

Universidad de Costa Rica

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería de Biosistemas

Proyecto de Graduación para optar por el título de Licenciatura en Ingeniería
Agrícola y de Biosistemas

**DISEÑO DE SISTEMA HIDROPÓNICO BASADO EN TÉCNICA NFT,
PARA UN AMBIENTE CONTROLADO EN HOTEL RECREO VERDE
EN VENECIA DE SAN CARLOS**

Mariel Rodríguez Castro

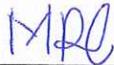
Ciudad Universitaria Rodrigo Facio

San José, Costa Rica

2025

Hoja de aprobación

Este proyecto de graduación fue aceptado por la Comisión de Trabajos Finales de Graduación de la Escuela de Ingeniería de Biosistemas de la Universidad de Costa Rica, como requisito para optar al grado y título de Licenciatura en Ingeniería Agrícola y de Biosistemas.



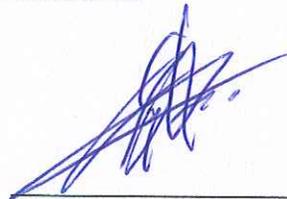
Mariel Rodríguez Castro
Estudiante



Dr. Pedro Casanova Treto
Director Proyecto Final de Graduación



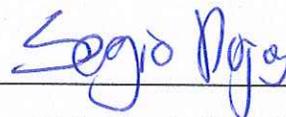
Dra. Kattia Solís Ramírez
Comité Asesor



Dr. Agustín Solano Arguedas
Comité Asesor



Dra. Alejandra Rojas González
Presidente Tribunal Examinador



M.Sc. Sergio Rojas Montero
Miembro Tribunal Examinador

Dedicatoria

A mi equipo, mis papás y mi hermana, el esfuerzo de tantos años llega a su fin por el apoyo que siempre me dieron.

A mi abuela.

Agradecimientos

A mis papás, por la paciencia y el amor durante este proceso.

A mi hermana, por ser mi compañera y mi apoyo.

A Jose, por estar a mi lado y ayudarme siempre, este trabajo es de los dos.

A Steph y Camilo, por ser mi equipo estrella.

Al Hotel Recreo Verde, por darme la oportunidad de diseñar este proyecto.

Al comité asesor de este proyecto conformado por el Dr. Pedro Casanova Treto, la Dra. Kattia Solís Ramírez y el Dr. Agustín Solano Arguedas, por su gran disposición, compromiso y valiosa ayuda.

Índice

Índice de figuras	iii
Índice de cuadros	v
1. Introducción	1
1.1. Justificación	1
1.2. Objetivos	3
1.2.1. General	3
1.2.2. Específicos	3
2. Marco teórico	4
2.1. Hidroponía	4
2.2. Técnicas hidropónicas	5
2.3. Sistemas NFT	6
2.4. Hidroponía en el mundo	8
2.5. Cultivos desarrollados en sistemas hidropónicos	9
2.6. Sistema de Producción Hidropónico Piramidal (SPHP)	9
2.7. Producción hidropónica en ambientes controlados	10
2.8. Generalidades de la producción hidropónica en Costa Rica	11
2.9. Producción hidropónica en ambientes controlados en la Región Huetar Norte de Costa Rica	11
2.10. Sistema hidráulico	12
2.11. Solución nutritiva	13
2.12. Automatización	14
2.13. Estudio de mercado	15
2.13.1. Demanda	15
2.13.2. Oferta	16
2.13.3. Precio	16
2.14. Análisis de rentabilidad	16
2.14.1. Tasa Mínima de Rentabilidad (Ko)	17

2.14.2. Valor Actual Neto (VAN)	17
2.14.3. Tasa Interna de Retorno (TIR)	17
2.14.4. Periodo de Recuperación de la Inversión Modificado (PRIM)	18
2.14.5. Costos e ingresos	18
2.14.6. Inversiones	18
2.14.7. Análisis de sensibilidad	19
2.15. Hotel Recreo Verde	19
3. Materiales y métodos	21
3.1. Área de estudio	21
3.2. Recopilación de información	21
3.3. Diseño del sistema hidropónico	22
3.4. Caracterización del invernadero	23
3.5. Selección de soluciones nutritivas	23
3.6. Diseño del sistema hidráulico	24
3.7. Estudio de mercado	26
3.8. Análisis técnico financiero	27
4. Resultados y discusión	30
4.1. Diseño del sistema hidropónico	30
4.2. Soluciones nutritivas y proceso de dilución	35
4.2.1. Procedimiento para Hotel Recreo Verde	39
4.2.2. Estudio de costos	43
4.3. Diseño de sistema hidráulico	44
4.3.1. Diagrama hidráulico del sistema	44
4.4. Reservorio de solución nutritiva	51
4.5. Automatización	51
4.6. Equipos de medición	53
4.7. Estudio de costos de materiales para el sistema hidráulico.	53
4.8. Estudio de mercado	56
4.8.1. Análisis FODA	67

4.8.2.	Estrategias FODA	68
4.8.3.	Fuerzas de Porter	69
4.8.4.	Análisis de las 4 P	70
4.9.	Análisis técnico-financiero	72
4.9.1.	Supuestos	72
4.9.2.	Precios de venta	72
4.9.3.	Cantidades	73
4.9.4.	Ingresos	73
4.9.5.	Costos	74
4.9.6.	Materia prima	74
4.9.7.	Costos de producción	78
4.10.	Tasa mínima de rentabilidad del proyecto (Ko)	81
4.10.1.	Depreciaciones	83
4.11.	Estudio financiero	84
4.11.1.	Inversiones	84
4.12.	Análisis financiero	87
4.12.1.	Escenario 1: demanda real del proyecto con un 40% de financiamiento de la inversión inicial por parte del Banco Nacional de Costa Rica.	88
4.12.2.	Escenario 2: variación en el porcentaje de producción del sistema.	91
4.12.3.	Escenario 3: variación en el porcentaje de financiamiento por parte de la entidad bancaria.	93
4.12.4.	Escenario 4: variación en la tasa crediticia.	95
5.	Conclusiones	97
6.	Recomendaciones	98
7.	Referencias	100
8.	Anexos	109
8.1.	Anexo A: Diseño estructural	109
8.2.	Anexo B: Diseño hidráulico	114

8.2.1.	Cálculo de pérdidas del sistema	114
8.2.2.	Cálculo de espacio libre en reservorios de almacenamiento	115
8.2.3.	Rénderes del sistema hidráulico	116
8.3.	Anexo C: Soluciones nutritivas	117
8.4.	Anexo D: Estudio de mercado	118
8.5.	Anexo D: Análisis técnico-financiero	126

Índice de Abreviaturas

NFT	Del inglés <i>Nutrient Film Technique</i>
ONU	Organización de las Naciones Unidas
MAG	Ministerio de Agricultura y Ganadería
RHN	Región Huetar Norte
CE	Conductividad eléctrica
ICE	Instituto Costarricense de Electricidad
AyA	Instituto de Acueductos y Alcantarillados
PVC	Policloruro de vinilo
INA	Instituto Nacional de Aprendizaje
TIR	Tasa interna de retorno
VAN	Valor actual neto
PRIM	Período de retorno de la inversión
INDER	Instituto de Desarrollo Rural
TEC	Instituto Tecnológico de Costa Rica
CCSS	Caja Costarricense del Seguro Social
MTSS	Ministerio de Trabajo y Seguridad Social
BNCR	Banco Nacional de Costa Rica
PIMA	Programa Integral de Mercadeo Agropecuario
CFIA	Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos
TBP	Tasa básica pasiva

Índice de figuras

1.	Sistema NFT. Modificado de [12].	6
2.	Ubicación de producciones hidropónicas en el mundo [1].	8
3.	Sistema hidropónico de configuración piramidal.	9
4.	Logo empresa Recreo Verde.	20
5.	Área de estudio.	21
6.	Diagrama del proceso de dilución.	39
7.	Diagrama hidráulico del sistema.	44
8.	Sistema de bombeo EcoPlus Eco 1267 [49].	46
9.	Tubería de alimentación al sistema hidropónico.	47
10.	Poliducto de riego.	47
11.	Unión de retorno de la solución nutritiva.	48
12.	Tuberías de retorno de la solución nutritiva.	48
13.	Cámara de oxigenación.	49
14.	Vista frontal de la cámara de oxigenación.	50
15.	Temporizador BN-LINK [51].	52
16.	Equipos para automatización de mediciones.	53
17.	Distribución por género.	56
18.	Distribución por rangos de edades.	57
19.	Distribución por distritos.	57
20.	Frecuencia de compra de hortalizas.	58
21.	Preferencias de compra: establecimientos y métodos utilizados por los consumidores.	59
22.	Niveles de satisfacción del consumidor: análisis mediante escala de Likert.	60
23.	Factores determinantes en la decisión de compra.	60
24.	Frecuencia de compra de hortalizas.	61
25.	Promedio de compra de hortalizas en kilogramos.	62
26.	Promedio de compra de hortalizas en rollos o unidades.	63
27.	Salud como factor relevante en la compra de hortalizas.	64

28.	Censo de precios de hortalizas de producción regular.	65
29.	Porcentaje de consumidores interesados en hortalizas hidropónicas.	65
30.	Rangos de precio en los que los consumidores comprarían hortalizas hidropónicas.	66
31.	Análisis FODA de la producción hidropónica.	67
32.	Análisis de estrategias FODA	68
33.	Análisis de las cinco fuerzas de Porter.	69
34.	Análisis de las 4 P del marketing.	70
35.	Punto de equilibrio de la producción del sistema.	91
36.	Comportamiento según variación de porcentaje de financiamiento bancario.	94
37.	Comportamiento según variación de tasas de interés bancario.	96
38.	Ubicación del sistema en sitio.	109
39.	Localización y ubicación cartográfica.	110
40.	Vista frontal del sistema estructural.	111
41.	Vista lateral del sistema estructural.	112
42.	Vista superior del sistema estructural.	113
43.	Curva de rendimiento del equipo de bombeo [49].	114
44.	Vista frontal del sistema hidráulico.	116
45.	Vista superior del sistema de alimentación hidráulica.	116

