestre y prevenir la fragmentación del hábitat solicitados en la Ordenanza 23 de 2017 (Asamblea Departamental de Antioquia, 2017).

7.5.5. Plan de Manejo Ambiental

7.5.5.1. Programa de Gestión del Recurso Hídrico

1. Medidas de implementación:

- Diseño e instalación de sistema de recirculación NFT con recuperación del 95 por ciento del agua.
- Captación de agua lluvia mediante sistema de canaletas y tanques de almacenamiento (capacidad mínima de 10.000 litros).
- Instalación de filtros para tratamiento y reutilización de la solución nutritiva.
- Implementación de sistema de monitoreo continuo de consumo.
- Programa de mantenimiento preventivo para detección temprana de fugas.

2. Indicadores de Seguimiento:

- Consumo de agua por kg de producto (meta: <20 litros/kg).
- Porcentaje de agua recirculada (meta: >90%).
- Volumen de agua lluvia aprovechada (meta: >50% de la precipitación sobre área de invernadero).
- Eficiencia de uso del agua (EUA): kg producido/m³ de agua consumida.

3. Cronograma de Implementación:

- Mes 1-2: Diseño detallado del sistema de recirculación y captación.
- Mes 3-4: Instalación de sistemas de captación de agua lluvia.
- Mes 4-5: Implementación de sistema NFT con recirculación.
- Mes 6: Puesta en marcha y calibración de sistemas.

7.5.5.2. Programa de Gestión de Residuos

1. Medidas de Implementación:

- Compostaje de material vegetal no comercializable mediante técnica de compostaje aeróbico.
- Sistema de recolección y clasificación de residuos inorgánicos (separación en fuente).
- Reutilización de sustratos agotados como mejoradores de suelo en otras áreas de la finca.
- Devolución de envases de agroquímicos a programa posconsumo Campo Limpio.
- Reciclaje de tubería PVC y materiales plásticos al final de su vida útil.

2. Indicadores de Seguimiento:

- Porcentaje de residuos vegetales compostados (meta: 100%).
- Porcentaje de residuos inorgánicos reciclados (meta: >70%).
- Kg de residuos generados por tonelada de producto (meta: reducción progresiva).
- Tasa de aprovechamiento de sustratos agotados (meta: >90%).

3. Cronograma de Implementación:

- Mes 1: Diseño de sistema de clasificación y puntos ecológicos.
- Mes 2-3: Construcción de área de compostaje.
- Mes 4: Establecimiento de convenios con programas de posconsumo.
- Mes 5-6: Capacitación al personal en gestión de residuos.

7.5.5.3. Programa de Eficiencia Energética

1. Medidas de Implementación:

- Instalación de sistema fotovoltaico de 5 kWp para bombas de recirculación y equipos.

- Diseño bioclimático del invernadero para minimizar necesidades de climatización.
- Utilización de bombas y equipos de alta eficiencia energética (Clase A).
- Programación de ciclos de bombeo en horarios óptimos.
- Iluminación LED de bajo consumo para áreas de trabajo.

2. Indicadores de Seguimiento:

- Consumo energético por kg de producto (kWh/kg).
- Porcentaje de energía de fuentes renovables (meta: >50%).
- Emisiones de CO₂ equivalente por kg de producto.
- Retorno de inversión de medidas de eficiencia energética.

3. Cronograma de Implementación:

- Mes 1-2: Estudio de factibilidad y dimensionamiento del sistema fotovoltaico.
- Mes 3-4: Adquisición e instalación de equipos eficientes.
- Mes 5-6: Instalación del sistema fotovoltaico.
- Mes 7: Optimización y monitoreo de consumos.

7.5.5.4. *Programa de Conservación de Biodiversidad*

1. Medidas de Implementación:

- Establecimiento de barreras vivas con especies nativas alrededor del proyecto.
- Implementación de técnicas de control biológico para manejo de plagas.
- Restricción del área intervenida al mínimo necesario.
- Preservación de la vegetación natural en el resto de la finca.
- Instalación de hoteles de insectos y refugios para polinizadores.

2. Indicadores de Seguimiento:

- Superficie de áreas naturales conservadas (ha).

- Número de especies benéficas identificadas en monitoreos.
 - Porcentaje de control biológico vs. control químico de plagas.
 - Incidencia de plagas y enfermedades en cultivo.
3. Cronograma de Implementación:
- Mes 1: Inventario de biodiversidad en la finca (línea base).
 - Mes 2-3: Planificación y diseño de corredores biológicos.
 - Mes 4-5: Implementación de barreras vivas y hoteles de insectos.
 - Mes 6 en adelante: Monitoreo trimestral de biodiversidad.

7.5.6. Estrategias de Sostenibilidad

7.5.6.1. Ciclo de Vida del Sistema Hidropónico

1. Diseño y Materiales:
- Selección de materiales duraderos y/o reciclables para la construcción del sistema.
 - Minimización del uso de plásticos de un solo uso.
 - Diseño modular que permita mantenimiento y reemplazo parcial.
 - Uso de materiales de bajo impacto ambiental cuando sea posible.
2. Operación Sostenible:
- Monitoreo continuo de parámetros ambientales para optimizar recursos.
 - Automatización parcial para maximizar eficiencia.
 - Capacitación continua del personal en buenas prácticas ambientales.
 - Implementación de protocolo de mantenimiento preventivo.
3. Fin de Vida Útil y Renovación:
- Plan de desmontaje y reciclaje de componentes al final de su vida útil.
 - Actualización tecnológica progresiva para evitar obsolescencia.
 - Reutilización de materiales en la medida de lo posible.

- Disposición adecuada de componentes no reciclables.

La siguiente es la propuesta del plan de monitoreo de los diferentes recursos, buscando su optimización y la posibilidad de llevar los indicadores y costos de consumo reales.

Tabla 51.

Plan de monitoreo

Componente	Parámetro	Frecuencia	Método de Medición	Responsable
Agua	Consumo (m ³)	Diario	Medidor de flujo	Op. Técnico
	pH y CE de solución nutritiva	Diario	Medidor portátil	Op. Técnico
	Calidad microbiológica	Trimestral	Análisis laboratorio	Ext. Contratado
	DBO y DQO de agua recirculada	Semestral	Análisis laboratorio	Ext. Contratado
Energía	Consumo (kWh)	Mensual	Medidor eléctrico	Ad. Financiero
	Generación solar (kWh)	Mensual	Inversor solar	Ad. Financiero
	Factor de eficiencia energética	Trimestral	Cálculo	Responsable Técnico
Residuos	Cantidad por tipo (kg)	Mensual	Pesaje	Operarios
	Tasa de reciclaje (%)	Mensual	Registro	Operarios
	Calidad del compost	Trimestral	Análisis físico-químico	Ext. Contratado
Producción	Rendimiento (kg/m ²)	Por ciclo	Registro cosecha	Op. Técnico
	Eficiencia recursos/producto	Mensual	Cálculo	Gerente
	Pérdidas postcosecha	Por ciclo	Registro	Op. Técnico

Fuente: Creación propia a partir del estudio realizado.

7.5.6.2. Certificaciones Ambientales Potenciales

1. Corto Plazo (1-3 años):

- Certificación en Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) del ICA.
- Sello de Agricultura Limpia de Antioquia.

- Registro como Empresa Ambientalmente Sostenible ante CORNARE.
2. Mediano Plazo (3-5 años):
 - Certificación GLOBAL G.A.P.
 - Sello de Producción Ecológica (SPC).
 - Certificación en Responsabilidad Social Empresarial.
 3. Largo Plazo (5-10 años):
 - Certificación Orgánica (si se desarrolla la línea hidropónica orgánica).
 - Huella de Carbono Verificada.
 - Certificación de Agricultura Regenerativa.

7.5.6.3. Medidas de Adaptación al Cambio Climático

1. Análisis de Vulnerabilidad:
 - Identificación de amenazas climáticas específicas para la zona.
 - Evaluación de sensibilidad del sistema productivo.
 - Determinación de capacidad adaptativa.
2. Estrategias de Adaptación:
 - Diseño de invernadero resistente a eventos meteorológicos extremos.
 - Sistemas de respaldo energético y de agua.
 - Diversificación de cultivos y variedades.
 - Sistemas de alerta temprana para condiciones adversas.
3. Plan de Contingencia Climática:
 - Protocolos de actuación ante eventos extremos.
 - Estrategias de recuperación post-evento.
 - Fondos de reserva para imprevistos climáticos.

7.5.6.4. Contribución a Objetivos de Desarrollo Sostenible

El proyecto contribuye directamente a los siguientes Objetivos de Desarrollo Sostenible:

- ODS 2: Hambre Cero: Incremento de productividad agrícola y promoción de sistemas alimentarios sostenibles.
- ODS 6: Agua Limpia y Saneamiento: Uso eficiente del agua y reducción significativa del consumo por kg de alimento producido.
- ODS 7: Energía Asequible y No Contaminante: Implementación de energía solar fotovoltaica para operación del sistema.
- ODS 8: Trabajo Decente y Crecimiento Económico: Generación de empleo local y formalización de actividad agrícola.
- ODS 12: Producción y Consumo Responsables: Uso eficiente de recursos y minimización de impactos ambientales negativos.
- ODS 13: Acción por el Clima: Menor huella de carbono por kg producido y mayor resiliencia ante cambio climático.
- ODS 15: Vida de Ecosistemas Terrestres: Preservación del suelo y reducción de presión sobre ecosistemas naturales.

Según el análisis de Crippa et al. (2021) sobre los sistemas alimentarios sostenibles, los proyectos hidropónicos bien diseñados pueden contribuir de manera significativa a múltiples Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) simultáneamente. Estos sistemas permiten maximizar sinergias entre metas, como seguridad alimentaria, salud, producción responsable y cambio climático, al tiempo que minimizan compensaciones entre ellas, favoreciendo una transformación más integral y sostenible de los sistemas agrícolas.

7.6. ESTUDIO ECONÓMICO - FINANCIERO

El estudio económico - financiero constituye la evaluación integral de la viabilidad económica del proyecto de cultivo hidropónico en la Finca Los Guadales. Este análisis consolida toda la información técnica, de mercado y operativa desarrollada en los estudios previos para determinar la rentabilidad, sostenibilidad financiera y factibilidad económica de la iniciativa.

Al seguir la metodología ONUDI, este estudio evalúa la capacidad del proyecto para generar flujos de caja positivos, recuperar la inversión inicial y crear valor para los inversionistas. En consecuencia, se calculan indicadores financieros clave como el Valor Presente Neto (VPN), la Tasa Interna de Retorno (TIR), entre otros, y el análisis de sensibilidad ante cambios en las variables críticas del proyecto.

7.6.1. Depreciaciones y amortizaciones

El análisis de depreciación de los activos del proyecto permite reflejar contablemente la pérdida de valor de los bienes de capital durante su vida útil, y es fundamental, tanto para la estimación de gastos no monetarios en los flujos de caja del proyecto, como para proyectar el valor residual (valor en libros) de los activos al cierre del horizonte de evaluación.

Para la presente evaluación, se establecieron vidas útiles que oscilan entre cinco y 20 años, según el tipo de activo. El método utilizado para el cálculo fue el de línea recta, el cual distribuye el valor del activo de manera equitativa a lo largo de su vida útil, sin aplicar valores de salvamento por prudencia financiera.

Se clasificaron los activos en cinco grandes grupos:

- Infraestructura: incluye el invernadero tipo capilla en guadua (vida útil 5 años), las obras civiles (20 años) y las instalaciones eléctricas e hidráulicas (10 años).
- Sistema hidropónico: abarca el sistema de riego por recirculación NFT, tanque madre, sistema de bombeo, tuberías, filtros y equipos de medición. Estos elementos tienen una vida útil entre cinco y diez años.
- Muebles y enseres: como la mesa de acero inoxidable y el mobiliario del centro de acopio, con una vida útil de diez años.
- Herramientas: incluye canastillas y utensilios de campo con una vida útil estimada en cinco años.
- Equipos de computación y mobiliario: con vida útil también de cinco años.

Tabla 52.

Depreciaciones de las inversiones

Activo	Año Inv.	Valor Inicial	Vida Útil	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
INFRAESTRUCTURA (5-20 años)		\$ 88.104.080		\$ 5.416.600	\$ 8.224.600	\$ 12.465.616	\$ 12.465.616	\$ 12.465.616
Invernadero Año 1	1	\$ 15.100.000	5	\$ 3.020.000	\$ 3.020.000	\$ 3.020.000	\$ 3.020.000	\$ 3.020.000
Invernadero Año 2	2	\$ 14.040.000	5	\$ 0	\$ 2.808.000	\$ 2.808.000	\$ 2.808.000	\$ 2.808.000
Invernadero Año 3	3	\$ 13.132.080	5	\$ 0	\$ 0	\$ 2.626.416	\$ 2.626.416	\$ 2.626.416
Obra civil	1,3	\$ 43.732.000	20	\$ 2.186.600	\$ 2.186.600	\$ 3.801.200	\$ 3.801.200	\$ 3.801.200
Instalaciones	1	\$ 2.100.000	10	\$ 210.000	\$ 210.000	\$ 210.000	\$ 210.000	\$ 210.000
SISTEMA HIDROPÓNICO (5-10 años)		\$ 92.021.192		\$ 4.556.100	\$ 7.061.917	\$ 9.467.628	\$ 9.467.628	\$ 9.467.628
Tubos PVC Año 1	1	\$ 9.408.000	10	\$ 940.800	\$ 940.800	\$ 940.800	\$ 940.800	\$ 940.800
Tubos PVC Año 2	2	\$ 9.784.320	10	\$ 0	\$ 978.432	\$ 978.432	\$ 978.432	\$ 978.432
Tubos PVC Año 3	3	\$ 9.282.874	10	\$ 0	\$ 0	\$ 928.287	\$ 928.287	\$ 928.287
Montaje camas Año 1	1	\$ 3.240.000	5	\$ 648.000	\$ 648.000	\$ 648.000	\$ 648.000	\$ 648.000
Montaje camas Año 2	2	\$ 3.369.600	5	\$ 0	\$ 299.520	\$ 299.520	\$ 299.520	\$ 299.520
Montaje camas Año 3	3	\$ 3.196.908	5	\$ 0	\$ 0	\$ 284.170	\$ 284.170	\$ 284.170
Sistema bombeo	1	\$ 3.495.507	10	\$ 349.551	\$ 349.551	\$ 349.551	\$ 349.551	\$ 349.551
Tanque madre	1	\$ 9.754.900	10	\$ 975.490	\$ 975.490	\$ 975.490	\$ 975.490	\$ 975.490
Tuberías alta presión	1,2,3	\$ 24.392.675	10	\$ 896.960	\$ 1.663.398	\$ 2.439.268	\$ 2.439.268	\$ 2.439.268
Tuberías baja presión	1,2,3	\$ 14.904.521	10	\$ 611.640	\$ 1.073.067	\$ 1.490.452	\$ 1.490.452	\$ 1.490.452
Instrumentos medición	1	\$ 1.047.188	10	\$ 104.719	\$ 104.719	\$ 104.719	\$ 104.719	\$ 104.719
Filtros	1	\$ 144.700	5	\$ 28.940	\$ 28.940	\$ 28.940	\$ 28.940	\$ 28.940
MUEBLES Y ENSERES (10 años)		\$ 22.464.260		\$ 1.015.000	\$ 1.015.000	\$ 2.246.426	\$ 2.246.426	\$ 2.246.426
Mesa inoxidable	1,3	\$ 4.464.260	10	\$ 215.000	\$ 215.000	\$ 446.426	\$ 446.426	\$ 446.426
Mobiliario e insumo	1,3	\$ 18.000.000	10	\$ 800.000	\$ 800.000	\$ 1.800.000	\$ 1.800.000	\$ 1.800.000
HERRAMIENTAS (5 años)		\$ 5.621.057		\$ 478.790	\$ 731.761	\$ 1.124.211	\$ 1.124.211	\$ 1.124.211
Canastillas	1,2,3	\$ 2.321.057	5	\$ 178.790	\$ 271.761	\$ 464.211	\$ 464.211	\$ 464.211
Herramientas y utensilios	1,2,3	\$ 3.300.000	5	\$ 300.000	\$ 460.000	\$ 660.000	\$ 660.000	\$ 660.000
EQUIPOS DE COMPUTACIÓN (5 años)		\$ 4.276.969		\$ 411.960	\$ 411.960	\$ 855.394	\$ 855.394	\$ 855.394
Computadores	1,3	\$ 4.276.969	5	\$ 411.960	\$ 411.960	\$ 855.394	\$ 855.394	\$ 855.394
TOTAL DEPRECIACIÓN ANUAL				\$ 11.878.450	\$ 17.445.239	\$ 26.159.276	\$ 26.159.276	\$ 26.159.276

Fuente: Creación propia a partir del estudio realizado.

Durante el período de evaluación del proyecto (años 1 a 5), se observan variaciones progresivas en la depreciación anual, debido a la incorporación paulatina de nuevas inversiones en los años 2 y 3. La depreciación más alta se presenta a partir del año 3, cuando el proyecto alcanza su capacidad instalada plena. Al finalizar el año 5, el proyecto aún conserva un valor en libros aproximado de \$104.686.043 COP, correspondiente a la porción de activos que no han cumplido su vida útil total (particularmente obras civiles, instalaciones y parte del sistema hidropónico adquirido en años posteriores).

Este valor residual es clave para el análisis de sostenibilidad del proyecto en una eventual fase de crecimiento o extensión, y podría representar un punto de partida para una futura valorización o renovación tecnológica.

Tabla 53.*Valor en libros de los activos*

Resumen Depreciación por Año	Valor Activos	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Depreciación Acumulada	Valor en libros
Infraestructura (5-20 años)	\$ 88.104.080	\$ 5.416.600	\$ 8.224.600	\$ 12.465.616	\$ 12.465.616	\$ 12.465.616	\$ 51.038.048	\$ 37.066.032
Sistema Hidropónico (10 años)	\$ 92.021.192	\$ 4.556.100	\$ 7.061.917	\$ 9.467.628	\$ 9.467.628	\$ 9.467.628	\$ 40.020.902	\$ 52.000.291
Muebles y Enseres (10 años)	\$ 22.464.260	\$ 1.015.000	\$ 1.015.000	\$ 2.246.426	\$ 2.246.426	\$ 2.246.426	\$ 8.769.278	\$ 13.694.982
Herramientas (5 años)	\$ 5.621.057	\$ 478.790	\$ 731.761	\$ 1.124.211	\$ 1.124.211	\$ 1.124.211	\$ 4.583.186	\$ 1.037.871
Equipos Computación (5 años)	\$ 4.276.969	\$ 411.960	\$ 411.960	\$ 855.394	\$ 855.394	\$ 855.394	\$ 3.390.101	\$ 886.867
TOTAL ANUAL	\$ 212.487.558	\$ 11.878.450	\$ 17.445.239	\$ 26.159.276	\$ 26.159.276	\$ 26.159.276	\$ 107.801.515	\$ 104.686.043

Fuente: Creación propia a partir del estudio realizado.

En la inversión inicial se incluyen los gastos de constitución del proyecto y la obtención de certificaciones requeridas, como el registro ante Cámara de Comercio, trámites ante la DIAN, permisos operativos, y la certificación del ICA y Buenas Prácticas Agrícolas (BPA). Estas erogaciones, si bien no representan activos tangibles, sí corresponden a inversiones necesarias para el inicio y legalización del proyecto productivo. Su valor total asciende a \$7.537.690 COP, realizados principalmente durante los años 1 y 3, en correspondencia con las fases de expansión del sistema productivo.

Dado que estos gastos no se consumen en un solo periodo contable, sino que tienen beneficios proyectados a lo largo de la vida útil del proyecto, se opta por aplicar el método de amortización lineal en un horizonte de cinco años para estos gastos en el primer año y de tres años para los gastos del tercer año, coherente con la duración del análisis financiero.

7.6.2. Cálculo y estimación de la TIO del proyecto

En la evaluación de proyectos de inversión, uno de los aspectos más relevantes para determinar su viabilidad es la selección de una tasa de descuento adecuada. Conocida también como Tasa Interna de Oportunidad (TIO), representa el costo de oportunidad del capital invertido, es decir, la rentabilidad mínima que se espera obtener al destinar recursos a un proyecto, en lugar de invertirlos en otras alternativas con riesgo similar (Sapag Chain & Sapag Chain, 2008).

Inicialmente, no se cuenta con una tasa predefinida para este proyecto de cultivo hidropónico, ya que no se trata de una empresa establecida con un historial financiero del cual derivar un costo promedio ponderado de capital (WACC). Por tanto, fue necesario realizar un análisis contextual, normativo y financiero para definir una TIO adecuada y coherente con la naturaleza del proyecto y las condiciones del entorno colombiano.

De acuerdo con información técnica de Finagro, durante 2024 y 2025, las tasas efectivas anuales para líneas de crédito agropecuario han oscilado entre el 10 y el 14 por ciento, dependiendo del tipo de productor, el nivel de riesgo, el destino del crédito y el acceso a subsidios (Finagro, 2025). Estas tasas aplican tanto para crédito popular rural como para líneas de redescuento ofrecidas a través del Banco Agrario y otras entidades financieras aliadas (Finagro, 2024). En el caso particular de iniciativas sostenibles y rurales con nivel medio de riesgo, se recomienda utilizar una tasa en el rango superior del intervalo. Tales directrices fueron un punto de partida para el análisis.

El proyecto por desarrollar se caracteriza por ser intensivo en inversión inicial, con una fase de crecimiento escalonada y una implementación basada en tecnología NFT, lo que requiere conocimientos técnicos específicos. Aunque se dirige a un mercado potencialmente premium y especializado, como restaurantes y consumidores conscientes, existen riesgos importantes asociados al uso de tecnología, las exigencias normativas, la dependencia de insumos externos y la variabilidad de la demanda. Estas condiciones elevan el perfil de riesgo, especialmente por estar ubicado en una zona rural como San Vicente Ferrer, donde existen limitaciones estructurales en términos de infraestructura, acceso a crédito y acompañamiento técnico.

De forma complementaria, se revisaron estudios previos de proyectos similares en Colombia. En particular, el “Estudio de viabilidad financiera de los cultivos hidropónicos en el Oriente Antioqueño” (Castrillón Velásquez & Duque Hoyos, 2019) utilizó tasas de entre el 12 y el 14 por ciento, considerando factores como el tipo de tecnología, los canales de comercialización y los requerimientos de sostenibilidad y el cálculo del WACC. Este precedente respalda la adopción de una tasa dentro del mismo rango.

Con base en este análisis, y en la experiencia documentada de proyectos agropecuarios sostenibles en el país, se determinó que **la TIO más apropiada para este estudio es del 16 por ciento efectivo anual**, ya que representa de forma equilibrada el nivel de riesgo del proyecto, su potencial de crecimiento y los desafíos propios del entorno rural colombiano.

7.6.3. Flujo de caja del proyecto

El análisis financiero del proyecto "Hidroponía Sostenible Finca Los Guadales" incluye la proyección del flujo de caja del proyecto para un horizonte temporal de cinco años, a partir del cual se evalúa su rentabilidad y sostenibilidad económica. Este flujo de caja representa los ingresos, egresos, depreciaciones, amortizaciones y otros movimientos contables relevantes que afectan la utilidad del proyecto desde una

perspectiva global, es decir, incluyendo todas las inversiones y gastos que el proyecto debe asumir directamente, sin considerar estructuras de financiamiento externas o apalancamiento de la deuda (como préstamos).

El flujo de caja se construyó proyectando las ventas anuales esperadas, con base en la capacidad instalada del sistema de cultivo escalonado, alcanzando 268.320 unidades anuales a partir del tercer año. El precio de venta se proyectó con un crecimiento anual, partiendo desde \$3.305 COP por unidad en el primer año, hasta llegar a \$4.079 COP en el año cinco, de acuerdo con las condiciones inflacionarias y tendencias de mercado.

Los egresos del proyecto se dividen en costos variables, costos fijos operacionales, gastos de personal, transporte y otros gastos de operación. En el primer año se incurre en una pérdida operativa debido a la baja escala de producción inicial y la fuerte inversión requerida. A partir del segundo año, el proyecto empieza a generar utilidades netas positivas, creciendo sostenidamente hasta alcanzar un flujo de caja neto acumulado de más de \$545 millones de pesos COP al finalizar el quinto año. Se consideraron además, las depreciaciones de activos físicos y los gastos diferidos, que incluyen constitución y certificaciones.

Adicionalmente, en el último año se incorpora el valor residual de los activos, representado por el valor en libros no depreciado, estimado en \$104.686.043, el cual se considera como un ingreso por venta de activos en el flujo de caja del proyecto.

Tabla 54.
Flujo de caja del proyecto

Flujo de caja del PROYECTO - Proyecto Hidropónicos Los Guadales							
Periodo	0	1	2	3	4	5	
Ventas proyectadas		77.740	172.380	257.280	268.320	268.320	
Precio de venta unitario		\$ 3.305	\$ 3.483	\$ 3.672	\$ 3.870	\$ 4.079	
Total INGRESOS		\$ 256.930.700	\$ 600.480.559	\$ 944.623.428	\$ 1.038.356.155	\$ 1.094.427.388	
Costos variables	\$	41.326.965	95.303.574	147.220.636	157.817.146	162.096.352	
Costos fijos operacionales	\$	23.907.872	22.810.768	27.562.279	29.491.639	31.556.053	
Gastos personal	\$	195.883.963	240.467.649	447.402.538	492.228.708	529.145.862	
Gastos de transporte	\$	52.416.000	78.624.000	94.248.000	97.075.440	99.987.703	
Otros gastos	\$	34.164.000	37.067.940	42.193.375	45.357.878	48.759.719	
Total EGRESOS	\$	347.698.799	474.273.931	758.626.827	821.970.811	871.545.690	
Utilidad BRUTA	-\$	90.768.099	126.206.627	185.996.601	216.385.344	222.881.698	
Depreciaciones	\$	11.878.450	17.445.239	26.159.276	26.159.276	26.159.276	
Amortizaciones diferidos	\$	1.207.538	1.207.538	1.707.538	1.707.538	1.707.538	
Valor en libros	\$	-	-	-	-	104.686.043	
UAIL	-\$	103.854.087	107.553.851	158.129.787	188.518.531	90.328.841	
Gastos Financieros	\$	-	-	-	-	-	
UAI	-\$	103.854.087	107.553.851	158.129.787	188.518.531	90.328.841	
Impuestos	\$	-	37.643.848	55.345.426	65.981.486	31.615.094	
Utilidad NETA	-\$	103.854.087	69.910.003	102.784.362	122.537.045	58.713.747	
Depreciaciones	\$	11.878.450	17.445.239	26.159.276	26.159.276	26.159.276	
Amortizaciones diferidos	\$	1.207.538	1.207.538	1.707.538	1.707.538	1.707.538	
Valor en libros	\$	-	-	-	-	104.686.043	
Valor de salvamento	\$	-	-	-	-	-	
Ingresos por ventas de activos	\$	-	-	-	-	104.686.043	
Ingresos por Préstamos	\$	-	-	-	-	-	
Abono a capital (Amortización)	\$	-	-	-	-	-	
Valor terminal deuda (capital pendiente)	\$	-	-	-	-	-	
Inversiones	\$	91.457.737	40.737.431	87.830.080	-	-	
Flujo de Caja Neto	-\$	91.457.737	131.505.531	732.699	130.651.175	150.403.859	295.952.646

Fuente: Creación propia a partir del estudio realizado

Tabla 55.
Indicadores financieros del proyecto

TIR	30%
VPN	\$ 103.396.238
CAUE	\$ 31.578.181
RCB	1,04
IRINI	2,13
PRI financiero	4,27
PRI contable	3,61

Fuente: Creación propia a partir del estudio realizado.

La evaluación de los indicadores financieros del proyecto demuestra una viabilidad económica. Con una TIR del 30 por ciento superior a la Tasa Interna de Oportunidad (TIO) estimada del 16 por ciento, y un Valor Presente Neto (VPN) positivo de \$103.396.238, el cual demuestra que el proyecto genera beneficios por encima del costo del capital invertido.

La relación costo–beneficio (RCB) de 1,04 y el Índice de Rentabilidad Neta de la Inversión (IRINI) de 2,13 reafirman su rentabilidad, mientras que el periodo de recuperación de la inversión (PRI financiero) se sitúa en 4,27 años, lo cual garantiza la recuperación total dentro del horizonte de análisis de cinco años. Estos resultados, junto con un Costo Anual Uniforme Equivalente (CAUE) de \$31.578.181, confirman que el proyecto es rentable, escalable y con un nivel de riesgo controlado.

Adicionalmente, el análisis del IRVA muestra que, aunque el proyecto presenta un alto nivel de inversión inicial y un desfase financiero en los dos primeros años, a partir del tercer año comienza a generar flujos de caja positivos que permiten recuperar progresivamente la amortización de la inversión. Al finalizar el año 5, el proyecto, no solo ha cubierto la totalidad de la inversión y el costo del capital, sino que alcanza un VPN acumulado positivo de \$103.396.238.

Tabla 56.
Análisis IRVA del proyecto

Periodo	Inversión por recuperar al inicio	Costo del capital invertido	Amortización de la inversión y valor agregado	Flujo de caja	Inversión por recuperar al final del periodo	Tasas de descuento	VPN acumulado en el tiempo
0					-\$ 91.457.737		
1	-\$ 91.457.737	-\$ 14.633.238	-\$ 146.138.768	-\$ 131.505.531	-\$ 237.596.505	16%	-\$ 204.824.574
2	-\$ 237.596.505	-\$ 38.015.441	-\$ 37.282.742	\$ 732.699	-\$ 274.879.247	16%	-\$ 204.280.059
3	-\$ 274.879.247	-\$ 43.980.680	\$ 86.670.496	\$ 130.651.175	-\$ 188.208.751	16%	-\$ 120.577.381
4	-\$ 188.208.751	-\$ 30.113.400	\$ 120.290.458	\$ 150.403.859	-\$ 67.918.293	16%	-\$ 37.510.669
5	-\$ 67.918.293	-\$ 10.866.927	\$ 285.085.720	\$ 295.952.646	\$ 217.167.427	16%	\$ 103.396.238

Fuente: Creación propia a partir del estudio realizado.

7.6.4. Flujo de caja del inversionista

El flujo de caja del inversionista para el proyecto permite analizar la viabilidad financiera desde la perspectiva de quien realiza el aporte de capital y, eventualmente, busca retorno sobre su inversión. A diferencia del flujo de caja del proyecto, que considera todos los ingresos y egresos generados por la operación sin incluir fuentes de financiación, este flujo incorpora las dinámicas propias del apalancamiento financiero, como los préstamos, sus respectivos pagos de capital (amortización), los intereses y el valor terminal de la deuda.

El proyecto contempla una inversión total de \$220.025.248 COP distribuida en tres años consecutivos. Para financiar dicha inversión, se definió una estructura mixta con aportaciones propias de los socios del 30 por ciento y crédito bancario del 70 por ciento.

Tabla 57.
Financiación de las inversiones

Año	Inversión Total	Aportes Socios (30%)	Financiamiento Bancario (70%)
Año 1	\$ 91.457.737	\$ 27.437.321	\$ 64.020.416
Año 2	\$ 40.737.431	\$ 12.221.229	\$ 28.516.202
Año 3	\$ 87.830.080	\$ 26.349.024	\$ 61.481.056
TOTAL	\$ 220.025.248	\$ 66.007.574	\$ 154.017.674

Fuente: Creación propia a partir del estudio realizado.

El crédito se tiene contemplado gestionar con Bancolombia bajo línea de FINAGRO. El plazo varía dependiendo del año de inversión: el año 1 el crédito se realiza por ocho años, el año 2 por siete y el año 3 por seis años, buscando culminar todos los préstamos en el mismo año. Cada crédito se amortiza con sistema de cuotas fijas iguales (sistema francés), donde al inicio se paga mayor proporción de intereses y menor proporción de capital. Se debe de tener en cuenta que al final del último año del proyecto, se debe de realizar el pago del capital faltante del préstamo para dar cierre del proyecto, el cual tiene un valor de \$85.809.986.

La tasa de interés utilizada para los créditos solicitados en el proyecto fue determinada con base en las condiciones vigentes de financiación establecidas por FINAGRO en el año 2025. De acuerdo con el listado oficial de tasas de redescuento publicado por esta entidad, los créditos para pequeños productores rurales pueden obtenerse a tasas de IBR + 6,7 por ciento, dependiendo del perfil del beneficiario y del tipo de proyecto agropecuario (Finagro, 2025). Considerando que el Indicador Bancario de Referencia (IBR) se ubicó en aproximadamente 8,74 por ciento EA para Julio de 2025 (Banco de la República, 2025), la tasa total aplicable resulta ser del 15,44 por ciento EA.

Tal estimación refleja adecuadamente las condiciones del crédito para un proyecto agrícola con inversión en infraestructura productiva, como el sistema hidropónico propuesto, y permite incorporar el costo real de oportunidad del capital con base en parámetros oficiales y de mercado.