Índice de tablas

1.	Ventajas de la implementación de sistemas hidropónicos.	10
2.	Criterios de diseño.	22
3.	Dimensiones del sistema hidropónico.	30
4.	Dimensiones del tubo de PVC [40].	31
5.	Propiedades geométricas de las tuberías estructurales galvanizadas [41].	31
6.	Costo de materiales de construcción para el diseño estructural.	32
7.	Costo de consumibles de materiales de construcción.	32
8.	Costo de mano de obra.	33
9.	Costo de equipo y herramientas.	33
10.	Costos indirectos del proceso constructivo.	34
11.	Costo total del sistema estructural.	34
12.	Mezclas utilizadas para promediar la solución nutritiva de hortalizas de hoja.	35
13.	Solución nutritiva para el cultivo de hortalizas de hoja.	36
14.	Mezclas utilizadas para promediar la solución nutritiva de tomates y chiles dulces.	37
15.	Solución nutritiva para el cultivo de tomates y chile dulce	37
16.	Solución nutritiva para el cultivo de pepino.	38
17.	Dilución para solución nutritiva de hortalizas de hoja.	40
18.	Dilución para solución nutritiva de tomates y chile dulce.	40
19.	Dilución para solución nutritiva de pepinos.	41
20.	Costos mensuales por la compra de elementos químicos para las soluciones nutritivas.	43
21.	Características del equipo de bombeo [49].	45
22.	Materiales para ensamblaje de sistema hidráulico.	54
23.	Elementos de conformación para el sistema de bombeo.	55
24.	Precios de venta de los productos.	72
25.	Ingresos anuales.	74
26.	Producción anual de hortalizas de hoja.	74
27.	Producción anual de hortalizas de fruto.	75

28.	Cantidad de asteráceas por variedad.	75
29.	Cantidad de solanáceas por variedad.	76
30.	Cantidad de cucurbitáceas por variedad.	76
31.	Costo de materia prima para soluciones nutritivas.	76
32.	Costo de materia prima vegetal.	77
33.	Costos de ventas.	78
34.	Costos incurridos en ventas.	78
35.	Costos de mantenimiento.	79
36.	Costos de consumo eléctrico.	80
37.	Costos de consumo de agua.	80
38.	Costos salariales.	81
39.	Sumatoria de costos administrativos.	81
40.	Cálculo de tasa mínima de rentabilidad ponderada.	82
41.	Análisis de depreciaciones.	83
42.	Inversión inicial.	84
43.	Costo del invernadero.	85
44.	Inversiones diferidas.	86
45.	Condiciones solicitadas en el préstamo.	88
46.	Amortización del préstamo para financiar el 40 % de la inversión y el capital de trabajo del proyecto necesario para su puesta en marcha.	88
47.	Flujo de caja escenario 1.	89
48.	Indicadores financieros obtenidos bajo el escenario 1.	90
49.	Escenario 2: con distintos porcentajes de producción del sistema.	91
50.	Escenario 3: variación en el porcentaje de financiamiento.	93
51.	Tasas de interés evaluadas.	95
52.	Variaciones de TIR, VAN y PRIM para escenario 4	95
53.	Composición química de 1 kg de Oligomix [80].	117
54.	Solubilidad de los elementos químicos de las soluciones nutritivas.	117

Resumen

El proyecto se centra en el diseño e implementación de un sistema hidropónico tipo NFT, por sus siglas en inglés (Nutrient Film Technique) en el Hotel Recreo Verde, ubicado en la zona norte del país. Este sistema busca satisfacer el consumo de hortalizas en el restaurante del hotel, garantizando productos frescos y de alta calidad, al tiempo que aprovecha los excedentes para la comercialización, lo que genera ingresos adicionales al proyecto turístico.

La técnica hidropónica empleada no utiliza suelo y basa su funcionamiento en la recirculación de una película de solución nutritiva para alimentar las raíces de las plantas. Este método permite un uso eficiente de los recursos hídricos y una mayor producción tanto en cantidad como en calidad, en comparación con los métodos tradicionales. Las plántulas se colocan en canales donde las raíces permanecen suspendidas sobre la corriente de agua, maximizando la absorción de nutrientes.

El diseño estructural del sistema incluyó la construcción de pirámides para aumentar la superficie productiva en vertical, optimizando el espacio disponible dentro del invernadero. Se utilizaron materiales accesibles a nivel nacional, como PVC y elementos metálicos, y se estimaron los costos de los materiales requeridos. Además, se realizaron modelaciones en tercera dimensión para visualizar la distribución del sistema dentro del invernadero y garantizar su funcionalidad.

Se seleccionaron cultivos basados en las necesidades específicas del hotel, y se diseñó un sistema de riego y suministro de nutrientes acordes a los cultivos. Se integraron tecnologías para monitorear y controlar parámetros como pH, temperatura y conductividad eléctrica, optimizando el crecimiento de las plantas y reduciendo el consumo de recursos. El sistema hidráulico para riego incluyó bombas, tuberías, accesorios y temporizadores para garantizar un flujo constante y eficiente de la solución nutritiva.

El análisis financiero evaluó materiales, equipos, mano de obra y operación del sistema, concluyendo que el proyecto es rentable en un horizonte de cinco años cumpliendo con ciertas condiciones, como limitar el financiamiento al 40% de la inversión inicial y mantener la producción por encima del 98% de la capacidad.

El estudio de mercado demostró que los consumidores locales valoran los beneficios de las hortalizas hidropónicas y están dispuestos a pagar precios más altos en comparación con productos convencionales, validando la viabilidad comercial del proyecto a pesar de los elevados costos iniciales.

Entre las recomendaciones finales se incluyen la implementación de válvulas y llaves específicas para facilitar el mantenimiento del sistema hidráulico, la incorporación de sistemas automatizados de monitoreo con alarmas para mantener los rangos ideales de pH y temperatura, y la realización de análisis de laboratorio previos a la producción para probar la estabilidad de los compuestos en las condiciones propuestas. Asimismo, se sugiere construir una bodega ventilada y con baja exposición solar para almacenar productos químicos de manera adecuada, implementar iluminación LED para suplir la falta de luz natural en el sitio, y mejorar la ventilación del invernadero mediante ventanas cenitales para garantizar un ambiente controlado óptimo.

Abstract

The project focuses on the design and implementation of an NFT (Nutrient Film Technique) hydroponic system at Hotel Recreo Verde, located in the northern region of the country. This system aims to meet the self-supply needs of the hotel's restaurant by providing fresh and high-quality goods, while also utilizing surpluses for commercialization, thereby generating additional income for the tourism project.

The hydroponic technique employed does not use soil and operates based on the recirculation of a thin film of nutrient solution to promote the plant grow. This method enables efficient use of water resources and increases both the quantity and quality of production compared to traditional methods. Seedlings are placed in channels where their roots remain suspended above the water flow, maximizing nutrient absorption.

The structural design of the system included the construction of pyramids to increase the surface area of production, optimizing the available space within the greenhouse. Locally accessible materials, such as PVC and metallic elements were used, and the required material costs were estimated. Additionally, 3D modeling was performed to visualize the system's layout within the greenhouse and ensure its functionality.

Regarding the hydraulic design, crops were selected based on the hotel's specific needs, and an irrigation and nutrient delivery system was designed. Technologies were integrated to monitor and control parameters such as pH, temperature, and electrical conductivity, optimizing plant growth and reducing resource consumption. The hydraulic system included pumps, pipes, fittings, and timers to ensure a constant and efficient flow of the nutrient solution.

The economic analysis evaluated the costs of materials, equipment, labor, and system operation, concluding that the project is profitable within a five-year horizon if certain conditions are met, such as limiting bank financing to 40% of the initial investment and maintaining production above 98% of total capacity.

The market study showed that local consumers value the benefits of organic vegetables and are willing to pay higher prices compared to conventional products, validating the project's commercial viability despite high initial costs.

Final recommendations include implementing specific valves and keys to facilitate hydraulic system maintenance, incorporating automated monitoring systems with alarms to maintain ideal pH and temperature ranges, and conducting laboratory analyses prior to test the stability of the compounds under the proposed conditions. Additional suggestions are: to build a ventilated storage room with low sunlight exposure for proper chemical storage, to install LED lighting to compensate for the site's lack of natural light, and to improve greenhouse ventilation by adding roof windows to ensure an optimal controlled environment.

Capítulo 1

1. Introducción

1.1. Justificación

Los invernaderos agrícolas son instalaciones cada vez más utilizadas para la producción de hortalizas, tubérculos y plantas con frutos [1]. Estas estructuras se han convertido en un método que permite a los productores controlar las condiciones ambientales del espacio, proteger los cultivos de elementos climáticos externos, como el viento, lluvia y fluctuaciones de temperatura. Además, con el objetivo de crear técnicas con mayor eficiencia productiva, dentro de estos se pueden unificar distintos sistemas, tales como riego, hidroponía y automatización. Por otro lado, los invernaderos permiten altos porcentajes de asistencia computarizada, para programación de riego, mediciones de variables como temperatura, humedad y radiación solar, lo cual permite a los agricultores manejar de forma remota sus producciones [2].

Como principales ventajas de los invernaderos, se encuentra el alto porcentaje productivo, debido a la protección que el ambiente controlado brinda a los cultivos y la reducción de perturbaciones causada por cambios en el clima o presencia de plagas. Sumado a esto, se logran las condiciones óptimas que requiere cada tipo de planta, mediante variaciones de riego, temperatura y exposición solar, además de la posibilidad de aplicar fertirriego y lograr un nivel nutricional adecuado. Como principal virtud de los invernaderos, se presenta el manejo optimizado del agua, el cual reduce las pérdidas y aumenta la eficiencia hídrica [3].

La importancia de los sistemas de producción en ambientes controlados se ve reflejada en el aseguramiento de alimentos para una población en continuo crecimiento. Se estima que para el 2050 la población alcanzaría una cifra de nueve billones de personas, cantidad para la cual, los métodos de producción agrícola tradicional no van a ser suficientes. Un manejo eficiente de los recursos y un diseño adecuado de herramientas como los invernaderos son soluciones aptas para concretar algunos de los objetivos de la agenda 2030 de la Organización de las Naciones Unidas, tales como el hambre cero y un adecuado manejo que permita garantizar a los humanos modalidades de consumo y producción sostenibles [4].

El riego es un método con el cual, los productores se aseguran que las plantas reciban la cantidad de agua necesaria para su desarrollo, sin haber desperdicio ni altos costos económicos [5]. Tomando en cuenta lo anterior, se establece la necesidad de hacer un manejo de agua de manera dosificada para riegos agrícolas. Razón por la cual, los sistemas de riego por goteo y aspersión, en conjunto con la automatización en producciones agrícolas, están siendo cada vez más aplicados [5], asimismo, el fertirriego, técnica que combina el riego con la aplicación de fertilizantes.

Como alternativa de sistemas de producción que pueden utilizarse en estructuras protegidas, se encuentra la hidroponía, la cual se posiciona como una de las mejores opciones para actualizar los sistemas de producción actuales. La reducción de requerimientos hídricos se posiciona como la mayor ventaja de estos sistemas, ya que en comparación con los métodos regulares consume entre un 70 y un 80% menos de agua. Además, el uso de pesticidas se reduce por el bajo crecimiento de malezas [6].

Una de las técnicas hidropónicas más utilizada es la de película nutritiva, la cual se basa en un sistema de raíces flotantes que se encuentran sumergidas en una capa de solución compuesta por una disolución previa de nutrientes. Este sistema puede realizarse en camas o tubos de cultivo, con un flujo de solución nutritiva permanente. El sistema hidráulico utilizando en esta técnica, se compone de equipos de bombeo, tanques de recirculación, elementos de filtrado y bombas de aire, además de la necesidad de una pendiente para la recirculación de la solución [7].

Este trabajo se centró en diseñar un sistema hidropónico basado en la técnica NFT, mediante una mezcla de investigación agronómica, hidráulica y estructural. La importancia de este proyecto se basa en la adaptación de los requerimientos de diseño, basados en las condiciones espaciales. Para la creación del diseño, se partió del posicionamiento del sistema dentro de un invernadero, por lo cual las variables de diseño que se estudiarán se encuentran limitadas por el área del ambiente controlado.

Se realizó un análisis financiero del proyecto, mediante un estudio de costos de toda la estructura del sistema, incluyendo el sistema hidráulico, además de toda la mano de obra necesaria para construcción y manejo del sistema hidropónico. Con el objetivo de evaluar la rentabilidad en un horizonte de cinco años.

1.2. Objetivos

1.2.1. General

Diseñar un sistema hidropónico de película nutritiva (NFT, por sus siglas en inglés) para la producción de tres cultivos en un ambiente controlado con el fin de autoabastecer el hotel Recreo Verde en Venecia de San Carlos.

1.2.2. Específicos

- Diseñar el sistema hidropónico NFT, para establecer la capacidad productiva de tres cultivos y los materiales constructivos.
- Determinar los requerimientos hidráulicos del sistema hidropónico NFT, para escoger los equipos de bombeo, consumibles hidráulicos y equipo de automatización.
- Realizar un análisis técnico-financiero del sistema NFT, para determinar la sostenibilidad financiera del proyecto.

Capítulo 2

2. Marco teórico

2.1. Hidroponía

El desarrollo de la técnica hidropónica se presenta como un método de producción sin necesidad de suelo, se pueden utilizar sustratos como fibra de coco, piedrillas o carbón. El proceso de nutrición se realiza por parte de las plantas mediante su sistema de raíces, absorbiendo una solución nutritiva previamente preparada que un sistema de bombeo se encarga de hacer recircular por el sistema [5].

Los sistemas hidropónicos representan ventajas técnicas y económicas, tales como la posibilidad de convertir espacios con suelos no aptos para producción, en áreas con porcentajes productivos elevados, además de un mayor aprovechamiento del terreno por la posibilidad del aumento poblacional [8]. También permiten aumentar la calidad de los cultivos y la reducción de afectaciones fitosanitarias por el diseño casi hermético. Como principal ventaja ambiental de los sistemas hidropónicos, se posiciona el manejo integral del recurso hídrico, empezando por el proceso de recirculación que elimina el desperdicio y la pérdida por evaporación [5].

En el ámbito económico la disminución de costos operativos es considerable, menores gastos en insumos y mano de obra. Sumado a esto, los sistemas hidropónicos posibilitan la producción anual por tener una menor dependencia de factores climáticos, tales como precipitaciones y variaciones de temperatura [8].

Los sistemas hidropónicos están constituidos por una serie de componentes: tubos de cultivo, riego, drenaje, sustrato, solución nutritiva y cultivos [5]. Además, se aplican sistemas de automatización y control en el proceso de riego, según los requerimientos de los cultivos y los productores [9]. Referente al sistema de riego, este es de flujo constante y debe ser laminar, para no crear turbulencias que afecten el sistema radicular de las plantas.

En el mercado hay amplia variedad de materiales con los cuales ensamblar sistemas hidropónicos, entre estos: PVC, madera y bambú. Relacionado con inversión inicial, algunos de estos representan costos más elevados, con la ventaja de que poseen una vida útil mayor que los de origen vegetal que se degradaran fácilmente con las condiciones del sistema.

2.2. Técnicas hidropónicas

Existen diversas técnicas en la producción hidropónica, las cuales se adaptan a distintos tipos de cultivos, condiciones y necesidades: desde sistemas como la técnica de película de nutrientes (NFT) que usa un flujo continuo de solución nutritiva, hasta sistemas de mecha y de raíz flotante que emplean materiales absorbentes y soluciones estancadas. La variedad de técnicas productivas permite a los productores la optimización de los recursos, una mejora en el rendimiento y la disminución del impacto ambiental de su actividad agrícola.

El sistema de mecha se considera uno de los métodos hidropónicos más simples, ya que no requiere electricidad, ni el uso de bombas o sistemas de automatización. Este método emplea un sustrato absorbente, como perlita, fibra de coco o vermiculita, que ayuda a retener y distribuir la humedad. Su funcionamiento se basa en la acción capilar: una mecha conecta las raíces de las plantas con el depósito de solución nutritiva, permitiendo que los nutrientes asciendan de forma natural y continua hacia las raíces [10].

Otro sistema utilizado es el de inundación, el cual se basa en inmersión y drenaje. A diferencia del sistema de mecha, este método si requiere de un sistema de bombeo, ya que la solución nutritiva se bombea del reservorio hacia las camas de cultivo para posteriormente mantener las plantas anegadas por un periodo de tiempo específico. Sin embargo, es común al usar esta metodología, sufrir problemas de pudrición de las plantas y la aparición de algas [11].

Un sistema de los más utilizados es el de goteo. Este se basa en la distribución de la solución nutritiva, mediante un sistema de bombeo, pero suministrado a las raíces directamente por gotas. Al igual que el método de mecha, se utiliza un medio para retener humedad y permitir que las plantas absorban lentamente [11].

El sistema de cultivo en agua profunda, se basa en la suspensión de las raíces de las plantas en la solución nutritiva, obteniendo oxigenación mediante una bomba de aire. Al igual que el sistema de inundación, es normal encontrar raíces con pudrición, presencia de algas y hongos. En este método requiere de análisis de concentración de oxígeno, nutrientes, pH y salinidad constantes [11].

2.3. Sistemas NFT

El principio de la técnica hidropónica NFT, se basa en el sumergimiento de las raíces de las plantas en tubos o camas de cultivo, con un flujo de solución nutritiva recirculante. Este método requiere de un proceso de disolución previa de nutrientes en un tanque con agua, en concentraciones determinadas por los requerimientos nutricionales de los cultivos a producir. Además, este sistema requiere de elementos como: equipos de filtración, aireación, bombeo y almacenamiento, como se puede observar en la figura 1. El almacenamiento se requiere para generar recirculación, donde los nutrientes vuelvan al tanque luego del proceso de bombeo mediante gravedad [5].

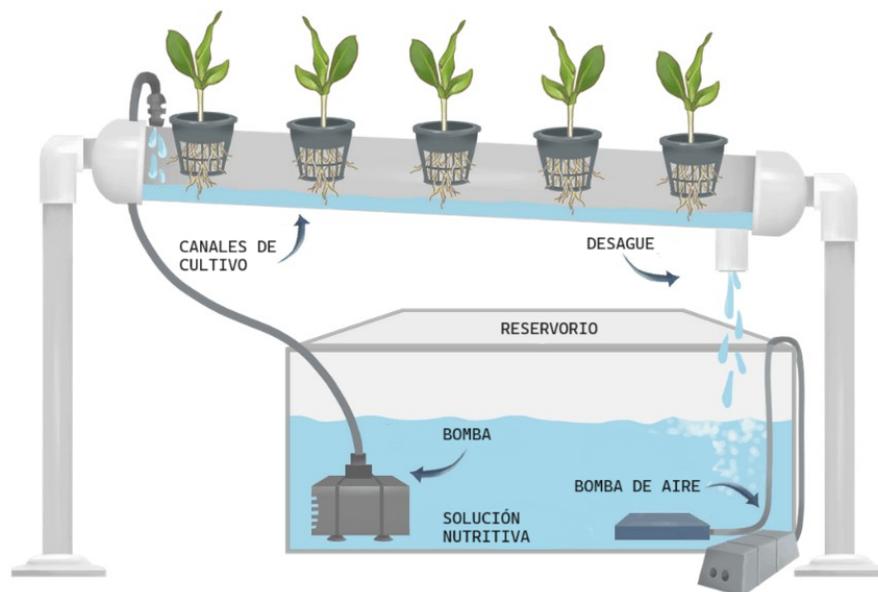


Fig 1: Sistema NFT. Modificado de [12].

Un sistema NFT de recirculación constante, requiere de una serie de componentes:

- Tanque colector de solución nutritiva.
- Canales de cultivo.
- Bomba hidráulica para inyectar la solución nutritiva al sistema.
- Aireador para inyectar oxígeno a la solución nutritiva.
- Red de tuberías de recolección.

Para diseñar un sistema hidropónico, es necesario determinar el factor de aireación y bombeo. Escoger una bomba, requiere de cálculos, determinación de caudal y volumen de agua, asimismo, es necesario tener en consideración diferencias de altura de máximo 5 m. Se establece que la bomba debe recircular todo el fluido una vez por hora, mediante el uso de un cronómetro que automatiza el proceso.

En cuanto al equipo de aireación, las plantas necesitan oxígeno para absorber nutrientes de manera eficiente. Debido a que las raíces están en contacto con una fina película de agua en constante recirculación, si la solución no está oxigenada, el oxígeno disuelto puede agotarse, lo cual afectaría el crecimiento y la salud de las plantas [13].

El tanque recolector es preferible que tenga un tamaño mayor que el caudal que se espera recircule la bomba, esto por posibles excesos en la captación de aguas. Además, para evitar la reproducción de bacterias y hongos, tanto el tanque colector como las mangueras de captación, deben ser oscuras y no tener exposición directa al sol. Es preferible que el tanque se encuentre bajo el nivel del suelo y debajo de una estructura que lo resguarde [13].

El estándar estructural de sistemas hidropónicos NFT se basa en estructuras compuestas por bases metálicas encargadas de brindar soporte y apoyo a tubos de PVC, con agujeros para introducir canastas de cultivo. Las configuraciones más utilizadas son piramidales, debido a la posibilidad de maximizar espacio y aumentar producción. Para la recirculación los canales deben tener una pendiente mínimo de 1 %, para facilitar que la película nutritiva se pueda recolectar en un tanque. La disolución vuelve a los tubos de cultivo de manera intermitente, según se determine con respecto a los requerimientos del cultivo que se desee producir [7].

2.4. Hidroponía en el mundo

Los sistemas hidropónicos han emergido como una solución innovadora que permite cultivar plantas sin suelo, utilizando técnicas que optimizan el uso del agua y los nutrientes. Esta forma de agricultura no solo se adapta a entornos urbanos, sino que también se está implementando en diversas regiones del mundo, contribuyendo así a la seguridad alimentaria y ofreciendo una alternativa viable ante las limitaciones de la agricultura tradicional. La expansión de la hidroponía tiene un comportamiento mundial. Mediante un estudio (2023) de publicaciones de sistemas hidropónicos extensivos en función, se determinó que en Europa existe la mayor cantidad de estas producciones con 203 sistemas, seguido por América del Sur con 97, Asia con 91, América del Norte con 98, Australia con 11 y África con 8 [1].