Con esto, el flujo de caja del inversionista queda de la siguiente forma:

Tabla 58.

Flujograma del inversionista

Flujo de caja del INVERSIONISTA - Proyecto Hidropónicos Los Guadales						
Periodo	0	1	2	3	4	5
Ventas proyectadas		77.740	172.380	257.280	268.320	268.320
Precio de venta unitario		\$ 3.305	\$ 3.483	\$ 3.672	\$ 3.870	\$ 4.079
Total INGRESOS		\$ 256.930.700	\$ 600.480.559	\$ 944.623.428	\$ 1.038.356.155	\$ 1.094.427.388
Costos variables	\$	41.326.965	\$ 95.303.574	\$ 147.220.636	\$ 157.817.146	\$ 162.096.352
Costos fijos operacionales	\$	23.907.872	\$ 22.810.768	\$ 27.562.279	\$ 29.491.639	\$ 31.556.053
Gastos personal	\$	195.883.963	\$ 240.467.649	\$ 447.402.538	\$ 492.228.708	\$ 529.145.862
Gastos de transporte	\$	52.416.000	\$ 78.624.000	\$ 94.248.000	\$ 97.075.440	\$ 99.987.703
Otros gastos	\$	34.164.000	\$ 37.067.940	\$ 42.193.375	\$ 45.357.878	\$ 48.759.719
Total EGRESOS	\$	347.698.799	\$ 474.273.931	\$ 758.626.827	\$ 821.970.811	\$ 871.545.690
Utilidad BRUTA	-\$	90.768.099	\$ 126.206.627	\$ 185.996.601	\$ 216.385.344	\$ 222.881.698
Depreciaciones	\$	11.878.450	\$ 17.445.239	\$ 26.159.276	\$ 26.159.276	\$ 26.159.276
Amortizaciones diferidos	\$	1.207.538	\$ 1.207.538	\$ 1.707.538	\$ 1.707.538	\$ 1.707.538
Valor en libros	\$	-	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 104.686.043
UAI	-\$	103.854.087	\$ 107.553.851	\$ 158.129.787	\$ 188.518.531	\$ 90.328.841
Gastos Financieros	\$	9.884.752	\$ 13.579.082	\$ 21.861.303	\$ 19.391.517	\$ 16.540.396
UAI	-\$	113.738.840	\$ 93.974.768	\$ 136.268.485	\$ 169.127.014	\$ 73.788.446
Impuestos	\$	-	\$ 32.891.169	\$ 47.693.970	\$ 59.194.455	\$ 25.825.956
Utilidad NETA	-\$	113.738.840	\$ 61.083.599	\$ 88.574.515	\$ 109.932.559	\$ 47.962.490
Depreciaciones	\$	11.878.450	\$ 17.445.239	\$ 26.159.276	\$ 26.159.276	\$ 26.159.276
Amortizaciones diferidos	\$	1.207.538	\$ 1.207.538	\$ 1.707.538	\$ 1.707.538	\$ 1.707.538
Valor en libros	\$	-	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 104.686.043
Valor de salvamento	\$	-	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Ingresos por ventas de activos	\$	-	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 104.686.043
Ingresos por Préstamos	\$	64.020.416	\$ 28.516.202	\$ 61.481.056	\$ -	\$ -
Abono a capital (Amortización)	\$	4.589.194	\$ 7.839.731	\$ 15.996.023	\$ 18.465.809	\$ 21.316.930
Valor terminal deuda (capital pendiente)	\$	-	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 85.809.986
Inversiones	\$	91.457.737	\$ 40.737.431	\$ 87.830.080	\$ -	\$ -
Flujo de Caja Neto	-\$	27.437.321	-\$ 117.463.275	\$ 45.547.620	\$ 100.445.305	\$ 119.333.563

Fuente: Creación propia a partir del estudio realizado.

Tabla 59.

Indicadores financieros del inversionista

TIR	45%
VPN	\$ 120.192.032
CAUE	\$ 36.707.774
RCB	1,05
IRINI	5,38
PRI financiero	3,47
PRI contable	2,99

Fuente: Creación propia a partir del estudio realizado.

Los indicadores financieros del flujo de caja del inversionista confirman la rentabilidad del proyecto. La TIR del 45 por ciento supera ampliamente la TIO del 16 por ciento, lo que refleja un retorno atractivo sobre el capital invertido. El VPN de \$120.192.032 indica una generación positiva de valor para los socios, mientras que el CAUE de \$36.707.774 representa ingresos anuales equivalentes sólidos.

El RCB de 1,05 señala que por cada peso invertido se obtiene \$1,05, y el IRINI de 5,38 destaca la eficiencia del capital propio al generar más de cinco veces su valor. Los periodos de recuperación, financiero (3,47 años) y contable (2,99 años), se ubican dentro de rangos aceptables para proyectos agroindustriales.

En cuanto a la comparación con los indicadores del flujo de caja del proyecto, la similitud en los resultados (especialmente en el VPN y los periodos de recuperación) evidencia que el proyecto es rentable, tanto para el negocio en su conjunto, como para los socios inversores. La principal diferencia es la mayor TIR e IRINI en el flujo del inversionista, producto del uso de apalancamiento financiero, lo que demuestra que el uso estratégico del crédito aumenta la rentabilidad del capital propio invertido.

El análisis del IRVA (Indicador de Recuperación del Valor Agregado) para el flujo de caja del inversionista muestra una tendencia de recuperación progresiva del capital invertido a lo largo del proyecto. En el primer año, el valor presente neto acumulado cae hasta -\$128.698.765, reflejando el fuerte impacto inicial de los egresos. Sin embargo, a partir del tercer año se comienza a amortizar significativamente la inversión, y para el quinto año, el VPN acumulado alcanza \$120.192.032, evidenciando que el valor generado por el proyecto supera ampliamente el capital invertido y su costo. En comparación con el IRVA del proyecto general, este flujo presenta una mayor rentabilidad y velocidad de recuperación. Ello obedece al efecto del apalancamiento financiero, que permite que el inversionista obtenga mejores márgenes con una menor inversión inicial directa. Así, aunque los flujos iniciales son más negativos, la rentabilidad neta es mayor, confirmando la viabilidad económica del esquema de financiación propuesto.

Tabla 60.
Análisis IRVA del inversionista

Periodo	Inversion por recuperar al inicio	Costo del capital invertido	Amortizacion de la inversion y valor agregado	Flujo de caja	Inversion por recuperar al final del periodo	Tasas de descuento	VPN acumulado en el tiempo
0					-\$ 27.437.321		
1	-\$ 27.437.321	-\$ 4.389.971	-\$ 121.853.246	-\$ 117.463.275	-\$ 149.290.567	16%	-\$ 128.698.765
2	-\$ 149.290.567	-\$ 23.886.491	\$ 21.661.130	\$ 45.547.620	-\$ 127.629.438	16%	-\$ 94.849.463
3	-\$ 127.629.438	-\$ 20.420.710	\$ 80.024.595	\$ 100.445.305	-\$ 47.604.842	16%	-\$ 30.498.408
4	-\$ 47.604.842	-\$ 7.616.775	\$ 111.716.789	\$ 119.333.563	\$ 64.111.946	16%	\$ 35.408.457
5	\$ 64.111.946	\$ 10.257.911	\$ 188.332.385	\$ 178.074.473	\$ 252.444.331	16%	\$ 120.192.032

Fuente: Creación propia a partir del estudio realizado.

7.6.5. Análisis de sensibilidad

El análisis de sensibilidad es una herramienta fundamental para la evaluación de proyectos, ya que permite identificar cómo se ve afectada la rentabilidad ante cambios en variables clave. En el contexto del cultivo hidropónico propuesto, este análisis cobra especial importancia dada la naturaleza del sector agropecuario, el cual está expuesto a una alta volatilidad en precios, costos de insumos y condiciones de mercado.

Para el presente proyecto se seleccionaron dos variables críticas que inciden directamente en los resultados financieros:

- El precio de venta de la lechuga, debido a que en el mercado agrícola colombiano los precios de los productos frescos presentan variaciones constantes asociadas a la oferta estacional, las condiciones climáticas, la competencia y los canales de comercialización. Un ajuste en el precio puede impactar de forma directa los ingresos, y por tanto, el Valor Presente Neto (VPN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR) del proyecto.
- El costo variable unitario, ya que incluye componentes sensibles como el precio de insumos, soluciones nutritivas, plántulas, energía, agua y materiales de empaque. Estos costos pueden verse afectados por factores externos como inflación, devaluación, cambios regulatorios o incremento en tarifas públicas.

Adicionalmente, se consideró la Tasa Interna de Oportunidad (TIO) como tercera variable, para evaluar cómo cambiaría el VPN ante distintas tasas de descuento, simulando escenarios más conservadores o exigentes desde el punto de vista financiero.

Tabla 61.
Análisis de sensibilidad del VPN

VPN		Precios								
		\$ 120.192.032	\$ 2.500	\$ 3.000	\$ 3.100	\$ 3.200	\$ 3.305	\$ 3.400	\$ 3.500	\$ 4.000
TIO	5%	441.508.182	12.133.768	87.425.447	155.255.173	226.476.386	290.914.627	358.744.353	697.892.986	
	8%	414.665.718	3.264.464	64.947.588	126.678.071	191.495.078	250.139.037	311.869.520	620.521.935	
	10%	398.447.308	12.150.388	51.861.437	109.959.886	170.963.257	226.156.783	284.255.231	574.747.474	
	12%	383.415.615	20.082.415	40.092.453	94.863.402	152.372.899	204.405.300	259.176.250	533.030.996	
	14%	369.455.847	27.170.095	29.492.554	81.208.969	135.511.204	184.641.798	236.358.213	494.940.286	
	16%	356.466.564	33.508.915	19.932.474	68.839.575	120.192.032	166.653.778	215.560.879	460.096.387	
	18%	344.357.895	39.182.307	11.299.092	57.617.659	106.252.154	150.254.793	196.573.360	428.166.194	
	20%	333.050.017	44.263.340	3.493.186	47.422.410	93.548.095	135.280.858	179.210.082	398.856.201	
	22%	322.471.863	48.816.148	3.572.478	38.147.484	81.953.445	121.587.409	163.307.372	371.907.185	
	24%	312.560.013	52.897.144	9.974.760	29.699.066	71.356.584	109.046.719	148.720.546	347.089.679	
	26%	303.257.742	56.556.052	15.781.523	21.994.215	61.658.739	97.545.690	135.321.427	324.200.115	
	28%	294.514.207	59.836.787	21.052.810	14.959.449	52.772.320	86.983.966	122.996.224	303.057.517	
	30%	286.283.735	62.778.210	25.841.850	8.529.541	44.619.500	77.272.321	111.643.712	283.500.664	
	35%	267.692.243	68.863.987	36.002.223	5.264.339	27.010.439	56.211.429	86.949.313	240.638.773	

Fuente: Creación propia a partir del estudio realizado.

Se evidencia que el proyecto es altamente sensible al precio de venta, especialmente en los rangos bajos. Con una TIO del 16 por ciento, el proyecto comienza a ser rentable a partir de un precio unitario cercano a \$3.100 COP. En el precio base proyectado de \$3.305 COP, el VPN es de \$120.192.032, validando su rentabilidad. Un aumento en el precio mejora considerablemente el resultado, lo que muestra el potencial del mercado premium. Sin embargo, una caída sostenida del precio podría llevar el proyecto a números negativos, lo cual es importante en términos de mitigación de riesgos.

Tabla 62.
Análisis de sensibilidad de la TIR

TIR	45%	Precios							
		\$ 2.500	\$ 3.000	\$ 3.100	\$ 3.200	\$ 3.305	\$ 3.400	\$ 3.500	\$ 4.000
Costo Variable	300	#¡NUM!	36%	48%	60%	73%	84%	97%	168%
	350	#¡NUM!	30%	42%	54%	67%	78%	91%	160%
	400	#¡NUM!	24%	36%	48%	61%	72%	85%	153%
	450	#¡NUM!	18%	30%	42%	55%	66%	79%	146%
	500	#¡NUM!	12%	25%	37%	49%	60%	73%	139%
	532	#¡NUM!	7%	21%	33%	45%	57%	69%	134%
	550	#¡NUM!	5%	19%	31%	43%	55%	67%	132%
	570	#¡NUM!	2%	16%	29%	41%	52%	64%	129%
	600	#¡NUM!	-3%	12%	25%	38%	49%	61%	125%
	650	#¡NUM!	-10%	5%	19%	32%	43%	55%	118%
	700	#¡NUM!	-19%	-2%	13%	26%	37%	49%	111%
	750	#¡NUM!	-30%	-10%	6%	20%	32%	43%	105%
	800	#¡NUM!	#¡NUM!	-18%	-1%	14%	26%	38%	99%

Fuente: Creación propia a partir del estudio realizado.

La TIR del proyecto responde con fuerza tanto al precio como al costo variable. El punto de equilibrio en términos de TIR positiva se ubica alrededor de un precio de \$3.100 y costos variables inferiores a \$600 por unidad. En el escenario base (\$3.305 de precio y \$532 de costo variable), la TIR es del 45 por ciento, lo que denota una alta rentabilidad. No obstante, incrementos sostenidos en los costos o caídas en el precio llevarían a una disminución crítica de la TIR, incluso volviéndola negativa por debajo de \$3.000 con altos costos.

La presencia de “#¡NUM!” se da por que la TIR es la tasa de descuento que hace que el Valor Presente Neto (VPN) sea igual a cero. Para que esta exista y sea válida, el proyecto debe generar retornos positivos suficientes en el tiempo para recuperar la inversión inicial y producir ganancias. Cuando los precios de venta son muy bajos (\$2.500 o \$3.000) y los costos variables son relativamente altos (\$550, \$600, etcétera), los flujos de caja anuales se vuelven negativos o insuficientes, por lo que no se cumple la condición matemática para calcular una TIR. En otras palabras, el flujo nunca llega a igualar o superar la inversión descontada, por lo tanto, no existe una tasa interna de retorno real que resuelva la ecuación.

7.7. ESTUDIO DE RIESGOS

El análisis de riesgos constituye un componente esencial en la evaluación integral del proyecto de cultivo hidropónico en la Finca Los Guadales. Siguiendo la metodología del Project Management Institute establecida en el PMBOK Guide (2021) y fundamentándose en los principios desarrollados por Chapman y Ward (2003) para la transformación de la gestión de riesgos hacia un enfoque de gestión de incertidumbre en proyectos, este estudio identifica los principales riesgos que podrían afectar el éxito del proyecto y evalúa su impacto potencial mediante análisis cualitativo y cuantitativo.

La gestión de riesgos en proyectos agrícolas presenta características particulares debido a la interacción entre factores técnicos, climáticos, de mercado y financieros (Anderson & Dillon, 1992). En el contexto de la hidroponía, estos riesgos se intensifican por la dependencia tecnológica, la necesidad de condiciones controladas para garantizar la productividad (Savvas & Gruda, 2018) y la sensibilidad del segmento gastronómico objetivo a fluctuaciones económicas y sociales.

7.7.1. Metodología y escalas de evaluación

Para la evaluación de riesgos del proyecto hidropónico se adoptó la metodología estándar del Project Management Institute (PMI), específicamente los lineamientos del PMBOK Guide (2021). Esta metodología permite transformar percepciones subjetivas en valores comparables mediante la asignación de valores numéricos a la probabilidad de ocurrencia y el impacto potencial de cada riesgo identificado.

La metodología utiliza escalas de cinco niveles para cada dimensión, siguiendo las mejores prácticas internacionales en gestión de riesgos establecidas por el PMI (2021) y los estándares ISO 31000 (2018) para la gestión de riesgos organizacionales. Esta aproximación proporciona un equilibrio entre precisión analítica y facilidad de uso para la toma de decisiones.

Tabla 63.

Escala de probabilidad

Nivel	Rango	Valor	Descripción
1 - Muy Baja	0-10%	1	Evento excepcional, casi imposible
2 - Baja	11-30%	2	Evento improbable, pero posible
3 - Media	31-50%	3	Puede ocurrir en algún momento
4 - Alta	51-70%	4	Muy posible que ocurra
5 - Muy Alta	71-90%	5	Ocurrirá en la mayoría de casos

Fuente: Creación propia a partir del estudio realizado.

Tabla 64.*Escala de impacto*

Nivel	Afectación	Valor	Descripción del Impacto
1 – Muy Bajo	0-3%	1	Impacto mínimo, fácilmente manejable
2 – Bajo	4-10%	2	Impacto bajo, requiere ajustes menores
3 – Medio	11-25%	3	Impacto significativo, afecta operaciones
4 - Alto	26-50%	4	Impacto grave, compromete objetivos
5 – Muy Alto	51-100%	5	Impacto severo, puede terminar proyecto

Fuente: Creación propia a partir del estudio realizado.