Fig 2: Ubicación de producciones hidropónicas en el mundo [1].

Los sistemas analizados en este estudio abarcaron 13 tipos de hortalizas, entre ellas: lechugas, tomates, berenjenas, frijoles, zanahorias, cebollas, calabazas, calabacines, hortalizas de hoja y coles. Este análisis ofrece una perspectiva sobre la viabilidad y versatilidad de esta técnica [1].

En Costa Rica, no existen proyectos hidropónicos extensivos a gran escala. Aunque el país tiene una fuerte tradición agrícola, esta técnica no se ha desarrollado con la misma intensidad que en otras naciones. Factores como la disponibilidad de suelos fértiles, los costos iniciales de implementación y la falta de incentivos específicos pueden haber limitado su expansión.

2.5. Cultivos desarrollados en sistemas hidropónicos

Los sistemas hidropónicos permiten el cultivo eficiente de una amplia variedad de hortalizas. Diversas plantas poseen la capacidad de crecer en sistemas con ausencia de suelo, algunas de las familias de cultivos con los que se puede trabajar en hidroponía son: cereales, frutas, vegetales, hortalizas, condimentos, flores, plantas medicinales y plantas forrajeras [11].

Algunos de los productos de mayor consumo a nivel mundial que se producen en sistemas hidropónicos son: maíz, tomate, hortalizas de hoja, fresa, sorgo, alfalfa, orégano, pepino, melón, cebollas, arroz y chile dulce [11].

2.6. Sistema de Producción Hidropónico Piramidal (SPHP)

Los sistemas hidropónicos piramidales son métodos de producción agrícola que permiten el cultivo de plantas sin necesidad de suelo. Estos sistemas emplean una solución nutritiva que, a través de sistemas de bombeo, se distribuye directamente a las raíces, proporcionando los nutrientes esenciales para el crecimiento óptimo de las plantas [14].

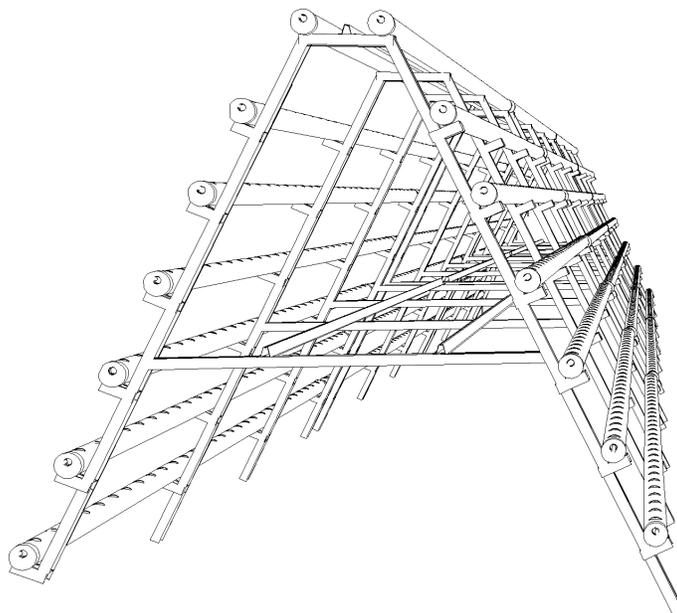


Fig 3: Sistema hidropónico de configuración piramidal.

Esta configuración de sistema, como se muestra en la figura 3, se compone de estructuras en forma de pirámides, mediante la cual se optimizan el espacio y la recepción de luz solar, lo que permite aprovechar el área vertical de espacios reducidos, mediante la producción en múltiples niveles, como se muestra en la tabla 1.

Tabla 1: Ventajas de la implementación de sistemas hidropónicos.

Característica	Descripción
Eficiencia espacial	Permite cultivar más plantas en menos espacio.
Ahorro de agua	Usan menos agua que los métodos de cultivo tradicionales.
Crecimiento rápido	Crecimiento más rápido debido a la disponibilidad de nutrientes.
Menos plagas y enfermedades	Se reducen enfermedades del suelo y plagas.

2.7. Producción hidropónica en ambientes controlados

En los últimos 30 años, el uso de sistemas hidropónicos ha aumentado en producciones de ambientes controlados. El objetivo principal ha sido la disminución de factores edafológicos que son capaces de disminuir la producción agrícola, como enfermedades, plagas y falta de nutrientes del suelo [15]. Además, este conjunto de sistemas permite la producción y el cumplimiento de demanda en el mercado, por la posibilidad de producir durante todo el año [16].

La producción hidropónica dentro de ambientes controlados, requiere de una serie de sistemas para un desarrollo adecuado de los cultivos. Inicialmente, se presentan los sistemas estructurales, tanto del invernadero como del sistema hidropónico, seguidos por el sistema hidráulico encargado de los procesos de recirculación y por último, la necesidad de fuentes de energía para el accionar de los equipos y la posibilidad de automatización en estos.

2.8. Generalidades de la producción hidropónica en Costa Rica

El principal promotor de hidroponía en Costa Rica es el Instituto Nacional de Aprendizaje (INA), el cual dio inicio a capacitaciones en el año 2000. A pesar de los esfuerzos de esta entidad, los sistemas que se encuentran en el mercado, resultan costosos y los productores nacionales consideran que tienen una baja eficiencia. Entre las razones principales por las que la producción hidropónica en Costa Rica posee un bajo porcentaje, según Calvo y Guzmán [17] se encuentra la falta de ambientes protegidos que brinden a la producción, resguardo a condiciones ambientales, precipitaciones y variaciones de temperatura.

2.9. Producción hidropónica en ambientes controlados en la Región Huetar Norte de Costa Rica

La Región Huetar Norte (RHN), región donde se desarrolla el mayor porcentaje de producción agroindustrial del país, se caracteriza por no tener un régimen de época seca definido. Esta región comprende las cimas de la Cordillera Volcánica Central, Montes del Aguacate, Cordillera de Guanacaste y la frontera con Nicaragua [18]. San Carlos es el cantón donde se encuentra el proyecto hidropónico a desarrollar, región que se caracteriza como un bosque tropical húmedo con la cualidad de ser la tercera región más lluviosa del país, con precipitaciones anuales promedio de 3 200 mm en un único periodo lluvioso, iniciando en mayo y finalizando en enero. Las temperaturas más altas oscilan entre 31 °C y 32 °C en los meses de marzo y mayo, mientras que las más bajas entre 23 °C y 24 °C, en los meses octubre y diciembre [19].

La problemática que se presenta en la producción de hortalizas en la RHN es su condición climática, con periodos de lluvia amplios e irregulares, altas temperaturas y altos porcentajes de humedad, características no aptas para estos cultivos. Razón por la cual, algunas de las posibilidades de producción hortícola en esta zona son los ambientes protegidos en conjunto con producción hidropónica [20].

La mezcla de estos sistemas representa la habilitación de las condiciones necesarias para la producción de hortalizas en una zona tropical húmeda. En la RHN existen sistemas hidropónicos bajo sistema de ambiente protegido, en los cuales se producen hortalizas como chile dulce, tomate y lechuga. Este sistema se encuentra en el cantón de San Carlos, distrito Santa Clara, en el campus universitario del Tecnológico de Costa Rica, diseño que se llevó a cabo en el desarrollo de un proyecto final de graduación [8].

2.10. Sistema hidráulico

Los sistemas hidropónicos basados en técnica NFT requieren de un sistema hidráulico para poder llevar a cabo el proceso de recirculación. La bomba es el dispositivo que se encarga de generar la recirculación del agua con la solución nutritiva, esto mediante la transformación de energía mecánica rotatoria en energía hidráulica.

El proceso de transformación experimenta dos etapas, que permiten el funcionamiento del sistema. Inicialmente, sucede la aspiración, la cual se genera por la diferencia de presiones generada por la succión de la bomba, lo que luego da paso al impulso del fluido hacia la entrada de la bomba. Seguidamente, la descarga del sistema hidráulico se realiza luego de que la bomba succione el fluido y lo traslade a la salida para que luego realice el recorrido por todo el sistema hidropónico y se genere el ciclo hidráulico constante [21].

Accesorios como mangueras y desagües, son necesarios para que la solución nutritiva regrese al tanque de captación, procedente del sistema hidropónico, por lo cual se debe establecer una pendiente mínima en el diseño del sistema, con la que el líquido pueda evacuar por los tubos y volver a almacenarse en el tanque.

Las mangueras deben ser de un material resistente y de color oscuro, esto para evitar la creación de colonias de microorganismos que luego generen un impedimento para el fluido. Lo mismo se aplica para el tanque de captación; preferiblemente debe ser de plástico y oscuro.

2.11. Solución nutritiva

Los cultivos poseen la necesidad de nutrientes y minerales para poder aumentar en tamaño y producción. En un sistema hidropónico, la recirculación de la solución nutritiva es requerida para que las plantas generen el proceso de absorción de nutrientes disueltos en el agua a través de sus raíces, como punto focal de la alimentación hacia hojas, tallos y frutos [22].

Entre los factores más relevantes de la solución nutritiva se encuentra el valor de pH, el cual afecta significativamente el crecimiento de las plantas. El pH influye en la combinación de los nutrientes y en posibles precipitaciones de la solución nutritiva [8]. Los nutrientes que se mezclan en las soluciones nutritivas deben estar disponibles para la absorción radicular de las plantas, pero esto solo ocurre a niveles particulares de pH [23].

Otro factor es la conductividad eléctrica, la concentración total de sales es un indicador de la concentración de iones disponibles para las plantas [23]. Entre mayor concentración de sales, mayor conductividad eléctrica y menor potencial osmótico, un aumento de la conductividad representa mayor gasto energético en la absorción radicular, lo cual disminuye el crecimiento de las plantas.

La temperatura de las soluciones nutritivas se considera el factor más relevante en el crecimiento de los cultivos y la calidad del sistema hidropónico. Los cambios de temperatura son capaces de afectar funciones fisiológicas tales como fotosíntesis y pigmentación, además de la absorción de nutrientes y la síntesis de los mismos [24].

La producción depende del equilibrio de los elementos disueltos, ya que a falta de estos, se ralentizaría el crecimiento y, por ende, la producción del sistema. Además, un exceso podría generar la muerte de las plantas por una sobreabsorción de elementos o una obstrucción del sistema por la precipitación de los mismos. Para evitar lo mencionado, se genera una solución nutritiva basada en tres compuestos principales, que posteriormente se mezclan en el proceso hidráulico [25].

Existen tres soluciones base:

- Solución A: contiene nitrógeno, fósforo, potasio, azufre y magnesio.
- Solución B: contiene hierro, manganeso, cobre, zinc, boro y molibdeno.
- Solución C: contiene los compuestos que poseen calcio, los cuales deben separarse del fósforo, azufre y magnesio, para evitar reacciones químicas como formación de precipitados e insolubilidad de algunos elementos.