Tabla 65.*Clasificación de riesgos*

Fórmula: Puntuación de Riesgo = Probabilidad × Impacto	
Extremo	20-25 puntos
Alto	15-19 puntos
Moderado	10-14 puntos
Bajo	5-9 puntos
Muy Bajo	1- 4 puntos

Fuente: Creación propia a partir del estudio realizado.

7.7.2. Identificación de Riesgos

La identificación de riesgos se realizó mediante la metodología PESTEL, que examina factores Políticos, Económicos, Sociales, Tecnológicos, Ecológicos y Legales del entorno. Esta aproximación estructurada permite un análisis integral de factores externos e internos, facilitando la comprensión del entorno de riesgos y sus posibles interconexiones.

Tabla 66.

Identificación de riesgos mediante metodología PESTEL

RIESGOS	ID	ID	ID
	1	2	3
P Político	<p>RP-01: Modificaciones en el régimen tributario agrícola</p> <p>Debido a futuras reformas tributarias que puedan eliminar la exención de IVA para productos hidropónicos (artículo 424 del Estatuto Tributario) o reducir los beneficios de la Ley 2277 de 2022, puede ocurrir que se incremente significativamente la carga fiscal del proyecto, lo que provocaría una reducción del 3-5% en la rentabilidad proyectada y pérdida de competitividad frente a productos convencionales. (Probabilidad: 12%)</p>	<p>RP-02: Cambios en políticas de apoyo agropecuario</p> <p>Debido a las posibles diferencias ideológicas entre el gobierno nacional y las administraciones departamentales y municipales de Antioquia mencionadas en el documento, puede ocurrir que se suspendan o reduzcan los programas de apoyo a la agricultura sostenible y tecnificada del Plan Nacional de Desarrollo 2022-2026, lo que provocaría la pérdida de acceso a incentivos, capacitaciones técnicas y líneas de financiamiento preferencial, incrementando los costos operativos. (Probabilidad: 8%)</p>	<p>RP-03: Inestabilidad en el orden público regional</p> <p>Debido al posible resurgimiento de grupos armados ilegales en zonas rurales del Oriente Antioqueño, puede ocurrir que se interrumpan las vías de acceso entre San Vicente Ferrer y Medellín, lo que provocaría interrupciones en las entregas programadas y costos adicionales de seguridad. (Probabilidad: 4%)</p>
	<p>RE-01: Incremento significativo en tasas de interés</p> <p>Debido a posibles incrementos de las tasas de interés del Banco de la República por encima del 12% anual para responder a presiones inflacionarias, puede ocurrir que el costo de financiamiento para capital de trabajo se incremente, lo que provocaría un aumento del 6-8% en los costos financieros. (Probabilidad: 6%)</p>	<p>RE-02: Devaluación e incremento en costos de insumos importados</p> <p>Debido a la volatilidad cambiaria del peso colombiano y las presiones inflacionarias en insumos agrícolas observadas en el mercado nacional, puede ocurrir que se incrementen significativamente los costos de nutrientes hidropónicos importados, lo que provocaría presión sobre márgenes operativos y necesidad de ajustar precios. (Probabilidad: 18%)</p>	<p>RE-03: Crisis del sector gastronómico regional</p> <p>Debido a que el sector de alojamiento y servicios de comida registró contracciones en periodos recientes y considerando la sensibilidad del segmento premium a crisis económicas, puede ocurrir que se reduzca significativamente la demanda de restaurantes de alta cocina (segmento objetivo), lo que provocaría necesidad de buscar canales alternativos con márgenes menores. (Probabilidad: 7%)</p>

<p>S Sociocultural</p>	<p>RS-01: Escasez de personal técnico calificado</p> <p>Debido a las dificultades generalizadas que enfrentan las empresas agrícolas colombianas para conseguir personal técnico especializado, y la migración de jóvenes rurales de San Vicente Ferrer hacia centros urbanos, puede ocurrir que no se encuentre personal capacitado en hidroponía, lo que provocaría sobrecostos de capacitación y posibles demoras operativas. (Probabilidad: 15%)</p>	<p>RS-02: Resistencia cultural comunitaria a métodos no tradicionales</p> <p>Debido a que San Vicente Ferrer tiene una tradición agrícola familiar basada en cultivos tradicionales como papa, frijol y maíz, y considerando que gran parte de la población es rural con baja escolaridad, puede ocurrir que inicialmente la comunidad muestre cierta reserva hacia la hidroponía, lo que provocaría necesidad de actividades de socialización comunitaria con costos menores. (Probabilidad: 5%)</p>	<p>RS-03: Cambios en Preferencias del Consumidor Final</p> <p>Debido a tendencias hacia productos ultra-locales, agricultura vertical urbana o preferencias por métodos tradicionales orgánicos en el segmento gastronómico de alta cocina, puede ocurrir que evolucionen gradualmente las preferencias, lo que provocaría necesidad de ajustar la estrategia comercial y posible reducción menor en precios premium. (Probabilidad: 9%)</p>
<p>T Tecnológico/Técnico</p>	<p>RT-01: Fallas en el sistema de bombeo principal</p> <p>Debido al funcionamiento continuo de la bomba PEDROLLO HFm 6B en ciclos de 3 minutos cada 6 minutos durante 11 horas diarias, puede ocurrir que se presenten fallas mecánicas por desgaste normal o fluctuaciones eléctricas ocasionales, lo que provocaría interrupción temporal del suministro nutritivo hasta activar el sistema de respaldo. (Probabilidad: 14%)</p>	<p>RT-02: Contaminación de la Solución Nutritiva</p> <p>Debido a posibles fallas en el manejo de los 12.000 litros del tanque madre, calidad variable del agua o contaminación ocasional en el sistema NFT, puede ocurrir que se contaminen parcialmente las soluciones nutritivas con patógenos, lo que provocaría pérdidas menores de producción y necesidad de desinfección del sistema. (Probabilidad: 14%)</p>	<p>RT-03: Interrupciones en el Suministro Eléctrico</p> <p>Debido a las características del suministro eléctrico en zonas rurales de Antioquia y la dependencia del sistema de bombeo de energía eléctrica, puede ocurrir que cortes de 2-4 horas afecten ocasionalmente el sistema hidropónico, lo que provocaría estrés hídrico temporal menor en las plantas y pérdida mínima de producción. (Probabilidad: 17%)</p>
<p>E Ecológico/Ambiental</p>	<p>RA-01: Eventos climáticos extremos</p> <p>Debido al incremento en la frecuencia de eventos climáticos extremos en la Región Andina documentado por entidades meteorológicas, puede ocurrir que ocasionalmente granizo, vientos fuertes o lluvias torrenciales dañen la estructura del invernadero de guadua y polisombra, lo que provocaría pérdidas importantes de infraestructura y cultivos en desarrollo. (Probabilidad: 6%)</p>	<p>RA-02: Sequías prolongadas</p> <p>Debido a períodos de escasez hídrica que se presentan cíclicamente en el Oriente Antioqueño según registros climatológicos regionales, puede ocurrir que se reduzca ocasionalmente la disponibilidad de agua del acueducto veredal, lo que provocaría limitaciones menores en el llenado del tanque de 15.000 litros y necesidad de buscar fuentes alternativas. (Probabilidad: 11%)</p>	<p>RA-03: Vectores de plagas y enfermedades externos</p> <p>Debido a la proximidad con cultivos tradicionales de papa, frijol y maíz que pueden albergar vectores de enfermedades, puede ocurrir que se introduzcan ocasionalmente patógenos al sistema hidropónico, lo que provocaría pérdidas parciales de cultivos y necesidad de implementar medidas de bioseguridad adicionales. (Probabilidad: 22%)</p>

<p>L Legal</p>	<p>RL-01: Entrada de nuevos competidores con ventajas legales</p> <p>Debido a que las barreras de entrada moderadas permiten que nuevos productores hidropónicos accedan a mejores condiciones de financiamiento o incentivos gubernamentales, puede ocurrir que compitan gradualmente en el segmento gastronómico de Medellín, lo que provocaría presión moderada a la baja en precios y pérdida parcial del mercado objetivo. (Probabilidad: 16%)</p>	<p>RL-02: Dependencia contractual de pocos clientes</p> <p>Debido a que la estrategia comercial concentra las ventas en restaurantes de alta cocina, siguiendo principios de gestión de riesgos que identifican vulnerabilidad cuando existe alta concentración de clientes, puede ocurrir que la cancelación de contratos de 2-3 clientes principales afecte significativamente las operaciones, lo que provocaría reducción importante del 40-50% de ingresos hasta diversificar la cartera. (Probabilidad: 25%)</p>	<p>RL-03: Incumplimiento de normativa BPA y trazabilidad</p> <p>Debido a errores en el cumplimiento de la Resolución ICA 30021 de 2017 sobre BPA o fallas en el sistema de trazabilidad requerido por la Resolución 5109 de 2005, puede ocurrir que se pierda temporalmente la certificación para venta a restaurantes, lo que provocaría pérdida significativa del acceso al mercado objetivo hasta obtener nueva certificación. (Probabilidad: 13%)</p>
-----------------------	---	--	---

Fuente: Creación propia a partir del estudio realizado.

7.7.3. Análisis cualitativo de riesgos

El análisis cualitativo constituye el proceso sistemático de priorización de riesgos mediante la aplicación de escalas de probabilidad e impacto previamente establecidas (Project Management Institute, 2021). Este análisis transforma la lista de riesgos potenciales en un conjunto organizado que facilita decisiones estratégicas sobre dónde concentrar esfuerzos de gestión y mitigación, siguiendo la metodología estándar para la evaluación cualitativa de riesgos de proyectos (Project Management Institute, 2021).

7.7.3.1. Matriz de riesgos

La matriz de riesgos consolida cuantitativamente el proceso de evaluación, presentando todos los riesgos identificados con sus calificaciones de probabilidad, impacto y nivel crítico resultante. Esta herramienta facilita la toma de decisiones al proporcionar una base objetiva para la priorización de recursos y esfuerzos de mitigación, siguiendo los principios establecidos en la gestión moderna de riesgos de proyectos (Chapman & Ward, 2003).

La construcción siguió un proceso riguroso donde cada riesgo fue analizado considerando las características específicas del proyecto y las condiciones del entorno local. La puntuación final se obtiene multiplicando probabilidad por impacto, generando una escala que facilita la comparación directa entre riesgos de naturaleza diferente y permite identificar aquellos que requieren atención inmediata.

Tabla 67.
Matriz de riesgos del proyecto hidropónico

CÓDIGO	CATEGORÍA	RIESGO	PROBABILIDAD	IMPACTO	PUNTUACIÓN	CLASIFICACIÓN
RL-02	Legal	Dependencia contractual de pocos clientes	2	4	8	BAJO
RL-03	Legal	Incumplimiento de normativa BPA y trazabilidad	2	3	6	BAJO
RA-01	Ambiental	Eventos climáticos extremos	1	5	5	BAJO
RA-03	Ambiental	Vectores de plagas y enfermedades externos	2	2	4	MUY BAJO
RL-01	Legal	Entrada de nuevos competidores con ventajas legales	2	2	4	MUY BAJO
RE-02	Económico	Devaluación e incremento en costos de insumos Importados	2	2	4	MUY BAJO
RT-02	Tecnológico	Contaminación de la Solución Nutritiva	2	2	4	MUY BAJO
RE-03	Económico	Crisis del sector gastronómico regional	1	3	3	MUY BAJO
RT-03	Tecnológico	Interrupciones en el suministro eléctrico	2	1	2	MUY BAJO
RP-01	Político	Modificaciones en el régimen tributario agrícola	2	1	2	MUY BAJO
RT-01	Tecnológico	Fallas en el sistema de bombeo principal	2	1	2	MUY BAJO
RS-03	Social	Cambios en preferencias del consumidor final	1	2	2	MUY BAJO

RA-02	Ambiental	Sequías prolongadas	2	1	2	MUY BAJO
RS-01	Social	Escasez de personal técnico calificado	2	1	2	MUY BAJO
RP-02	Político	Cambios en políticas de apoyo agropecuario	1	1	1	MUY BAJO
RE-01	Económico	Incremento significativo en tasas de interés	1	1	1	MUY BAJO
RP-03	Político	Inestabilidad en el orden público regional	1	1	1	MUY BAJO
RS-02	Social	Resistencia cultural comunitaria a métodos no tradicionales	1	1	1	MUY BAJO

Fuente: Creación propia a partir del estudio realizado.

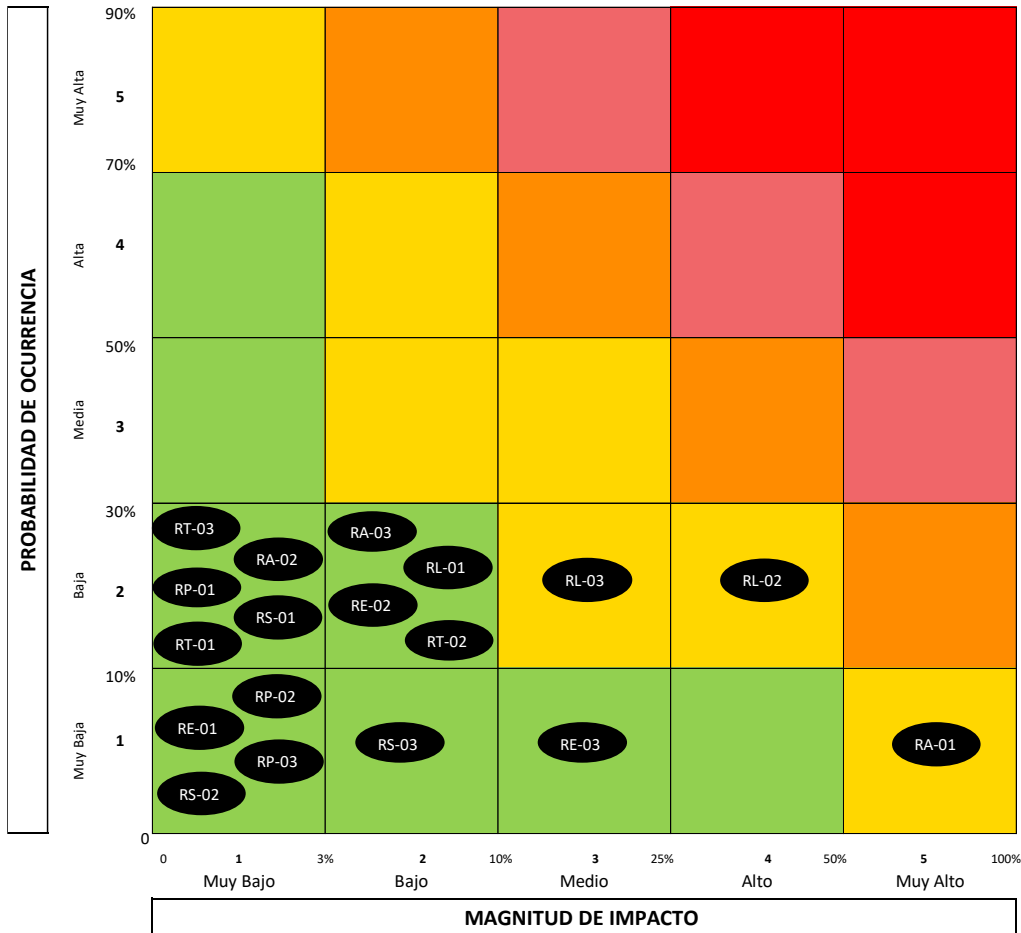
7.7.3.2. Mapa de calor de riesgos

El mapa de calor proporciona una representación visual que facilita la comprensión intuitiva de la distribución de riesgos según probabilidad e impacto. Esta herramienta gráfica complementa la matriz numérica permitiendo identificar patrones, concentraciones y brechas en el perfil de riesgo del proyecto.

La visualización utiliza código de colores donde tonalidades intensas (rojas) representan riesgos de mayor criticidad que requieren atención prioritaria, mientras que tonalidades suaves (verdes y amarillas) indican riesgos de menor impacto. Esta representación sigue estándares internacionales del PMBOK Guide facilitando la interpretación rápida y comunicación efectiva con *stakeholders* para la toma de decisiones estratégicas.

Ilustración 17.

Mapa de calor de riesgos



Fuente: Creación propia a partir del estudio realizado.

Distribución de riesgos por nivel:

Riesgos Bajos (3 riesgos – 16,67%)

- RL-02: Dependencia contractual de pocos clientes (8 puntos).
- RL-03: Incumplimiento normativa BPA y trazabilidad (6 puntos).
- RA-01: Eventos climáticos extremos (5 puntos).

Riesgos Muy Bajos (15 riesgos – 83,33%)

- 4 puntos (4 Riesgos): RA-03: Vectores de plagas y enfermedades externos, RL-01: Entrada de nuevos competidores con ventajas legales, RE-02:

- Devaluación e incremento en costos de insumos importados, RT-02: Contaminación de la solución nutritiva.
- 3 puntos (1 Riesgo): RE-03: Crisis del sector gastronómico regional.
 - 2 puntos (6 Riesgos): RT-03: Interrupciones en el suministro eléctrico, RP-01: Modificaciones en el régimen tributario agrícola, RT-01: Fallas en el sistema de bombeo principal, RS-03: Cambios en preferencias del consumidor final, RA-02: Sequías prolongadas, RS-01: Escasez de personal técnico.
 - 1 punto (4 Riesgos): RP-02: Cambios en políticas de apoyo agropecuario, RE-01: Incremento tasas interés RP-03: Inestabilidad en el orden público regional, RS-02: Resistencia cultural comunitaria a métodos no tradicionales.

7.7.3.3. Estrategias de mitigación de riesgos

Las estrategias de mitigación de riesgos constituyen el conjunto de acciones preventivas y reactivas diseñadas para reducir la probabilidad de ocurrencia de eventos adversos o minimizar su impacto en el proyecto. Siguiendo la metodología del PMI, las estrategias se clasifican en cuatro tipos principales: evitar (eliminar el riesgo), mitigar (reducir probabilidad o impacto), transferir (trasladar el riesgo a terceros) y aceptar (asumir el riesgo con plan de contingencia). Para el proyecto hidropónico en la Finca Los Guadales, se han desarrollado estrategias específicas priorizando los tres riesgos clasificados como BAJOS, ya que representan las únicas amenazas que requieren atención especial.

Tabla 68.

Estrategias de mitigación de riesgos

CÓDIGO	CATEGORÍA	RIESGO	ESTRATEGIA DE RESPUESTA	RESPONSABLE	CRONOGRAMA
RL-02	Legal	Dependencia contractual de pocos clientes	<p>Estrategia: MITIGAR</p> <p>Tipo: Diversificación Activa de Cartera</p> <p>Acciones específicas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Establecer máximo 20% de ventas por cliente • Desarrollar contratos escalonados 30-60-90 días • Establecer base mínima de 23 clientes activos para año 1 • Desarrollar canales secundarios • Base de datos de clientes potenciales. 	Director Comercial y Gerencia General	Inmediato (Mes 1-6) Revisión mensual

RL-03	Legal	Incumplimiento de normativa BPA y trazabilidad	<p>Estrategia: EVITAR</p> <p>Tipo: Cumplimiento normativo estricto desde el inicio</p> <p>Acciones específicas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Contratación consultoría especializada en BPA • Auditorías internas trimestrales • Personal certificado en manipulación alimentos • Sistema digital de trazabilidad completa • Pre-auditorías semestrales. 	Director Técnico	Inmediato (Antes de inicio) Auditorías trimestrales
RA-01	Ambiental	Eventos climáticos extremos	<p>Estrategia: TRANSFERIR + MITIGAR</p> <p>Tipo: Seguro Agrícola + refuerzo preventivo</p> <p>Acciones específicas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Contratar póliza de seguro agrícola que cubra estructura e inventarios • Reforzar estructura del invernadero con materiales resistentes a granizo • Instalar sistema de drenaje perimetral para lluvias torrenciales • Protocolo de protección ante alertas meteorológicas. 	Gerencia General y director técnico	Inmediato (Antes de inicio) Revisión anual de pólizas

Fuente: Creación propia a partir del estudio realizado.

Para los 15 riesgos clasificados como "MUY BAJOS", se implementará una estrategia específica de ACEPTAR debido a que su puntuación de riesgo (1-4 puntos) indica un impacto limitado en la viabilidad del proyecto. Estos riesgos serán gestionados mediante monitoreo básico semestral a cargo del Gerente General, quien evaluará su evolución y activará medidas correctivas únicamente si su probabilidad o impacto aumentan significativamente, optimizando así los recursos destinados a la gestión de riesgos del proyecto.

7.7.4. Análisis cuantitativo de riesgos

El análisis cuantitativo de riesgos constituye la etapa avanzada de evaluación que transforma las valoraciones cualitativas en estimaciones numéricas precisas del impacto financiero potencial (Project Management Institute, 2021). Utilizando técnicas de simulación Monte Carlo mediante el software @RISK, este análisis permite cuantificar el valor esperado de las pérdidas y proporciona una base sólida para la toma de decisiones sobre reservas de contingencia y estrategias de mitigación, siguiendo las metodologías estándar para análisis cuantitativo de riesgos en proyectos (Project Management Institute, 2021). Para este proyecto, se modelaron 18 eventos de riesgo identificados en

el análisis cualitativo, utilizando dos distribuciones probabilísticas fundamentales recomendadas en la literatura de análisis de riesgos:

Distribución Binomial para Ocurrencia: Cada evento se modela como una variable binomial que determina si el riesgo ocurre (1) o no ocurre (0) en un año determinado, basándose en las probabilidades anuales establecidas en el análisis cualitativo.

Distribución Triangular para Impacto: Cuando un evento ocurre, su impacto financiero se modela mediante una distribución triangular que considera tres escenarios (Project Management Institute, 2021):

- **Impacto mínimo (5%):** Escenario optimista donde el evento genera el menor daño posible.
- **Impacto medio:** Escenario más probable basado en experiencias similares, bajo los criterios definidos por el proyecto con apoyo de expertos se establecen los costos medios en caso de materializarse el evento.
- **Impacto máximo (15%):** Escenario pesimista con las mayores consecuencias posible.

Tabla 69.

Matriz de probabilidad e impacto de los riesgos

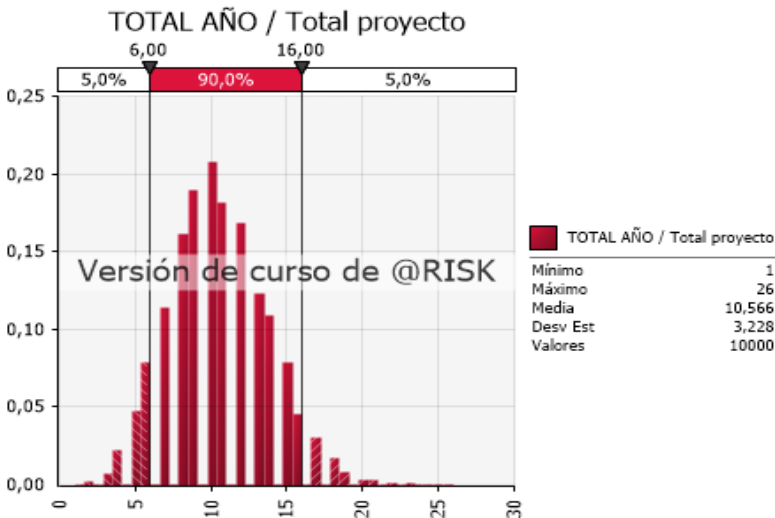
Evento	Pi	Binomial	5%	Medio	15%	Triangular (Xi)	Pi*Xi	Binomial*Triangular
	Probabilidad por año	Ocorre?	Impacto si ocurre min (\$)	Impacto si ocurre (\$)	Impacto si ocurre max (\$)	Impacto probable (\$)	Impacto medio (\$)	Impact real (muestral) (\$)
RP-01	12%	0	\$ 3.921.442	\$ 4.127.834	\$ 4.747.009	\$ 4.265.428	\$ 511.851	0
RP-02	8%	0	\$ 2.421.466	\$ 2.548.912	\$ 2.931.249	\$ 2.633.876	\$ 210.710	0
RP-03	4%	0	\$ 1.869.204	\$ 1.967.583	\$ 2.262.720	\$ 2.033.169	\$ 81.327	0
RE-01	6%	0	\$ 2.836.074	\$ 2.985.341	\$ 3.433.142	\$ 3.084.852	\$ 185.091	0
RE-02	18%	0	\$ 5.346.497	\$ 5.627.892	\$ 6.472.076	\$ 5.815.488	\$ 1.046.788	0
RE-03	7%	0	\$ 11.160.890	\$ 11.748.305	\$ 13.510.551	\$ 12.139.915	\$ 849.794	0
RS-01	15%	0	\$ 2.985.618	\$ 3.142.756	\$ 3.614.169	\$ 3.247.515	\$ 487.127	0
RS-02	5%	0	\$ 1.457.890	\$ 1.534.621	\$ 1.764.814	\$ 1.585.775	\$ 79.289	0
RS-03	9%	0	\$ 4.449.716	\$ 4.683.912	\$ 5.386.499	\$ 4.840.042	\$ 435.604	0
RT-01	14%	0	\$ 3.489.203	\$ 3.672.845	\$ 4.223.772	\$ 3.795.273	\$ 531.338	0
RT-02	14%	0	\$ 5.124.459	\$ 5.394.167	\$ 6.203.292	\$ 5.573.973	\$ 780.356	0
RT-03	17%	0	\$ 2.230.275	\$ 2.347.658	\$ 2.699.807	\$ 2.425.913	\$ 412.405	0
RA-01	6%	0	\$ 22.283.380	\$ 23.456.189	\$ 26.974.617	\$ 24.238.062	\$ 1.454.284	0
RA-02	11%	0	\$ 3.399.322	\$ 3.578.234	\$ 4.114.969	\$ 3.697.508	\$ 406.726	0
RA-03	22%	0	\$ 5.540.852	\$ 5.832.476	\$ 6.707.347	\$ 6.026.892	\$ 1.325.916	0
RL-01	16%	0	\$ 8.354.797	\$ 8.794.523	\$ 10.113.701	\$ 9.087.674	\$ 1.454.028	0
RL-02	25%	0	\$ 18.285.463	\$ 19.247.856	\$ 22.135.034	\$ 19.889.451	\$ 4.972.363	0
RL-03	13%	0	\$ 12.903.597	\$ 13.582.734	\$ 15.620.144	\$ 14.035.492	\$ 1.824.614	0
Totales		0	\$ 118.060.146	\$ 124.273.838	\$ 142.914.914	\$ 128.416.299	\$ 17.049.611	0

Fuente: Creación propia Software @Risk.

Con base en la matriz de probabilidad e impacto de los riesgos y de acuerdo con el comportamiento esperado de la probabilidad de cada uno de ellos, durante los cinco años del proyecto, se pronostica la probabilidad de ocurrencia del número total de eventos a materializarse durante todo el horizonte de evaluación del proyecto. Se evalúa con la función *RiskPoisson*, la cual genera la distribución de ocurrencia de todos los eventos de riesgo identificados a lo largo de la vida útil del proyecto hidropónico.

Ilustración 18.

Probabilidad de Ocurrencia de Riesgos



Fuente: Creación propia Software @Risk.

El histograma de la ilustración 18, muestra una distribución Poisson característica para el modelado de frecuencia de eventos independientes, donde se observa una concentración de probabilidades en valores medios con colas decrecientes hacia los extremos. De este, se puede concluir, con un nivel de certeza del 90 por ciento, que durante el horizonte de evaluación del proyecto se materializarían entre 6 y 16 eventos, con un valor esperado de 10.6 eventos totales. El máximo teórico identificado es de 26 eventos, aunque este escenario extremo presenta una probabilidad inferior al 1 por ciento.

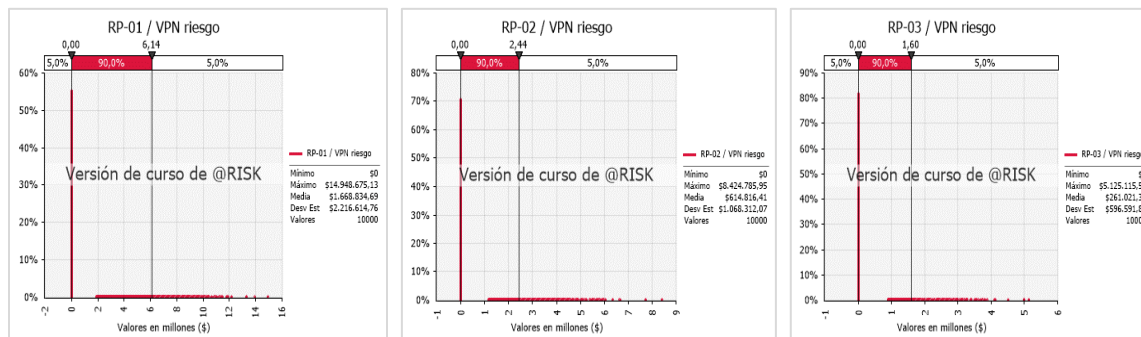
La distribución concentrada en torno a la media (10.6 eventos) indica que el proyecto presenta un comportamiento predecible en términos de frecuencia de riesgos. Esta característica es favorable considerando que los controles implementados, especialmente las estrategias de mitigación en aspectos legales y de diversificación comercial identificadas en el análisis cualitativo, blindan efectivamente el proyecto contra una materialización más severa de eventos de riesgo.

Una vez establecida la frecuencia esperada de materialización de eventos durante el horizonte del proyecto, resulta fundamental analizar el impacto financiero específico que cada categoría de riesgo puede generar sobre el Valor Presente Neto (VPN). El análisis detallado por categorías permite identificar, no solo la magnitud de las pérdidas potenciales, sino también los patrones de distribución de cada tipo de riesgo, facilitando así la priorización de estrategias de mitigación y la asignación eficiente de recursos de contingencia. A continuación, se presenta el análisis desagregado del impacto financiero

por cada una de las seis categorías de riesgo identificadas, comenzando con los riesgos de naturaleza política.

Ilustración 19.

Impacto de los riesgos políticos en el VPN



Fuente: Creación propia Software @Risk.

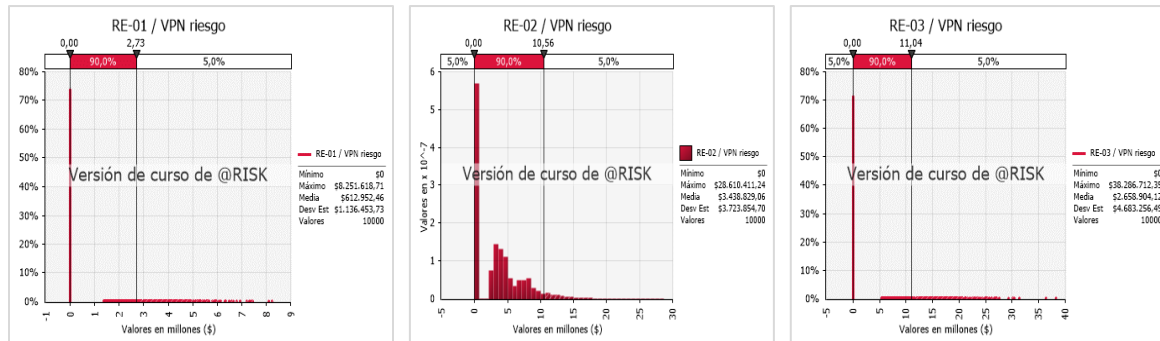
La distribución del impacto en el riesgo RP-01: Modificaciones en el régimen tributario agrícola, muestra una media de \$1,668,835 COP con un rango desde \$0 hasta \$14,948,675 COP. La alta concentración en el valor cero (aproximadamente 88% de los casos) indica que este riesgo tiene baja probabilidad de materialización, pero cuando ocurre, puede generar impactos significativos en la estructura de costos tributarios del proyecto.

Con una media de \$614,816 COP y un rango máximo de \$8,424,786 COP, el riesgo RP-02: Cambios en políticas de apoyo agropecuario, presenta menor exposición que RP-01. La distribución muestra alta concentración en cero (aproximadamente 92%), reflejando que los cambios en políticas gubernamentales, aunque posibles, tienen menor probabilidad de materialización e impacto moderado cuando ocurren.

El riesgo RP-03: Inestabilidad en el orden público regional, evidencia en su distribución una media de \$261,021 COP con máximo de \$5,125,116 COP. Con la mayor concentración en cero de los riesgos políticos (aproximadamente 96%), este riesgo presenta la menor probabilidad de materialización, consistente con la baja probabilidad del 4 por ciento identificada en el análisis cualitativo.

Ilustración 20.

Impacto de los riesgos económicos en el VPN



Fuente: Creación propia Software @Risk.