2.12. Automatización

Los equipos que generan procesos automatizados en actividades agrícolas son esenciales para optimizar el uso de recursos y mejorar la eficiencia productiva. Estos sistemas permiten reducir tiempos de operación, minimizar el consumo de agua y energía, y disminuir la dependencia de mano de obra, lo cual es clave en un contexto donde la sostenibilidad y la rentabilidad son prioridades. La automatización se basa en valores previamente configurados, que pueden depender del tipo de cultivo, los tiempos de riego, o los parámetros definidos por el productor según objetivos específicos.

En la agricultura hidropónica, la automatización está estrechamente relacionada con la gestión adecuada de recursos hídricos y eléctricos. Los sistemas automatizados emplean sensores y programación avanzada para ajustar los ciclos de riego de manera precisa, siguiendo intervalos y cantidades de agua recomendados en la literatura científica. Estos equipos permiten activar y desactivar el riego automáticamente, optimizando las condiciones de cultivo y reduciendo el desperdicio de recursos, lo cual no solo mejora la productividad, sino que también contribuye a la sostenibilidad del sistema.

2.13. Estudio de mercado

El desarrollo de estudios de mercado es fundamental para el éxito de proyectos de ventas, ya que permite comprender en profundidad las necesidades y preferencias de los consumidores. Estos estudios proporcionan datos que ayudan a identificar oportunidades, definir estrategias, minimizar riesgos y agilizar la toma de decisiones. Al conocer el entorno competitivo y las tendencias de mercado, las empresas pueden diseñar productos y servicios más atractivos, adaptando sus ofertas a la demanda real y maximizando su potencial de crecimiento y rentabilidad [26].

Existen tres aspectos importantes a la hora de desarrollar un estudio de mercado [26].

1. Localizar e identificar nuevas oportunidades de mercado para una compañía.
2. Identificar grupos de clientes de un mercado que tengan necesidades, características o preferencias parecidas.
3. Identificar las ventajas y desventajas de los competidores actuales y potenciales.

A continuación se expondrán los componentes principales de un estudio de mercado:

2.13.1. Demanda

Corresponde a la cantidad de bienes y servicios que el mercado está dispuesto a adquirir para satisfacer sus necesidades. Está influenciada por factores como los recursos disponibles del consumidor o usuario, el precio del producto, las preferencias de los clientes, los estímulos de marketing recibidos, la ubicación geográfica y la disponibilidad de productos por parte de la competencia, entre otros aspectos [27]. Los factores determinantes de la demanda son:

- Precio del bien o servicio.
- Precio de los bienes o servicios sustitutos.
- Renta del consumidor.
- Estímulos del marketing.

2.13.2. Oferta

En un estudio de mercado, la oferta se refiere a la cantidad de bienes o servicios que los productores o vendedores están dispuestos a proporcionar en el mercado a un precio determinado. La oferta depende de la capacidad de producción de una empresa, de costos de producción, la disponibilidad de recursos, las condiciones tecnológicas, las regulaciones del mercado y la competencia [28].

2.13.3. Precio

El precio determina el nivel de ingresos que obtendrá un proyecto, tanto por su cantidad, como por su efecto en el volumen de ventas. Este se entiende como la relación entre la cantidad de dinero que recibe el vendedor y la cantidad de bienes que recibe el comprador [29].

Al estar identificados los aspectos anteriores, se puede aplicar una técnica de investigación basada en la formulación de un listado de preguntas claves para aplicar a los consumidores o público meta, considerando que cada pregunta sea un instrumento de investigación que ayuda a esclarecer la toma de decisiones y el rumbo del mercadeo. Mediante esta investigación se recopila información con la cual sea posible conocer las preferencias y decisiones a la hora de comprar los productos que ofrecen las empresas [26].

2.14. Análisis de rentabilidad

Las grandes inversiones requieren una evaluación rigurosa que considere diversos escenarios económicos y métodos para determinar su rentabilidad. Para ello, es esencial diseñar estrategias y realizar análisis que permitan medir las cualidades de la inversión. Estos análisis incluyen la estimación de posibles ingresos, así como el cálculo de costos de producción y adquisición de materias primas, con el fin de obtener una visión completa de la viabilidad económica y del retorno esperado de la inversión [30].

Un análisis de rentabilidad debe plantearse con un horizonte de proyecto definido, en el cual se evalúan indicadores como la tasa mínima de rentabilidad (K_o), el Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el Periodo de Recuperación de la Inversión Modificado (PRIM) [31].

2.14.1. Tasa Mínima de Rentabilidad (K_o)

Para determinar el VAN, la TIR y el PRIM, es necesario establecer la tasa de rentabilidad mínima (K_o), este indicador representa el rendimiento mínimo que debe generar un proyecto para ser considerado viable, considerando al mismo tiempo una prima de riesgo. Si la rentabilidad del proyecto es mejor a la K_o calculada, se establece que la inversión no justifica el riesgo [32].

TIR > K_o Proyecto rentable.

TIR < K_o Proyecto no rentable.

2.14.2. Valor Actual Neto (VAN)

Inicialmente, para determinar el VAN, se realiza un cálculo de la diferencia de ingresos contra egresos periódicos, para analizar según los siguientes indicadores:

VAN = 0 El proyecto no dará ganancias ni pérdidas.

VAN > 0 Proyecto rentable.

VAN < 0 Proyecto no rentable.

2.14.3. Tasa Interna de Retorno (TIR)

En el caso de la TIR, esta se define como la tasa de descuento, la cual genera que el Valor Actual Neto sea cero, mediante la igualdad de los ingresos del proyecto con el valor de los egresos periódicos [31]. Su análisis se realiza con los siguientes indicadores:

TIR > K_o Proyecto viable.

TIR < K_o Proyecto no viable.

2.14.4. Periodo de Recuperación de la Inversión Modificado (PRIM)

El PRIM se refiere al tiempo necesario para recuperar el monto invertido en un proyecto a través de los flujos de efectivo generados. Este indicador ayuda a los inversionistas a determinar cuánto tiempo tardarán en recuperar el capital inicial. Cuanto más corto sea el PRIM, menor será el riesgo y mayor la liquidez del proyecto [30].

2.14.5. Costos e ingresos

Los costos variables de una empresa se derivan de su volumen de producción, equivalentemente aumentan o disminuyen si esta sube o baja. Los costos totales de producción se componen de la suma de los costos fijos, que son aquellos que permanecen constantes, y los costos variables [29].

2.14.6. Inversiones

Las inversiones son recursos financieros destinados al desarrollo de un proyecto, con el objetivo de obtener ganancias o rendimientos futuros. La mayor parte de las inversiones se realizan antes de la puesta en marcha del proyecto, otras durante la operación y otras cuando sea necesario reponer equipos debido a la depreciación. Las inversiones se dividen en tres tipos: activos fijos, activos intangibles y capital de trabajo [29].

- **Activos fijos:** Inversiones realizadas como bienes tangibles, los cuales se utilizan para el desarrollo del proyecto. Un activo fijo es un tipo de recurso o bien que posee una empresa o entidad y que está destinado a ser utilizado en sus operaciones a largo plazo. Ejemplos comunes de activos fijos son los terrenos, edificios, maquinaria, vehículos, mobiliario y equipo [29].

-
- **Activos intangibles:** Inversiones realizadas sobre activos conformados por servicios, derechos adquiridos o trámites necesarios para el arranque del proyecto. A diferencia de los activos físicos, no tienen una presencia física o material. Algunos ejemplos de activos intangibles son patentes, software, marcas registradas, capacitación de personal y construcción de redes sociales [29].
 - **Capital de trabajo:** Conjunto de recursos financieros, en forma de activos corrientes, necesarios para que los proyectos puedan cubrir sus operaciones diarias durante un ciclo productivo para una capacidad y tamaño determinado. Los principales métodos para su cálculo, son el de periodo de desfase y el de déficit acumulado máximo.

2.14.7. Análisis de sensibilidad

Mediante un análisis de sensibilidad se puede determinar la vulnerabilidad a variaciones en uno o más factores definitorios del análisis financiero. Se pueden modificar valores relacionados directamente con los indicadores financieros, para evaluar la sensibilización del modelo [29].

Los análisis de sensibilidad se pueden determinar como unidimensionales o multidimensionales, lo cual se determina según el número de factores que sufren variación. El análisis unidimensional causa variaciones en una única variable y el multidimensional en más de una [29].

2.15. Hotel Recreo Verde

El Hotel Recreo Verde Hot Springs y Spa se encuentra en Venecia de San Carlos. Sus inicios datan del año 1994, con la idea de aprovechar los atractivos naturales de lo que en ese entonces era una finca ganadera. En 1996, abren sus puertas por primera vez como centro turístico, ofreciendo atractivos como piscinas termales y un ambiente rodeado de bosque, principio que se puede apreciar en su logo en la figura 4. Con el paso de los años han aumentado sus fortalezas, tales como la capacidad para albergar turistas en cabañas, un sistema de *canopy*, senderos y su propio restaurante [33].

El centro turístico posee un atractivo ecológico brindado por la energía geotermal proveniente de pozos, los cuales brindan un atractivo termal con distintas estancias benéficas para la salud

de sus visitantes. La empresa promueve la sostenibilidad ambiental, principio por el cual, posee un convenio con la Universidad de Costa Rica para investigar acerca del aprovechamiento de energías alternativas al petróleo. A raíz de este convenio, surge el proyecto de producción hidropónica, con el cual se pretende lograr autosostenibilidad en el consumo de cultivos hidropónicos.

La autosostenibilidad de este proyecto se basa en destinar una parte de la producción de hortalizas hidropónicas al abastecimiento del restaurante dentro del centro turístico. Este modelo de integración reduce costos y aumenta la eficiencia operativa. La selección de las hortalizas a cultivar se centra en aquellas de mayor demanda dentro del restaurante, lo que optimiza el uso de los recursos y garantiza un suministro constante de productos.



Fig 4: Logo empresa Recreo Verde.

El uso del logo de Hotel Recreo Verde en este documento ha sido autorizado por la propietaria del inmueble.

Capítulo 3

3. Materiales y métodos

3.1. Área de estudio

El área de estudio, representada en la figura 5, abarca 192 m² dentro de los 91 544,14 m² que conforman el centro turístico Recreo Verde, ubicado en Marsella, San Carlos, Costa Rica. La estación meteorológica Piñales, Las Delicias – San Carlos, situada a 10 km del área en estudio, registra temperaturas máximas de 31,9 °C y mínimas de 23,1 °C, con una humedad relativa promedio del 63 % [34].

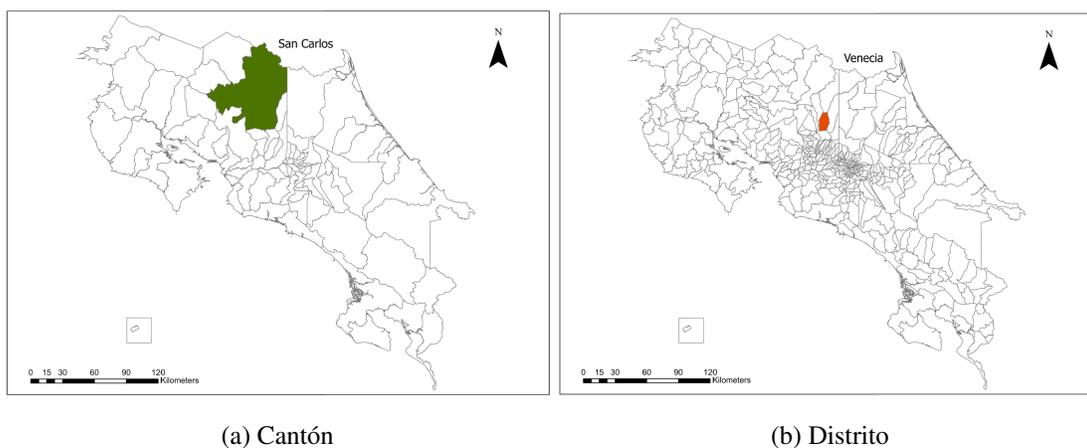


Fig 5: Área de estudio.

3.2. Recopilación de información

Las condiciones del sitio de estudio establecieron los parámetros de diseño, tales como el área de producción utilizable en el invernadero, los requerimientos productivos del restaurante del hotel y el presupuesto. La información utilizada para determinar el diseño hidropónico se recopiló de investigaciones previas y de la participación en dos cursos: Acuaponía paso a paso, impartido por Green Fish y Básico de Hidroponía, impartido por la Universidad de Costa Rica.

3.3. Diseño del sistema hidropónico

El desarrollo del sistema hidropónico se realizó siguiendo una lista de requisitos según las preferencias de los propietarios del Hotel Recreo Verde. En la tabla 2 se muestran los criterios establecidos. Entre estas características se fija la necesidad de ubicar el sistema dentro de un ambiente protegido previamente caracterizado, para asegurar el nivel de producción en condiciones controladas. Derivado de la ubicación en el invernadero, se selecciona el posicionamiento vertical, como la opción viable para obtener mayor producción.

Tabla 2: Criterios de diseño.

Criterio	Descripción
1	Ubicación dentro de un ambiente protegido
2	Aprovechamiento de espacio vertical
3	Uso de materiales constructivos de fácil acceso
4	Uso de un sistema sin sustrato
5	Recirculación de solución nutritiva
6	Automatización de equipos de riego
7	Facilidad de mantenimiento y manufactura
8	Capacidad productiva de tres familias de hortalizas
9	Vida útil prolongada
10	Bajo costo de inversión

Se decidió aplicar la implementación de un sistema NFT para reducir el consumo de agua y mano de obra. El diseño de los canales de cultivo se realizó considerando las dimensiones íntegras de tubos de PVC para reducir el desecho de materiales, la separación de los huecos en los tubos (20 cm) se determinó basada en el sistema radicular de las plantas y el espacio óptimo para su crecimiento.

Se consideró la naturaleza de los materiales con el fin de obtener una vida útil extensa. Además, otro requisito es la adquisición, en almacenes ferreteros cercanos, para minimizar los costos de acarreo y transporte. Al determinar el diseño del sistema, se utilizaron los software AutoCAD y SketchUp para modelar en segunda y tercera dimensión respectivamente.

3.4. Caracterización del invernadero

Para determinar las dimensiones del invernadero donde se ubicó el sistema hidropónico, inicialmente se estableció el área que los propietarios del hotel quisieran usar para el proyecto. Se determinaron dimensiones de 21 m de largo, 9,6 m de ancho y 5 m de alto, para un área de 192 m². Para los materiales del invernadero, los propietarios eligieron una configuración de capilla, con cubierta curva y estructura metálica.

3.5. Selección de soluciones nutritivas

Para determinar las soluciones nutritivas requeridas por los cultivos, se estudiaron los requerimientos de pH, conductividad eléctrica y elementos químicos macro y micro. Estos requerimientos se conocieron mediante un curso básico de hidroponía realizado en la Estación Experimental Fabio Baudrit Moreno [35].

Para establecer los grupos de hortalizas con requerimientos similares, se dividieron inicialmente por familias. Luego, se investigaron las soluciones nutritivas utilizadas en el mercado nacional, principalmente las producidas por el Instituto Nacional de Aprendizaje y por profesionales de la Estación Experimental Fabio Baudrit Moreno. Para ello, se utilizaron hortalizas de las familias Asteraceae, Cucurbitaceae y Solanaceae.

Se investigaron un total de 6 mezclas de soluciones nutritivas generadas por el Instituto Nacional de Aprendizaje y por profesionales de la Estación Experimental Fabio Baudrit Moreno. Posteriormente, se generó una solución promedio a partir de al menos dos mezclas, teniendo en cuenta los requerimientos nutricionales de las hortalizas a producir. Con la excepción del cultivo de pepino, el cual requiere de condiciones y nutrición diferenciada, por lo que se va a utilizar en este caso una solución estándar.

3.6. Diseño del sistema hidráulico

Mediante la ejecución de cálculos se determinó el área de los tubos, el caudal, el número de Reynolds para los tubos de PVC, pérdidas por fricción utilizando la ecuación de la energía y de Hazen Williams, pérdidas por accesorios y pérdidas totales del sistema.

$$\frac{v_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\gamma} + z_1 + H_B = \frac{v_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\gamma} + z_2 + h_f + h_l \quad (1)$$

Donde:

z: Alturas de succión (z_1) y descarga del tanque (z_2) (m)

P: Presión de entrada (P_1) y salida (P_2) (Pa)

v: Velocidad (m/s)

H_b: Carga proporcionada por la bomba (m)

γ : Peso específico (N/m^3)

h_f: Pérdidas por fricción por Hazen Williams (m)

h_l: Pérdidas por accesorios (m)

$$h_f = \frac{10,67 \cdot L \cdot Q^{1,85}}{C^{1,85} \cdot D^{4,87}} \quad (2)$$

Donde:

h_f: Pérdida de carga por fricción (m)

L: Longitud de la tubería (m)

Q: Caudal (l/min)

C: Coeficiente de rugosidad de Hazen-Williams

D: Diámetro interno de la tubería (m)

$$h_l = \sum K_i \cdot \frac{v^2}{2g} \quad (3)$$

Donde:

h_l : Pérdidas por accesorios (m)

K_i : Coeficiente de pérdidas de carga del accesorio específico

g : Gravedad (m/s^2)

v : Velocidad (m/s)

El diseño del sistema se realizó considerando el flujo adecuado para el desarrollo biológico de las plantas, el cual en este caso debe ser laminar, para no perturbar el sistema radicular. Como parámetros elementales se consideraron el porcentaje de pérdidas y el uso mínimo de tuberías. Además, se diseñó un sistema de retorno por gravedad de las soluciones nutritivas, el cual evita procesos de acumulación o crecimiento de microorganismos en las tuberías.

En cuanto a la selección de componentes como canales, bombas y depósitos de nutrientes, estos se seleccionaron considerando las características de los materiales. En el caso de los canales de cultivo, estos se escogieron considerando las características del PVC, como su resistencia a la corrosión y durabilidad, además del bloqueo de rayos UV.

Para el sistema de bombeo se escogió un modelo de bomba sumergible. La capacidad de la bomba se determinó con la necesidad hídrica de las plantas y el caudal necesario para el proceso de recirculación. Como depósito de solución nutritiva se seleccionaron envases con la capacidad de alimentar el sistema durante 15 días. Los cuales son de un material opaco, para evitar la precipitación de elementos químicos y crecimiento de microorganismos por la radiación solar.

Finalmente, con el objetivo de automatizar el proceso de bombeo que debe iniciar y finalizar en períodos establecidos de tiempo, se seleccionó un temporizador. Este elemento se seleccionó basado en su capacidad de rangos de tiempo y voltaje.

3.7. Estudio de mercado

Con el fin de conocer las necesidades y preferencias de consumo de hortalizas de una población representativa de la zona norte del país, se realizó un estudio de mercado mediante un listado de preguntas, esto con el fin de desarrollar estrategias de marketing y ventas más efectivas. La misma se realizó en línea a una muestra de 384 consumidores de hortalizas del cantón de San Carlos, Costa Rica. La siguiente ecuación determinó el tamaño de la muestra [32].

$$n = \frac{N \cdot Z^2 \cdot p \cdot q}{E^2 \cdot (n - 1) + Z^2 \cdot p \cdot q} \quad (4)$$

Donde:

N: población total

Z: distribución normalizada. Si $Z = 1,96$ el porcentaje de confiabilidad es de 95 %

p: proporción de aceptación deseada para el producto

q: proporción de rechazo

E: porcentaje deseado de error (%)

Gabriel Baca [32], utiliza la ecuación 4 porque permite estimar el tamaño de muestra necesario para que los resultados de una encuesta tengan un nivel de precisión adecuado y un margen de error controlado, tomando en cuenta las características de la población, como su tamaño y la variabilidad en la respuesta esperada.

Este estudio se centró en conocer la preferencia de los consumidores sobre las hortalizas, lugares de compra, frecuencia, factores determinantes a la hora de la compra y si existía la disposición a comprar hortalizas de origen hidropónico. Además, se realizó un estudio de precios del Consejo Nacional de Producción, para identificar el precio de compra de hortalizas hidropónicas [36].

La metodología utilizada para la aplicación del estudio de mercado fue mediante un formulario realizado en la plataforma de Google Forms, el cual se difundió mediante redes sociales, con el requisito de pertenecer al cantón de San Carlos. Cabe destacar que no se solicitó ningún tipo de información sensible.

3.8. Análisis técnico financiero

Se evaluó la viabilidad del proyecto a través de cuatro indicadores financieros: el Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el Período de Recuperación de la Inversión (PRIM). Estos indicadores permitieron determinar la rentabilidad neta del proyecto, la tasa de rendimiento que genera y el tiempo que tomará recuperar la inversión inicial.

$$VAN = \frac{BNA}{I_0} \quad (5)$$

VAN: Valor Actual Neto (€)

BNA: Beneficio Neto Actualizado (€/año)

I₀: Inversión Inicial (€)

$$TIR = \sum_{T=0}^n \frac{Fn}{(1+i)^n} \quad (6)$$

TIR: Tasa Interna de Retorno (%)

Fn: Flujo de caja (€)

n: Cantidad de periodos (años)

i: Inversión inicial (€)

r: Costo de oportunidad (€)

Por último, en el caso del PRIM, este indicador mide el tiempo que tomará a los propietarios del proyecto, recuperar el monto de la inversión inicial, lo cual se determina mediante los flujos de efectivo futuros que generaría el proyecto [32].

$$PRIM = \frac{a + (b - c)}{d} \quad (7)$$

PRI: Recuperación de capital (años)

a: Año anterior al que se recupera la inversión

b: Inversión inicial (€)

c: Flujo de efectivo acumulado del año anterior al que se recupera la inversión (€)

d: Flujo de efectivo del año en el que se recupera la inversión (€)

Se solicitaron cotizaciones de distintos almacenes para determinar el costo de los materiales constructivos, equipos y consumibles hidráulicos. Se estimaron los costos de mano de obra para el ensamblaje e instalación del sistema, el costo del consumo de energía con las tarifas del Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), y el costo de agua mediante el Instituto de Acueductos y Alcantarillados (AYA).