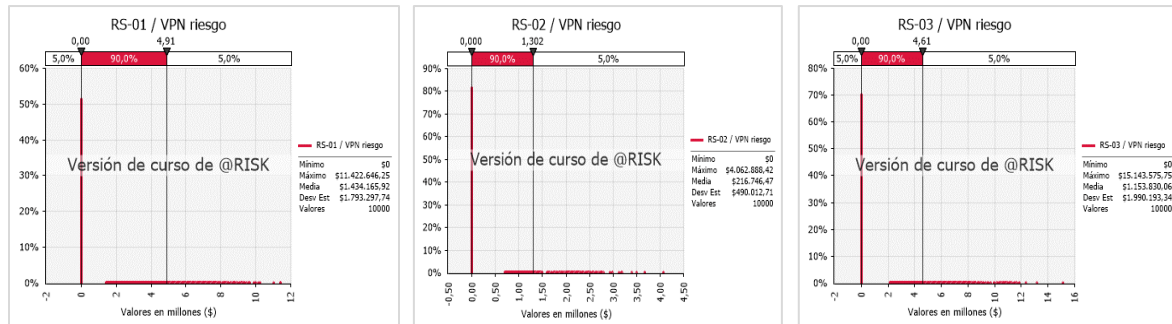
La distribución del riesgo RE-01: Incremento significativo en tasas de interés, presenta una media de \$612,952 COP con un máximo de \$8,251,618 COP. La alta concentración en cero (aproximadamente 94%) indica que este riesgo macroeconómico tiene baja probabilidad de materialización (6% según análisis cualitativo), pero cuando ocurre, genera impactos moderados en los costos financieros del proyecto.

Con una media de \$3,438,829 COP y máximo de \$28,610,411 COP, el riesgo RE-02: Devaluación e incremento en costos de insumos importados, presenta el mayor valor esperado de la categoría económica. La distribución muestra una forma exponencial decreciente con aproximadamente 82 por ciento de concentración en cero, pero con una cola derecha extendida que refleja la variabilidad inherente de los mercados de insumos agrícolas importados.

La distribución del riesgo RE-03: Crisis del sector gastronómico regional, evidencia una media de \$2,658,904 COP con máximo de \$38,286,712 COP. Con aproximadamente 93 por ciento de concentración en cero, refleja que una crisis sectorial, aunque de baja probabilidad (7%), podría tener efectos severos en el mercado objetivo del proyecto, justificando la estrategia de diversificación de canales.

Ilustración 21.

Impacto de los riesgos sociales en el VPN



Fuente: Creación propia Software @Risk.

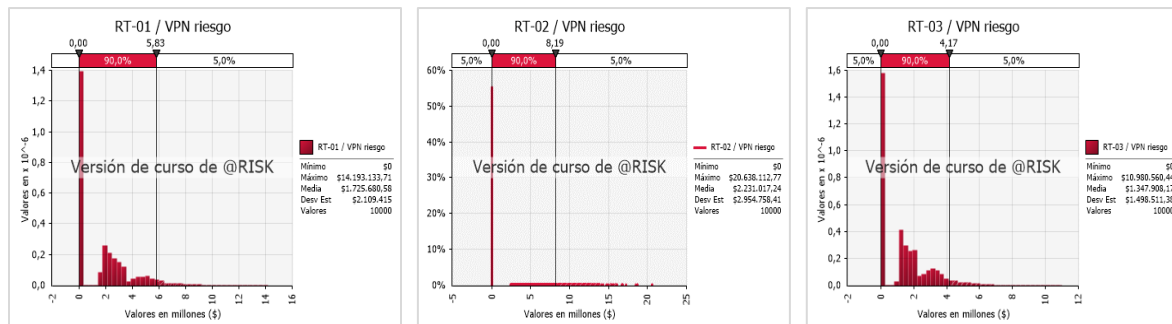
La distribución del riesgo RS-01: Escasez de personal técnico calificado, presenta una media de \$1,434,166 COP con máximo de \$11,422,647 COP. Con aproximadamente 85 por ciento de concentración en cero, refleja que los sobrecostos de capacitación y búsqueda de personal especializado, aunque probables (15%), tienen impactos controlados dentro de la estructura operativa.

Con la media más baja de todas las categorías (\$216,746 COP) y máximo de \$4,062,888 COP, el riesgo RS-02: Resistencia cultural comunitaria a métodos no tradicionales, muestra la mayor concentración en cero (aproximadamente 95%). Esto confirma que las actividades de socialización comunitaria representan costos mínimos y bien definidos.

La distribución del riesgo RS-03: Cambios en preferencias del consumidor final, evidencia una media de \$1,153,830 COP con máximo de \$15,143,576 COP. Con aproximadamente 91 por ciento de concentración en cero, refleja la incertidumbre de los cambios en tendencias del segmento gastronómico premium, pero con impactos manejables.

Ilustración 22.

Impacto de los riesgos tecnológicos en el VPN



Fuente: Creación propia Software @Risk.

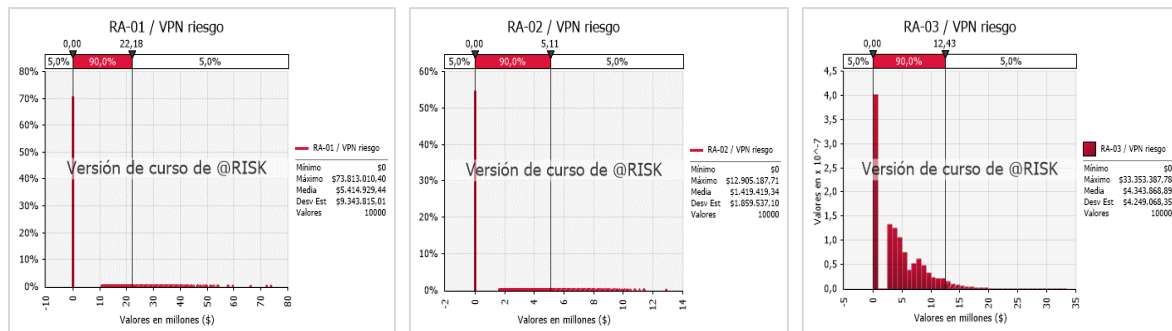
La distribución del riesgo RT-01: Fallas en el sistema de bombeo principal, presenta una media de \$1,725,681 COP con máximo de \$14,193,133 COP. A diferencia de otros riesgos, muestra menor concentración en cero (aproximadamente 86%), indicando mayor probabilidad de materialización (14%) con impactos variables desde reparaciones menores hasta reemplazo completo del sistema.

Con una media de \$2,231,017 COP y máximo de \$20,638,113 COP, el riesgo RT-02: Contaminación de la solución nutritiva, representa el mayor riesgo tecnológico. La distribución muestra aproximadamente 86 por ciento de concentración en cero, pero cuando se materializa, puede generar desde pérdidas parciales del cultivo hasta renovación completa de la solución nutritiva en el ciclo de producción.

La distribución del riesgo RT-03: Interrupciones en el suministro eléctrico, evidencia una media de \$1,347,908 COP con máximo de \$10,980,560 COP. Con la mayor concentración en cero de los riesgos tecnológicos (aproximadamente 83%), pero alta probabilidad de ocurrencia (17%), indica que las interrupciones pueden llegar a ser frecuentes, pero de impacto generalmente limitado.

Ilustración 23.

Impacto de los riesgos ecológico/ambientales en el VPN



Fuente: Creación propia Software @Risk.

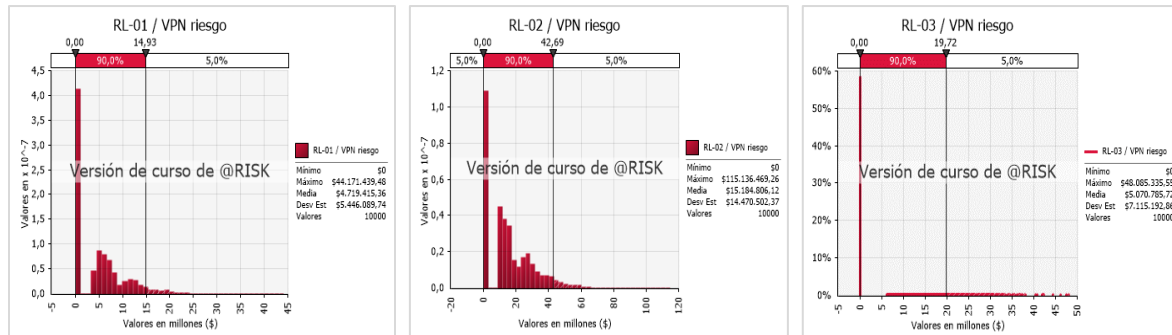
La distribución del riesgo RA-01: Eventos climáticos extremos, presenta la media más alta de todos los riesgos ambientales individuales (\$5,414,929 COP) con el máximo absoluto de \$73,813,010 COP. Con aproximadamente 94 por ciento de concentración en cero, confirma que los eventos climáticos extremos, aunque infrecuentes (6%), pueden generar desde daños menores hasta pérdidas totales de infraestructura.

Con una media de \$1,419,419 COP y máximo de \$12,905,188 COP, el riesgo RA-02: Sequías prolongadas, muestra aproximadamente 89 por ciento de concentración en cero. Los impactos controlados reflejan la eficiencia hídrica del sistema hidropónico y las fuentes alternativas de agua identificadas.

La distribución del riesgo RA-03: Vectores de plagas y enfermedades externos, evidencia una media de \$4,343,869 COP con máximo de \$33,353,388 COP. Con aproximadamente 78 por ciento de concentración en cero pero la menor de los riesgos ambientales refleja que las plagas tienen mayor probabilidad de materialización (22%) y efectos variables significativos.

Ilustración 24.

Impacto de los riesgos legales en el VPN



Fuente: Creación propia Software @Risk.

La distribución del riesgo RL-01: Entrada de nuevos competidores con ventajas legales, presenta una media de \$4,719,415 COP con máximo de \$44,171,439 COP. Con aproximadamente 84 por ciento de concentración en cero, indica que la entrada de competencia nueva puede generar desde presión moderada hasta pérdida significativa de participación de mercado.

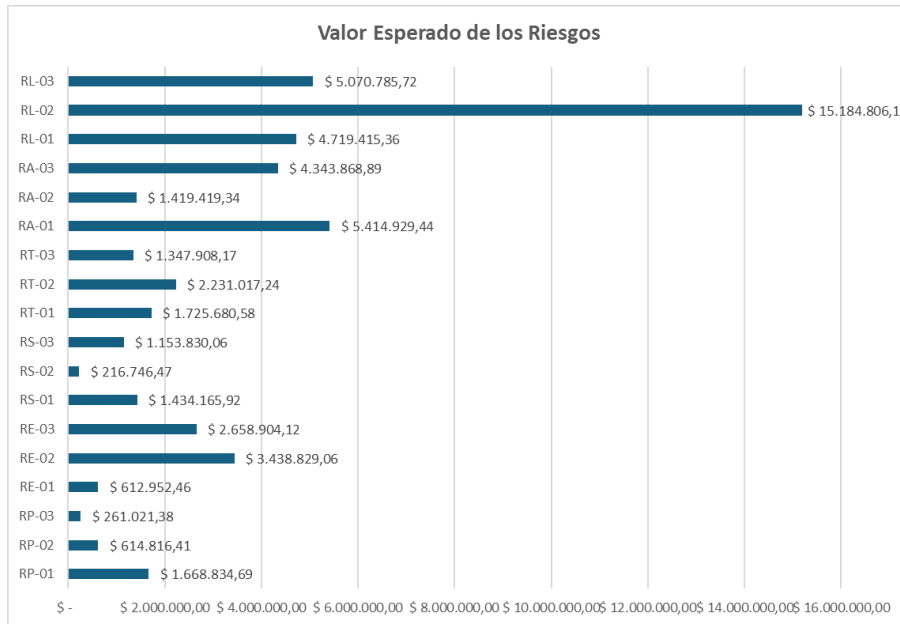
Con el mayor valor esperado absoluto de todos los riesgos del proyecto (\$15,184,806 COP) y máximo de \$115,136,469 COP, el riesgo RL-02: Dependencia contractual de pocos clientes, muestra aproximadamente 75 por ciento de concentración en cero. Esta es la menor concentración en cero de todos los riesgos, confirmando su alta probabilidad (25%) y potencial de impacto crítico para la viabilidad del proyecto.

La distribución del riesgo RL-03: Incumplimiento de normativa BPA y trazabilidad, evidencia una media de \$5,070,786 COP con máximo de \$48,085,336 COP. Con aproximadamente 87 por ciento de concentración en cero, indica que los problemas normativos tienen costos significativos, pero eventos relativamente controlados, principalmente asociados a pérdida temporal de certificaciones.

Al completar el análisis individual de los 18 eventos de riesgo distribuidos en las seis categorías identificadas, se procede a consolidar los resultados para establecer el perfil integral de riesgo del proyecto. Esta síntesis permite identificar las exposiciones más críticas, evaluar la concentración de riesgos por categorías y determinar las prioridades de gestión. El análisis consolidado revela patrones de concentración que orientarán la asignación de recursos para contingencias y la implementación de estrategias de mitigación diferenciadas, según el nivel de exposición y la naturaleza específica de cada categoría de riesgo.

Ilustración 25.

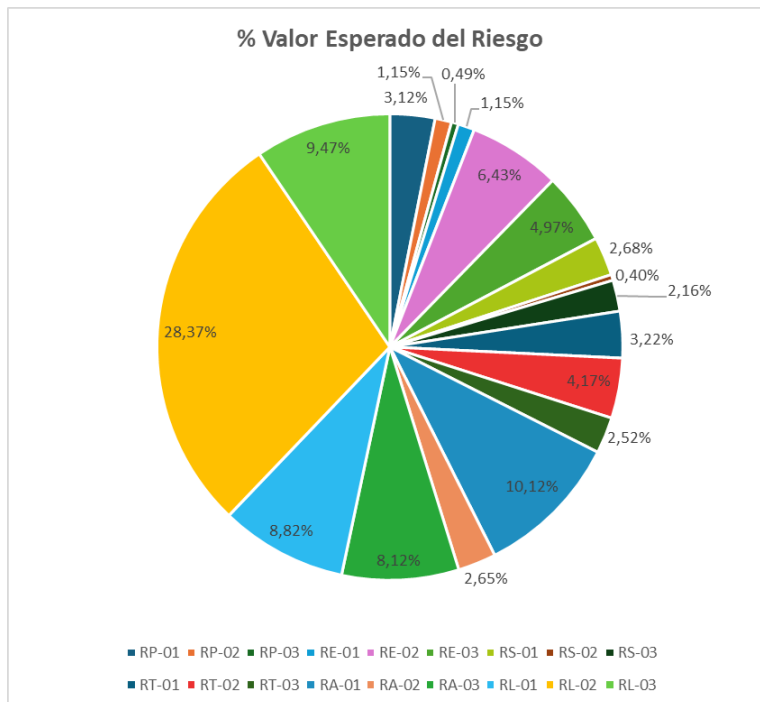
Valor Esperado de los Riesgos



Fuente: Creación propia a partir del estudio realizado.

Ilustración 26.

Porcentaje del Valor Esperado de los Riesgos



Fuente: Creación propia a partir del estudio realizado.

La gráfica de valor esperado de los riesgos revela que RL-02 (Dependencia contractual de pocos clientes) domina completamente el perfil de riesgo del proyecto con \$15.184.806 COP y 28,37 por ciento del impacto total esperado. Este riesgo representa casi tres veces el valor del segundo riesgo más significativo, confirmando su criticidad para la viabilidad del proyecto. Adicionalmente, se puede observar una alta concentración de los riesgos, donde los tres primeros (RL-02, RA-01, RL-03) representan el 47,96 por ciento del total, los cinco primeros representan el 64,90 por ciento y, los diez primeros, representan el 85,56 por ciento. Esta concentración indica que el proyecto puede lograr una gestión eficiente de riesgos enfocándose en pocos eventos críticos, particularmente la diversificación de clientes (RL-02) y la protección contra eventos climáticos extremos (RA-01).