Los costos de materia prima se calcularon con cotizaciones de almacenes agro veterinarios y vendedores de almácigos. El costo de las soluciones nutritivas se determinó adquiriendo los elementos químicos por separado, debido a que las mezclas comerciales no cumplen los requisitos del proyecto, debido a las insuficiencias nutricionales y sus elevados costos.

El flujo de caja se proyectó a 5 años y se utilizaron indicadores financieros como la tasa de capital de trabajo (K_o), la tasa interna de retorno (TIR), el valor actual neto (VAN) y el periodo de recuperación de la inversión (PRIM) para evaluar la rentabilidad del sistema. Aunque la inflación en Costa Rica es generalmente baja, en 2022 aumentó al 8,3%. Se espera que baje cerca del 3% a partir de 2025, por lo que los costos de producción se calcularon con esta tasa de inflación [37].

La producción se estipuló constante y se consideraron costos según la inflación anual. Se desarrolló un análisis de sensibilidad con cinco escenarios, en los cuales se estudió el escenario base con un 90% de la producción total, tomando en cuenta un 10% de porcentaje de desecho. [38]. Se plantearon escenarios de producción con variaciones en los niveles de rendimiento. En este análisis, se identificaron niveles de producción que superan la tasa mínima de rentabilidad, un punto de equilibrio, y niveles que se encuentran por debajo de dicha tasa, permitiendo evaluar la viabilidad del proyecto bajo distintas condiciones.

Se consideró la solicitud de un crédito bancario que cubra la inversión inicial del proyecto. Se analizaron cinco tasas de interés del Banco Nacional de Costa Rica, las cuales corresponden a variaciones del último año en modalidad de créditos para Banca de Desarrollo, y una del INDER, para presentar a los propietarios del hotel cinco distintos escenarios. Además, se realizó otro análisis de sensibilidad con respecto al nivel de cobertura del financiamiento que solicitarían los propietarios del proyecto.

Capítulo 4

4. Resultados y discusión

4.1. Diseño del sistema hidropónico

Considerando espacio para los colaboradores y los tanques de recolección de agua, se dimensionó el sistema hidropónico con una configuración piramidal para optimizar el uso del área vertical [39]. Se muestra en la tabla 3 el dimensionamiento del sistema.

Tabla 3: Dimensiones del sistema hidropónico.

Parámetro	Dimensiones
Largo	18,2 m
Ancho	2,10 m
Alto	2,00 m
Distancia entre pirámides	0,82 m
Área por pirámide	38,22 m ²
Área total	114,66 m ²

Derivado de las dimensiones mostradas en la tabla 3, se establece que el área requerida para un sistema hidropónico es de 38,22 m². El diseño se desarrolló con tres configuraciones piramidales, esto debido a la separación que debe haber entre los tres grupos de cultivos a producir, los cuales requieren de distintas soluciones nutritivas y por ende de división espacial e hidráulica. El área que abarca el diseño con las tres pirámides hidropónicas, corresponde a 114,66 m². Para más detalle ver la figura 41, anexo A.

La composición de cada pirámide de cultivo es de 42 tubos, para un total de 126 tubos en el sistema. En cada tubo, con una distancia de 20 cm, se encuentra un hoyo de cultivo, lo cual arroja una producción de 3 780 plantas en todo el sistema. El diagrama del sistema se puede observar en el anexo A. Se realizó una selección de los materiales para la construcción del sistema basada en la durabilidad y resistencia a la corrosión, para garantizar una larga vida útil del sistema.

El sistema se diseñó con tubería de PVC de 4 pulgadas y 6 m de largo, la medida estándar comercial. Los perfiles de soporte son tubos industriales galvanizados con diferentes espesores y geometrías. Los pilares, que soportan más carga, son de mayor espesor y geometría cuadrada, anclados con una estructura de concreto. Los tubos de menor espesor sostienen los tubos de cultivo y tienen geometría rectangular. Sus características se presentan en las tablas 4 y 5.

Tabla 4: Dimensiones del tubo de PVC [40].

Diámetro nominal	
Pulgadas	mm
4	100

Tabla 5: Propiedades geométricas de las tuberías estructurales galvanizadas [41].

Tubo (mm)	Base (b) (mm)	Espesor (t) (mm)	Peso (kg)
50x50	50	1,8	16,7
25x50	25	1,5	10,53

En la tabla 6 se enlistaron los materiales necesarios para el ensamble del sistema estructural. Abarca los tubos metálicos para la estructura de soporte y los tubos de PVC para los canales de cultivo. Además de los materiales estructurales principales, se consideró una lista de consumibles para el ensamblaje, entre estos, tapones hembra de PVC para los tubos de cultivos, de los cuales son necesarias 252 unidades, dos unidades por tubo, necesarias para el sellado de los canales. Además, los tapones de hule para los tubos galvanizados, requeridos para evitar accidentes con los extremos filosos de los tubos y prevenir la oxidación del metal.

Tabla 6: Costo de materiales de construcción para el diseño estructural.

Material	Cantidad	Unidad	Costo unitario (₡)	Costo parcial (₡)
Tubo pluvial 4"	126	m	17 910,00	2 256 660,00
Tapón PVC hembra liso 4"	252	c/u	5 705,00	1 437 660,00
Tubo galvanizado 50X25X1,50	85	m	9 866,00	838 610,00
Tubo galvanizado 50X50X1,80	18	m	15 833,00	284 994,00
Taco hule cuadrado 2"	45	c/u	3 220,00	144 900,00
Taco hule rectangular	432	c/u	260,00	112 320,00
Soldadura #6013 3/32 1 kg	25	kg	5 410,00	135 250,00
Pintura anticorrosiva AC3438 GL	1	c/u	15 900,00	15 900,00
Pintura anticorrosiva SE463 GL	1	c/u	35 780,00	35 780,00
Costo total				5 262 074,00

En cuanto a los costos de los consumibles de construcción, mostrados en la tabla 7, se determinó, mediante la consulta a un arquitecto [42], que estos fueran equivalentes a un 7,5% del costo total de los materiales estructurales, monto equivalente a ₡418 807,05. Cabe destacar que no se estableció cantidad para estos elementos debido a que se solicitan según necesidad del contratista.

Tabla 7: Costo de consumibles de materiales de construcción.

Materiales	Cantidad	Costo unitario (₡)	Costo parcial (₡)
Sierras			
Seguetas			
Lijas			
Pegamento PVC	Según necesidad	7,5% del costo total de los materiales de construcción	418 807,05
Brochas			
Thinner			
Bandejas de pintura			
Costo total			418 807,05

Se realizó el análisis del costo de mano de obra para el armado del sistema, costos desglosados en la tabla 8. Se consideró un soldador para el ensamble de las tuberías metálicas, al cual se le asignó un ayudante. Asimismo, se requiere de un maestro de obras que finalice la colocación de la tubería de PVC y los detalles de pintura, este con su respectivo peón. Se determinaron los costos por hora mediante la lista de salarios mínimos del Ministerio de Trabajo y Seguridad Social.

Tabla 8: Costo de mano de obra.

Descripción	Cantidad	Unidad	Costo (₡)	Costo parcial (₡)
Soldador en general	72	Horas	2 500,00	180 000,00
Ayudante de soldador	72	Horas	1 500,00	108 000,00
Albañil	54	Horas	2 500,00	135 000,00
Peón de construcción	54	Horas	1 500,00	81 000,00
Costo total				504 000,00

Las herramientas necesarias para la construcción del sistema se estimaron con un 25 % del costo total de mano de obra. Sin embargo, este costo podría disminuir si el hotel cuenta con el equipo necesario para brindar al contratista, o si este cuenta con las herramientas y las incluye dentro de sus servicios.

Tabla 9: Costo de equipo y herramientas.

Descripción	Costo (₡)
Herramientas (25 % de la mano de obra)	126 000,00

Para los costos indirectos del proceso constructivo, se tomó en cuenta la necesidad de entregas de material de parte de los almacenes, transporte equivalente a un 3 % del costo de materiales. Igualmente, se estimó el porcentaje de utilidad del contratista, con un 20 % del costo de la mano de obra total, y por último, se estima que puedan ocurrir imprevistos durante la construcción, equivalentes a un 5 % del costo de los materiales y un 5 % del costo de mano de obra [42].

Tabla 10: Costos indirectos del proceso constructivo.

Descripción	Costo parcial (€)
Transporte (3 % de costo de materiales)	167 522,82
Utilidad del contratista (20 % del total de mano de obra)	100 800,00
Imprevistos (5 % de materiales y mano de obra)	279 204,70
Costo total	547 527,52

Considerando los costos del ensamblaje del sistema estructural en conjunto con la mano de obra, la inversión es de €7 180 428,57.

Tabla 11: Costo total del sistema estructural.

Elemento	Costo parcial (€)
Materiales de construcción	5 262 074,00
Consumibles	418 807,05
Mano de obra	504 000,00
Equipo y herramientas	126 000,00
Indirectos	547 527,52
Costo total	6 858 408,57

4.2. Soluciones nutritivas y proceso de dilución

Las hortalizas de hoja necesitan un pH entre 5,5 y 7,5 y una conductividad eléctrica (CE) de 0,8 a 2,4 mS/cm [43]. Para determinar la solución nutritiva adecuada, se seleccionaron tres mezclas: una del INA [44], otra del ingeniero Freddy Soto Bravo [45], profesor en la Estación Experimental Fabio Baudrit Moreno, y la tercera de profesores del TEC [46], las mismas se presentan en la tabla 12. Las mezclas promediadas fueron establecidas para un volumen de 10 L, por lo cual se realizó un proceso de escalamiento para los requerimientos del sistema hidropónico del proyecto.

Tabla 12: Mezclas utilizadas para promediar la solución nutritiva de hortalizas de hoja.