Al analizar la distribución consolidada de los riesgos por categorías, se encuentra lo siguiente:

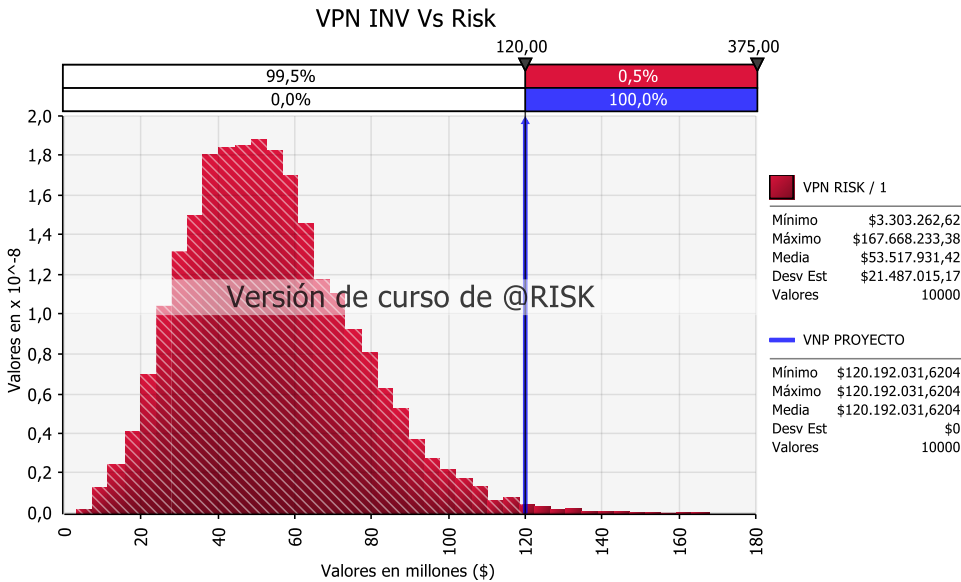
- Los riesgos legales constituyen la categoría dominante con casi la mitad del valor esperado total del proyecto. La alta concentración en RL-02 (dependencia contractual) indica una vulnerabilidad crítica en la estrategia comercial que requiere mitigación prioritaria.
- Los riesgos ambientales representan la segunda mayor exposición, donde los eventos climáticos extremos (RA-01) constituyen el riesgo individual más significativo después de la dependencia contractual.
- Los riesgos económicos muestran distribución equilibrada, donde la devaluación e incremento de costos de insumos (RE-02) representa el mayor componente de esta categoría.
- Los riesgos políticos presentan el menor impacto relativo, confirmando que los cambios regulatorios y de políticas públicas, aunque importantes, tienen menor probabilidad de materialización e impacto económico directo.
- Los riesgos tecnológicos muestran distribución homogénea entre los tres eventos identificados, indicando que el sistema hidropónico enfrenta exposiciones equilibradas en sus diferentes componentes técnicos.
- Los riesgos socioculturales presentan el menor impacto absoluto, donde la escasez de personal técnico (RS-01) constituye la principal preocupación de esta categoría.

Una vez caracterizado el comportamiento individual de cada categoría de riesgo y establecido el perfil de concentración de exposiciones, la evaluación financiera bajo condiciones de incertidumbre permite cuantificar el impacto agregado de estos eventos sobre la rentabilidad esperada. Esta perspectiva integral revela la magnitud real de las exposiciones identificadas y su efecto directo sobre la valoración del proyecto hidropónico. Los resultados consolidados evidencian la relación crítica entre el valor

esperado de las pérdidas potenciales y la viabilidad financiera de la inversión, estableciendo así la base para determinar el valor ajustado por riesgo del proyecto, como se presenta en el análisis comparativo siguiente.

Ilustración 27.

Distribución VPN Risk del Proyecto Vs VPN del Inversionista



Fuente: Creación propia Software @Risk.

Tabla 70.

Resultados VPN Risk Vs Flujo de caja del inversionista

TIO	16%
VPN RISK	\$ 53.517.931
VERI	\$ 53.517.931
VNP PROYECTO	\$ 120.192.032
VPN REAL	\$ 66.674.100
RATIO SHARP	45%
VPN LIBRE DE RIESGO	55%
PROB. VPN (RISK>PROY.)	0,5%

Fuente: Creación propia a partir del estudio realizado.

El VPN del Proyecto Base de \$120.192.032 COP, representado por la línea azul vertical, constituye la valoración determinística bajo condiciones operativas ideales, sin considerar la materialización de eventos adversos. Esta cifra corresponde al análisis financiero desarrollado previamente, donde las variables mantienen sus valores esperados sin incorporar variabilidad.

El VPN Risk (VERI) de \$53.517.931 COP, visualizado en la distribución roja rayada, representa el valor esperado de todas las pérdidas que pueden generar los 18 eventos de riesgo identificados. Esta cifra no es el valor del proyecto ajustado por riesgo, sino la cuantificación monetaria del impacto esperado de los riesgos sobre la rentabilidad del proyecto.

Con base en estos dos valores, se calcula el VPN Real Ajustado de \$66.674.100 COP, el cual, emerge como el verdadero valor del proyecto una vez descontadas todas las pérdidas esperadas por riesgos. Este valor representa la expectativa realista de generación de valor para los inversionistas después de asumir todos los riesgos identificados. Mantiene una rentabilidad atractiva superior a la TIO del 16 por ciento, confirmando que el proyecto conserva viabilidad económica sólida incluso bajo condiciones adversas.

La distribución del VPN Risk muestra cómo se comporta el valor esperado de las pérdidas bajo diferentes escenarios. El rango desde \$3.303.262 hasta \$167.668.233 COP indica la variabilidad en el impacto total de los riesgos, donde la mayoría de escenarios se concentran cerca del valor esperado de \$53.517.931 COP.

La proporción 55-45 por ciento revela que el proyecto retiene el 55 por ciento de su valor original, mientras que el 45 por ciento restante representa el costo esperado de la incertidumbre (Ratio Sharpe). Esta distribución indica que los riesgos, aunque significativos, no comprometen la viabilidad fundamental del negocio. Esto se refleja en que la probabilidad de que las pérdidas por riesgos superen al VPN del Proyecto es del 0.5 por ciento, lo que indica que existe una posibilidad extremadamente baja de que la materialización simultánea de múltiples eventos genere pérdidas superiores al valor base del proyecto.

8. CONCLUSIONES

El estudio de prefactibilidad para la implementación de un proyecto de cultivo hidropónico sostenible en la Finca Los Guadales demostró la viabilidad integral de la iniciativa. De acuerdo con los análisis realizados, se cumplen satisfactoriamente cada

uno de los objetivos específicos planteados y confirmando la hipótesis de prefactibilidad técnica, comercial, financiera y ambiental del proyecto mediante la metodología ONUDI complementada con herramientas PMI para gestión de riesgos.

El análisis del entorno sectorial reveló condiciones mayoritariamente favorables para la implementación de sistemas hidropónicos en el Oriente Antioqueño. El análisis PESTEL evidenció apoyo institucional sólido a través del Plan Nacional de Desarrollo 2022-2026 y políticas departamentales que promueven la agricultura sostenible. Antioquia se consolida como líder aportando el 12,9 por ciento del PIB agropecuario nacional, mientras que San Vicente Ferrer presenta una economía altamente dependiente del sector primario (71,74%). El marco legal proporciona incentivos fiscales significativos, incluyendo exención de IVA para productos agrícolas.

La evaluación del mercado potencial confirmó receptividad excepcional hacia productos hidropónicos. La investigación primaria con 81 actores de la cadena comercial reveló que el segmento objetivo de restaurantes de alta cocina presenta interés del 93,3 por ciento con disposición a pagar precios premium del 80 Por ciento. La lechuga hidropónica emergió como producto óptimo, transformando las preferencias de mayoristas del 44,4 al 66,7 por ciento y manteniendo consistentemente el 97,2 por ciento en restaurantes. El mercado objetivo alcanza 1.418 establecimientos, con modelo de adopción que escala desde 23 clientes en el primer año hasta 227 en el quinto año, generando demanda de 767.260 unidades anuales.

Los requerimientos técnicos identificaron el sistema NFT como tecnología óptima, superando seis alternativas en criterios de inversión inicial, consumo hídrico, eficiencia productiva y complejidad operativa. El diseño contempla capacidad instalada de 268.320 unidades anuales en 70 camas de producción, con sistema de recirculación que garantiza eficiencia hídrica del 90 por ciento. La infraestructura incluye invernadero tipo capilla en guadua (1.966 m²), sistema de bombeo de 1.100 L/min, tanque madre de 15.000 litros y centro de acopio postcosecha con estándares sanitarios.

La estructura administrativa se definió mediante Sociedad por Acciones Simplificada con organización escalonada que optimiza costos durante la consolidación. La Fase I contempla estructura compacta con gerencia multifuncional, evolucionando hacia especialización de roles en la Fase II. El marco legal integral identificó 42 normas aplicables en nueve categorías, destacando beneficios fiscales estratégicos que optimizan la estructura de costos del proyecto.

La evaluación ambiental demostró ventajas significativas versus agricultura tradicional. Se encontró un ahorro hídrico del 70-90 por ciento, eliminación de erosión del suelo, reducción del 70-80 por ciento en agroquímicos, y menor huella de carbono por kilogramo producido. La matriz de impacto identificó diez impactos positivos frente a

cuatro negativos, con predominio de efectos benéficos en conservación hídrica, protección del suelo y transferencia tecnológica.

Los indicadores financieros confirman viabilidad sólida del proyecto. El flujo de caja del inversionista genera VPN de \$120.192.032 COP y TIR del 45 por ciento, superando ampliamente la TIO del 16 por ciento. Los períodos de recuperación financiero de 3,47 años y contable de 2,99 años garantizan retorno dentro del horizonte de evaluación. La estructura de financiamiento 70 por ciento crédito / 30 por ciento recursos propios optimiza la rentabilidad alcanzando IRINI de 5,38. El análisis de sensibilidad confirma robustez manteniendo rentabilidad positiva con precios superiores a \$3.100 COP por unidad.

La gestión de riesgos identificó 18 eventos distribuidos en seis categorías, con predominio de riesgos "Muy Bajos" (83,33%) y solo tres riesgos "Bajos" requiriendo mitigación específica. El análisis cuantitativo mediante simulación Monte Carlo proyecta materialización de 10,6 eventos durante el horizonte, con valor esperado de pérdidas de \$53.517.931 COP. El VPN ajustado por riesgo de \$66.674.100 COP mantiene rentabilidad atractiva, confirmando que los riesgos no comprometen la viabilidad fundamental del proyecto.

La investigación reveló hallazgos diferenciadores significativos. La lechuga hidropónica presenta demanda transversal con ventajas percibidas de limpieza (59,7%), mejor apariencia visual (43,1%) y mayor vida útil (18,1%). La especialización geográfica emerge como ventaja competitiva, permitiendo flexibilidad operativa que competidores de mayor escala no pueden igualar. La estructura escalonada permite crecimiento orgánico autofinanciado, minimizando riesgo financiero mientras captura progresivamente el potencial de mercado. El proyecto contribuye directamente a siete Objetivos de Desarrollo Sostenible, maximizando sinergias ambientales, sociales y económicas.

No obstante, se identificaron limitaciones importantes. La principal restricción corresponde a capacidad instalada, ya que a partir del tercer año la demanda proyectada supera la capacidad técnica máxima, generando demanda insatisfecha creciente. La concentración en el segmento gastronómico premium representa el principal riesgo comercial, requiriendo diversificación hacia canales secundarios. La gestión del capital de trabajo demanda atención considerando que el 73,4 por ciento de clientes requiere financiamiento de 15-30 días.

El estudio confirma la prefactibilidad integral del proyecto de cultivo hidropónico sostenible en la Finca Los Guadales. Los indicadores superan consistentemente los umbrales mínimos: técnicamente factible, comercialmente atractivo, financieramente rentable, ambientalmente benéfico, legalmente viable y con riesgos manejables. Los resultados sustentan la recomendación de implementación del proyecto, sugiriendo

proceder con estudios de factibilidad detallada y diseños definitivos para avanzar hacia las fases de inversión y ejecución. El proyecto representa una oportunidad estratégica para diversificar la matriz productiva regional, generar valor agregado local y contribuir al fortalecimiento del sector agrícola sostenible en Colombia, estableciendo precedentes metodológicos y operativos para iniciativas similares en territorios con características comparables.

REFERENCIAS

- Alcaldía de San Vicente Ferrer. (2024). *Plan de Desarrollo de San Vicente Ferrer "Un Campo de oportunidades" 2024-2027*. Alcaldía de San Vicente Ferrer. Obtenido de https://sanvicenteferrerantioquia.micolombiadigital.gov.co/sites/sanvicenteferreraantioquia/content/files/000642/32066_acuerdo-0492024-plan-de-desarrollo-1.pdf
- Almacenes Éxito. (2025). *Lechuga - Resultados de búsqueda*. Recuperado el 14 de junio de 2025, de https://www.exito.com/s?q=lechuga&sort=score_desc&page=0
- Almacenes Jumbo Colombia. (2025). *Lechuga*. Recuperado el 14 de junio de 2025, de <https://www.jumbocolombia.com/lechuga?q=lechuga&map=ft>
- Anderson, J. R., & Dillon, J. L. (1992). *Risk analysis in dryland farming systems*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Antioquia Cómo Vamos & Comfenalco Antioquia. (2023). *Oriente Antioqueño: Radiografía del desarrollo subregional*. Medellín: Comfenalco Antioquia.
- Arano, C. (2007). Hidroponía: algunas páginas de su historia. *Horticultura Internacional*(58), 24-33.
- Asamblea Departamental de Antioquia. (2017). *Ordenanza 23 de 2017 (marco interinstitucional para corredores biológicos)*. Medellín: Gaceta Departamental .
- AURA VERDE Hidroponía. (27 de Octubre de 2023). *¿Por qué medir el pH en nuestros cultivos hidropónicos?* Obtenido de YouTube: https://www.youtube.com/channel/UC_h4laRpqIK_3g2R8sWdCrg
- Banco de la República. (22 de Julio de 2025). *Indicador Bancario de Referencia (IBR): tasa nominal a 1 mes (base 360)*. Obtenido de Portal de Estadísticas Económicas SUAMECA: https://suameca.banrep.gov.co/estadisticas-economicas/informacionSerie/241/tasas_interes_indicador_bancario_referencia_ibr

- Banco de la República de Colombia. (2025). *Series históricas - Precios e inflación*. Recuperado el 28 de Junio de 2025, de Banco de la República: <https://uba.banrep.gov.co/htmlcommons/SeriesHistoricas/precios-inflacion.html>
- Barbado, J. L. (2005). *Hidroponía: Su empresa en cultivos en agua* (1a ed.). Editorial Albatros SACI.
- Barbosa , G. L., Gadelha, F. D., Kublik, N., Proctor, A., Reichelm, L., Weissinger, E., . . . Halden, R. U. (2015). *Comparison of land, water, and energy requirements of lettuce grown using hydroponic vs. conventional agricultural methods*. Arizona: International Journal of Environmental Research and Public Health.
- Behrens, W., & Hawranek, P. (1991). *Manual for the Preparation of Industrial Feasibility Studies*. Vienna: United Nations Industrial Development Organization.
- Beltrano, J., & Giménez, D. O. (2015). *Cultivo en hidroponía*. Editorial de la Universidad Nacional de La Plata (EDULP).
- Cámara de Comercio de Medellín para Antioquia. (2025). *Tarifas de derechos por registro y matrícula*. Obtenido de Cámara de Comercio de Medellín para Antioquia: <https://www.camaramedellin.com.co/quiero-crear-mi-empresa-o-negocio/tarifas-de-derechos-por-registro-y-matricula>
- Carulla. (2025). *Lechuga - Resultados de búsqueda*. Recuperado el 14 de junio de 2025, de https://www.carulla.com/s?q=lechuga&sort=score_desc&page=0
- Castrillón Velásquez, D., & Duque Hoyos, F. (2019). *Estudio de viabilidad financiera de los cultivos hidropónicos en el oriente antioqueño*. Envigado: Universidad EIA.
- Chapman, C., & Ward, S. (2003). *Project Risk Management: Processes, Techniques and Insights* (Second Edition ed.). Chichester: John Wiley & Sons.
- Confecámaras. (2025). *Dinámica de Creación de Empresas en Colombia 2024*. Confederación Colombiana de Cámaras de Comercio, Bogotá.
- Congreso de la República de Colombia, Ley 1258 de 2008 (Por la cual se crea la Sociedad por Acciones Simplificada 2008).

- Congreso de la República de Colombia. (2016). Artículo 255. Descuento para inversiones realizadas en control, conservación y mejoramiento del medio ambiente. En *Estatuto Tributario*. Bogotá: Diario Oficial.
- Congreso de la República de Colombia. (2016). *Ley 1819 de 2016: Por medio de la cual se adopta una reforma tributaria estructural, se fortalecen los mecanismos para la lucha contra la evasión y la elusión fiscal*. Bogotá: Congreso de la República.
- Congreso de la República de Colombia. (2019). Artículo 905. Sujetos pasivos del régimen simple de tributación. En *Estatuto Tributario*. Bogotá: Diario Oficial.
- Congreso de la República de Colombia. (2022). *Ley 2277 de 2022. Por medio de la cual se adopta una reforma tributaria para la igualdad y la justicia social y se dictan otras disposiciones*. Bogotá: Congreso de la República.
- Consejo privado de competitividad. (2022). *Informe nacional de competitividad 2022 - 2023: Productividad agropecuaria*. Bogotá: Punto aparte editores.
- Consejo privado de competitividad y Universidad del Rosario. (2023). *Índice departamental de competitividad 2023*. Bogotá: Punto aparte editores.
- Corficolombiana & Casa de Bolsa. (2024). *Informe trimestral de dinámica sectorial: Agroindustria – Primer trimestre 2024*. Bogotá: Investigaciones Económicas Corficolombiana & Área de Análisis y Estrategia Casa de Bolsa.
- CORNARE. (2011). *Evaluación y zonificación de riesgos y dimensionamiento de procesos erosivos en los 26 municipios de la jurisdicción de CORNARE: Municipio de San Vicente Ferrer*. Antioquia: CORNARE.
- Creswell, J. W., & Creswell, J. D. (2017). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches* (4 ed.). Thousand Oaks, CA: SAGE Publications.
- Crippa, M., Solazzo, E., Guizzardi, D., Monforti-Ferrario, F., Tubiello, F. N., & Leip, A. (2021). *Food systems are responsible for a third of global anthropogenic greenhouse gas emissions*. Nature Food.

Departamento Administrativo Nacional de Estadística. (2025). *SIPSA - Boletín diario de precios mayoristas*. Recuperado el 22 de junio de 2025, de DANE: <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/agropecuario/sistema-de-informacion-de-precios-sipsa/mayoristas-boletin-mensual-1>

Departamento Nacional de Planeación. (2023). *Plan Nacional de Desarrollo 2022-2026: Colombia, Potencia Mundial de la Vida*. Bogotá: Imprenta Nacional de Colombia. Obtenido de <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Prensa/Publicaciones/plan-nacional-de-desarrollo-2022-2026-colombia-potencia-mundial-de-la-vida.pdf>

Dirección de Impuestos y Aduanas Nacionales - DIAN. (s.f.). *Régimen Simple de Tributación - RST*. Recuperado el 23 de junio de 2025, de Portal DIAN: <https://www.dian.gov.co/impuestos/Regimen-Simple-de-Tributacion-RST/>

Dirección de Impuestos y Aduanas Nacionales. (2025). *Registro Único Tributario: Trámites y servicios*. Obtenido de DIAN: [//www.dian.gov.co/impuestos/RUT/Paginas/Inscripcion-y-actualizacion-RUT.aspx](https://www.dian.gov.co/impuestos/RUT/Paginas/Inscripcion-y-actualizacion-RUT.aspx)

El Espectador. (8 de Abril de 2024). *Cultivos hidropónicos o sin tierra: cómo hacerlo y cuáles son sus beneficios*. Obtenido de La Huerta, El Espectador: <https://www.elespectador.com/la-huerta/cultivos-hidroponicos-o-sin-tierra-como-hacerlo-y-cuales-son-sus-beneficios/>

Exactitude Consultancy. (1 de Junio de 2023). *Mercado hidropónico por tipo (sistemas agregados, sistemas líquidos), por insumo (nutrientes, medios de cultivo), por tipo de cultivo (verduras, frutas, flores) y región, tendencias globales y pronóstico de 2022 a 2029*. Obtenido de Exactitude Consultancy: <https://exactitudeconsultancy.com/es/reports/21213/hydroponics-market/>

Finagro. (2024). *Portafolio de servicios 2024*. Finagro.

Finagro. (2025). *Tasas de interés para microcrédito y crédito popular rural*. Finagro.

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2006). *Agricultura mundial: hacia los años 2015/2030*. Roma: FAO. Obtenido de <https://www.fao.org/4/a0493s/a0493s02.htm#bm2>

- Gobernación de Antioquia. (2023). *Plan Departamental de Agroecología en Antioquia 2023-2030*. Medellín: Gobernación de Antioquia.
- Gobernación de Antioquia. (2024). *Plan de Desarrollo Departamental “Por Antioquia Firme” 2024-2027*. Medellín: Gobernación de Antioquia.
- Gobernación de Antioquia. (2024). *Plan departamental de extensión agropecuaria de Antioquia: PDEA Antioquia 2024-2027*. Medellín: Gobernación de Antioquia.
- Google Maps. (2025). *San Vicente, Antioquia [Mapa]*. Obtenido de Google Maps: https://www.google.com/maps/place/San+Vicente,+Antioquia/@6.2955586,-75.2709774,331m/data=!3m1!1e3!4m6!3m5!1s0x8e441f52d23d6d3b:0xcd954df5e284cfe2!8m2!3d6.285815!4d-75.33422!16zL20vMDdrNDJs?entry=ttu&g_ep=EgoyMDI1MDcxNi4wIKXMDSOA SAFQAw%3D%3D
- Gruda, Kacjan-Maršić, & Wagstaffe. (2019). *Environmental assessment of hydroponic systems: resource use, efficiency and environmental footprint*. *Journal of Cleaner Production*.
- Gruda, N. S. (2009). Does soilless culture have an influence on product quality of vegetables? *Journal of Applied Botany and Food Quality*, 82, 141-147.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6 ed.). México: McGraw-Hill Interamericana.
- Hidrovegetal. (s.f.). *Hidrovegetal*. Recuperado el 22 de junio de 2025, de Hidrovegetal: <https://cultivohidroponicocolombia.webnode.com.co/>
- Hortifresco. (s.f.). *Hortifresco*. Recuperado el 22 de junio de 2025, de Hortifresco: <https://hortifresco.com.co/>
- Iberdrola. (s.f.). *Qué es la hidroponía y sus ventajas*. Obtenido de Hidroponía: qué es y ventajas de este sistema de cultivo: <https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/que-es-hidroponia-y-ventajas>

- Infobae. (30 de Mayo de 2023). *Bogotá, Antioquia, Valle y Santander produjeron más del 50% del total del PIB de Colombia en 2022*. Obtenido de Infobae: <https://www.infobae.com/colombia/2023/05/31/bogota-antioquia-valle-y-santander-produjeron-mas-del-50-del-total-del-pib-de-colombia-en-2022/>
- Instituto Colombiano Agropecuario – ICA. (2005). *Resolución 3002 de 2005: Por la cual se establecen las Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) para la producción primaria de vegetales frescos destinados al consumo humano*. Bogotá: ICA.
- International Organization for Standardization (ISO). (2018). *ISO 31000:2018 Risk management — Guidelines*. Geneva: ISO.
- Kozai, T., Niu, G., & Takagaki, M. (2016). *Plant Factory: An Indoor Vertical Farming System for Efficient Quality Food Production*. Academic Press.
- Makand S.A.S. (s.f.). *Somos Makand*. Recuperado el 22 de junio de 2025, de Makand: <https://makandsas.com/somos-makand/>
- MarketsandMarkets. (2022). *Hydroponics Market by System and Crop Growth Trends Drivers & Opportunities*. MarketsandMarkets. Recuperado el 20 de septiembre de 2024, de <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/hydroponic-market-94055021.html>
- Microsoft Corporation. (23 de junio de 2025). *Compare all Microsoft 365 business products*. Obtenido de Microsoft 365: <https://www.microsoft.com/es-co/microsoft-365/business/compare-all-microsoft-365-business-products>
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2017). *Resolución 000464 de 2017*. Bogotá: Diario oficial - Imprenta Nacional de Colombia.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2017). *Resolución 000646 de 2017*. Bogotá: Diario oficial - Imprenta Nacional de Colombia.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia. (15 de Noviembre de 2023). *Gran pacto por el agro propone ministra Jhenifer Mojica en Congreso de la SAC, para modernizar el campo hacia un desarrollo incluyente y sostenible*. Obtenido de Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia:

<https://www.minagricultura.gov.co/noticias/Paginas/Gran-pacto-por-el-agro-propone-ministra-Jhenifer-Mojica-en-Congreso-de-la-SAC,-para-modernizar-el-campo-hacia-un-desarrollo.aspx>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (5 de Diciembre de 2016). *40% del territorio colombiano presenta algún grado de degradación de suelos por erosión*. Obtenido de Archivo del Ministerio de Ambiente (sección Sala de Prensa): <https://archivo.minambiente.gov.co/index.php/noticias-minambiente/2592-40-del-territorio-colombiano-presenta-algun-grado-de-degradacion-de-suelos-por-erosion>

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2005). *Resolución 1023 por la cual se adoptan Guías Ambientales como instrumentos de autogestión y autorregulación*. Bogotá: Diario Oficial.

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial; Sociedad de Agricultores de Colombia – SAC. (2009). *Guía Ambiental para el Subsector Hortifrutícola*. Bogotá.

Ministerio del Trabajo. (2019). *Resolución 0312 de 2019. Por la cual se definen los Estándares Mínimos del Sistema de Gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo SG-SST*. Resolución Ministerial, Ministerio del Trabajo de Colombia, Bogotá. Obtenido de <https://www.mintrabajo.gov.co/documents/20147/59995826/Resolucion+0312-2019-+Estandares+minimos+del+Sistema+de+la+Seguridad+y+Salud.pdf>

Nosoilsolutions. (s.f.). *7 different types of hydroponic systems (Pros, Cons & Best Uses)*. Obtenido de Nosoilsolutions: <https://nosoilsolutions.com/6-different-types-hydroponic-systems/>

Pennsylvania State University Extension. (1 de Mayo de 2023). *Hydroponic systems and principles of plant nutrition: essential nutrients, function, deficiency and excess*. Obtenido de Penn State Extension: <https://extension.psu.edu/hydroponics-systems-and-principles-of-plant-nutrition-essential-nutrients-function-deficiency-and-excess>

Presidencia de la República de Colombia. (1989). *Decreto 624 de 1989. Estatuto Tributario*. Presidencia de la República. Diario Oficial.

Presidencia de la República de Colombia. (2 de Marzo de 2025). *Agro colombiano genera 4,8 millones de empleos y marca la tasa más baja*. Obtenido de Presidencia: <https://www.presidencia.gov.co/prensa/Paginas/Agro-colombiano-genera-4-8-millones-de-empleos-y-marca-la-tasa-mas-baja-250302.aspx>

Presidencia de la República de Colombia. (5 de Febrero de 2025). *Inflación continuará acercándose a la meta de 3 por ciento, prevé el Banco de la República*. Obtenido de Presidencia de la República de Colombia: <https://www.presidencia.gov.co/prensa/Paginas/Inflacion-continuara-acercandose-a-meta-de-3-porciento-preve-el-Banco-de-la-Republica-250205.aspx?>

Project Management Institute. (2021). *A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide) – Seventh Edition and The Standard for Project Management* (7th ed.). Newtown Square: Project Management Institute.

Putra, P. A., & Yuliando, H. (2015). *Soilless culture system to support water use efficiency and product quality: A review*. Indonesia: Agriculture and Agricultural Science Procedia.

República de Colombia. (1993). *Ley 99 de 1993: Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el sector público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables*. Bogotá: Diario Oficial.

República de Colombia. (2015). *Decreto 1076 de 2015: Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible*. Bogotá: Diario Oficial.

República de Colombia. (2016). *Estatuto Tributario (Art. 114-1, adicionado por Ley 1819 de 2016)*. Bogotá: Diario Oficial.

- República de Colombia. (2017). *Ley 1876 de 2017: Por medio de la cual se crea el Sistema Nacional de Innovación Agropecuaria (SNIA) y se dictan otras disposiciones*. Bogotá: República de Colombia.
- República de Colombia Gobierno Nacional. (2003). *Ley 812 de 2003*. Bogotá: Dario oficial - Imprenta Nacional de Colombia.
- Resh, H. M. (2013). *Hydroponic Food Production: A Definitive Guidebook for the Advanced Home Gardener and the Commercial Hydroponic Grower* (7 ed.). Boca Raton, FL: CRC Press.
- Riggio, G., Jones, S., & Gibson, K. (2019). *Risk of human pathogen internalization in leafy vegetables during lab-scale hydroponic cultivation*. Arkansas: Horticulturae.
- Rogers, E. M. (2003). *Diffusion of Innovations* (5 ed.). New York: Free Press.
- Sapag Chain, N., & Sapag Chain, R. (2008). *Preparación y evaluación de proyectos*. Bogotá: McGraw-Hill.
- Sardare, M. D., & Admane, S. V. (2013). A review on plant without soil-hydroponics. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 2(3), 299-304. <https://doi.org/10.15623/ijret.2013.0203013>
- Savvas, D., & Gruda, N. S. (2018). Application of soilless culture technologies in the modern greenhouse industry – A review. *European Journal of Horticultural Science*, 83(5), 280-293. <https://doi.org/10.17660/eJHS.2018/83.5.2>
- Sinergy & Lowells. (31 de Marzo de 2025). *Aportes parafiscales 2025: ¿Cuáles son y cuáles son?* Obtenido de Sinergy & Lowells: <https://www.sinerylowells.com/post/aportes-parafiscales-2025-que-son-y-cuales-son>
- Stebbins, R. A. (2001). *Exploratory Research in the Social Sciences*. SAGE Publications. <https://doi.org/10.4135/9781412984249>

- Sublett, W. L., Barickman, T. C., & Sams, C. E. (2018). The Effect of Environment and Nutrients on Hydroponic Lettuce Yield, Quality, and Phytonutrients. *Horticulturae*, 4(4), 48. <https://doi.org/10.3390/horticulturae4040048>
- SUIS-JURISCOL, S. Ú. (Ed.). (17 de abril de 2025). (Ministerio de Justicia y del Derecho) Obtenido de Base de datos de normativa colombiana: <https://www.suin-juriscol.gov.co>
- Superintendencia de Industria y Comercio. (2025). *Tasas de propiedad industrial 2025*. Obtenido de Superintendencia de Industria y Comercio: <https://www.sic.gov.co/tasas-signos-distintivos>
- Superintendencia de Notariado y Registro. (2025). *Tarifas notariales*. Obtenido de Superintendencia de Notariado y Registro: <https://www.supernotariado.gov.co/>
- Supermercados Olímpica. (2025). *Lechuga Olímpica verde crespá 200g*. Obtenido de <https://www.olimpica.com/lechuga-olimpica-verde-cresp-por-200g-7701008507647-10891/p>
- Tettay De Fex, J. P. (8 de Febrero de 2025). Un viaje al interior de los restaurantes de Medellín. *Revista Generación*. Obtenido de <https://www.elcolombiano.com/generacion/edicion-del-mes/un-viaje-al-interior-de-los-restaurantes-de-medellin-DH26561031>
- Tiendas D1. (2025). *Lechuga verde crespá x 180g*. Recuperado el 14 de junio de 2025, de <https://domicilios.tiendasd1.com/p/lechuga-verde-crespá-x-180-g-12005805>
- Trading Economics. (2025). *Tasa de inflación anual proyectada para Colombia — 2026 y 2027*. Obtenido de Trading Economics: <https://es.tradingeconomics.com/colombia/inflation-cpi>
- Universidad de Los Andes. (1 de Mayo de 2021). *Un banco de pruebas para optimizar cultivos hidropónicos*. Obtenido de Revista Contacto, Facultad de Ingeniería: <https://revistacontacto.uniandes.edu.co/contacto-21-transformacion-digital/un-banco-de-pruebas-para-optimizar-cultivos-hidroponicos/>

Universidad del Quindío. (24 de Octubre de 2024). *Tres unquindianos crearon la primera unidad experimental de producción hidropónica para la UQ*. Obtenido de Universidad del Quindío: <https://www.uniquindio.edu.co/noticias/publicaciones/4542/tres-uniquindianos-crearon-la-primera-unidad-experimental-de-produccion-hidroponica-para-la-uq/>

Universidad Nacional de Colombia. (28 de Julio de 2021). *Cultivos hidropónicos garantizarían seguridad alimentaria*. Obtenido de Agencia de Noticias UNAL: <https://agenciadenoticias.unal.edu.co/detalle/cultivos-hidroponicos-garantizarian-seguridad-alimentaria>

ANEXOS

Anexo 1. *Encuesta para mayoristas*

Anexo 2. *Encuesta para establecimientos gastronómicos*

Anexo 3. *Resultados y tabulaciones mayoristas*

Anexo 4. *Resultados y tabulaciones establecimientos gastronómicos*

Anexo 5. *Análisis de costos técnicos y financieros*

Anexo 6. *Cotizaciones requerimientos técnicos*

Anexo 7. *Flujograma proceso de producción*

Anexo 8. *Simulaciones y gráficos Risk*

Anexo 9. *Consulta precios lechuga*