Solución	Componente	INA (g)	Freddy Soto (g)	TEC (g)
A	Fosfato monopotásico	4 500	5 000	3 400
	Nitrato de potasio	11 560	11 500	11 000
	Sulfato de magnesio	10 660	10 600	2 200
B	Oligomix	500	250	120
	Quelato de hierro*	0	800	0
	Ácido bórico	100	50	12
C	Nitrato de calcio	15 000	16 000	20 800

* Nota: El quelato de hierro se presenta en formato líquido.

Cabe destacar que de los productos utilizados para formular las soluciones nutritivas, el Oligomix es una mezcla de oligoelementos, a diferencia de los demás que son elementos individuales. Su composición se muestra en el Anexo C.

Para este proyecto, se promediaron las tres mezclas para obtener la solución nutritiva ideal. Antes de realizar esta combinación, se verificó que todas las mezclas contuvieran los mismos elementos químicos y que las cantidades de cada uno no presentaran variaciones significativas. Esta verificación fue crucial para evitar cualquier efecto negativo en el desarrollo biológico de los cultivos.

La tabla 13 presenta la solución nutritiva final, obtenida a partir del promedio de las tres mezclas originales. Las cantidades de cada componente se ajustaron proporcionalmente para un volumen de 100 L, asegurando la correcta concentración de nutrientes necesarios para el desarrollo óptimo de los cultivos.

Tabla 13: Solución nutritiva para el cultivo de hortalizas de hoja.

Solución	Componente	Concentración (g/L)	Cantidad (g) en 100 L	Concentración (%)
A	Fosfato monopotásico	43	4 300	4,3
	Nitrato de potasio	113,53	11 353	11,35
	Sulfato de magnesio	78,2	7 820	7,82
B	Oligomix	2,9	290	0,29
	Quelato de hierro*	8	800	0,8
	Ácido bórico	0,54	54	0,054
C	Nitrato de calcio	172,67	17 267	17,27

* Nota: El quelato de hierro se presenta en formato líquido.

Debido a sus requerimientos nutricionales similares, los tomates y los chiles dulces pueden compartir una misma solución nutritiva en sistemas hidropónicos. Ambos cultivos demandan concentraciones balanceadas de macro y micronutrientes para garantizar un desarrollo óptimo, lo que permite diseñar una solución que satisfaga las necesidades de ambos sin comprometer su crecimiento ni rendimiento.

El pH necesario en la solución nutritiva de tomates y chiles dulces ronda entre 5 a 5,7, con una CE entre 2 y 5 mS/cm. En este caso, se promediaron los rangos de dos mezclas generadas por el INA, una de ellas exclusiva para chile dulce y la otra para cultivos de la familia solanáceas [44]. La tabla 14 muestra la mezcla para 100 L.

Tabla 14: Mezclas utilizadas para promediar la solución nutritiva de tomates y chiles dulces.

Solución	Componente	INA (g)	INA (g)
A	Fosfato monopotásico	4 400	4 000
	Nitrato de potasio	7 800	7 600
	Sulfato de magnesio	10 000	10 000
	Sulfato de potasio	4 800	5 600
B	Oligomix	500	500
	Ácido bórico	100	100
	Quelato de hierro*	800	800
C	Nitrato de calcio	15 000	20 000

* Nota: El quelato de hierro se presenta en formato líquido.

La tabla 15 muestra el promedio de las soluciones de la tabla 14 y los porcentajes de elementos químicos en cada sub solución.

Tabla 15: Solución nutritiva para el cultivo de tomates y chile dulce

Solución	Componente	Concentración (g/L)	Cantidad (g) en 100 L	Concentración (%)
A	Fosfato monopotásico	42	4 200	4,2
	Nitrato de potasio	77	7 700	7,7
	Sulfato de magnesio	100	10 000	10
	Sulfato de potasio	52	5 200	5,2
B	Oligomix	5	500	0,5
	Quelato de hierro*	1	100	0,1
	Ácido bórico	8	800	0,8
C	Nitrato de calcio	175	17 500	17,5

* Nota: El quelato de hierro se presenta en formato líquido.

Debido a los requerimientos nutricionales específicos del cultivo de pepino, fue necesario separarlo de los demás cultivos para garantizar un desarrollo óptimo. Entre estos requerimientos se encuentran un rango de pH ideal entre 5,5 y 6,5, así como una CE que debe mantenerse dentro de valores específicos, entre 1,7 y 2,5 mS/cm. Estas condiciones particulares hicieron evidente la necesidad de darle un manejo individualizado.

Por esta razón, se optó por utilizar una mezcla nutritiva desarrollada por el Instituto Nacional de Aprendizaje (INA), que se consideró adecuada para cumplir con dichos requerimientos. La mezcla seleccionada, que no fue modificada ni ajustada mediante promedios, se muestra en la tabla 16, y se considera como la base nutricional más apropiada para este cultivo.

Tabla 16: Solución nutritiva para el cultivo de pepino.

Solución	Componente	Concentración (g/L)	Cantidad (g) en 100 L	Concentración (%)
A	Fosfato monopotásico	30	3 000	3
	Nitrato de potasio	55	5 500	5,5
	Sulfato de magnesio	75	7 500	7,5
	Sulfato de potasio	42	4 200	4,2
B	Oligomix	5	500	0,5
	Quelato de hierro*	8	800	0,8
	Ácido bórico	1	100	0,1
C	Nitrato de calcio	150	15 000	15

* Nota: El quelato de hierro se presenta en formato líquido.

Cabe resaltar que debido a que el pepino presenta requerimientos nutricionales significativamente distintos a los de las demás hortalizas, se decidió asignarle una pirámide de cultivo exclusiva. Esta decisión no solo responde a la necesidad de garantizar un manejo adecuado, sino también a la intención de los propietarios del proyecto de posicionar al pepino como uno de los productos de mayor volumen de producción.

4.2.1. Procedimiento para Hotel Recreo Verde

Considerando la posibilidad de procesos de precipitación o formación de sólidos insolubles que se depositarían en el fondo de los tanques, mediante el conocimiento de la solubilidad de los elementos, datos que se muestran en el Anexo C, se realiza una subdivisión de soluciones, lo cual se ejemplifica como solución A, B y C. Algunas de las razones por las cuales se dividen en tres sub soluciones son incompatibilidad química, precipitación de elementos, evaporación, variaciones de temperatura y la absorción radicular de algunos elementos más que de otros.

Cada solución debe prepararse por separado y luego unificarse en el volumen total de 100 L usado en el proceso de recirculación. Se requieren beakers, probetas, balanzas, galones, varillas de vidrio, envases para almacenar las soluciones, pH-metros y lectores de CE.

Para la dilución de las soluciones nutritivas, se plantea para la premezcla de las soluciones tipo A, el uso de volumen de 50 L, para las soluciones tipo B, un volumen de 20 L y para las soluciones tipo C, 30 L. Una vez que cada sub solución concentrada esté preparada, se mezclará con las otras dos en un envase de mayor volumen. El proceso se ejemplifica en la figura 6.

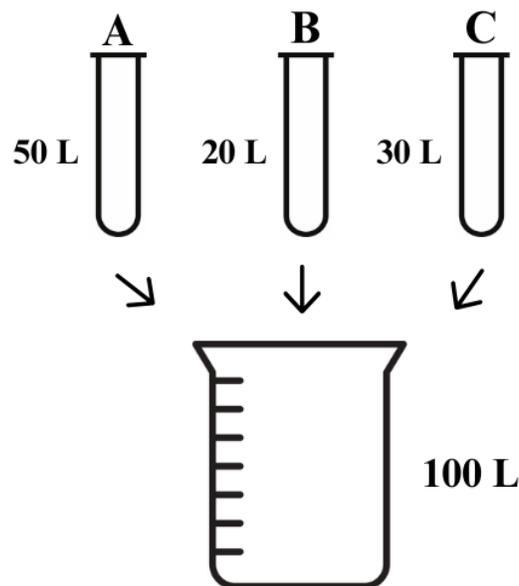


Fig 6: Diagrama del proceso de dilución.

Solución nutritiva para hortalizas de hoja

En las tablas 17, 18 y 19 se detallan las divisiones correspondientes de las sub soluciones nutritivas (A, B y C), junto con las cantidades específicas de cada componente que deben mezclarse en determinados volúmenes de agua.

Tabla 17: Dilución para solución nutritiva de hortalizas de hoja.

Solución	Componente	Cantidad (g) en 100 L	Volumen (L)
A	Fosfato monopotásico	4 300	50
	Nitrato de potasio	11 353	
	Sulfato de magnesio	7 820	
B	Oligomix	290	20
	Quelato de hierro*	800	
	Ácido bórico	54	
C	Nitrato de calcio	17 267	30

* Nota: El quelato de hierro se presenta en formato líquido.

Solución nutritiva para tomates y chile dulce

Tabla 18: Dilución para solución nutritiva de tomates y chile dulce.

Solución	Componente	Cantidad (g) en 100 L	Volumen (L)
A	Fosfato monopotásico	4 200	50
	Nitrato de potasio	7 700	
	Sulfato de magnesio	10 000	
	Sulfato de potasio	5 200	
B	Oligomix	500	20
	Quelato de hierro*	100	
	Ácido bórico	800	
C	Nitrato de calcio	17 500	30

* Nota: El quelato de hierro se presenta en formato líquido.

Solución nutritiva para pepino

Tabla 19: Dilución para solución nutritiva de pepinos.

Solución	Componente	Cantidad (g) en 100 L	Volumen (L)
A	Fosfato monopotásico	3000	50
	Nitrato de potasio	5500	
	Sulfato de magnesio	7500	
	Sulfato de potasio	4200	
B	Oligomix	500	20
	Quelato de hierro*	800	
	Ácido bórico	100	
C	Nitrato de calcio	15000	30

* Nota: El quelato de hierro se presenta en formato líquido.

El quelato de hierro que se utiliza viene en presentación líquida, pero para calcular correctamente su concentración en la solución nutritiva, es necesario expresarlo en gramos. Para ello, se aplica la densidad del producto, que indica cuántos gramos hay en cada mililitro.

Preparación de sub soluciones

El siguiente procedimiento detalla la preparación de tres sub soluciones nutritivas (A, B y C). Este proceso incluye la medición precisa de los compuestos, su disolución en agua limpia y la mezcla en un orden específico, asegurando una solución nutritiva homogénea, estable y adecuada para el cultivo.

Materiales necesarios:

- Balanza de precisión.
- Tres recipientes grandes (mínimo 20-30 L cada uno).
- Un tanque principal de 100 L.
- Mezcladores manuales o mecánicos.
- Agua limpia (preferiblemente de calidad potable).

-
- Equipo para medir pH y CE.
 - Protectores (guantes y gafas de seguridad).

A continuación se detallan los pasos para la elaboración de las sub soluciones.

Sub solución A:

1. En un recipiente grande, se agregan 50 L de agua limpia.
2. Se disuelve el fosfato monopotásico, el nitrato de potasio y el sulfato de magnesio, en ese orden específico y seguidamente, se mezcla hasta obtener una solución homogénea.
3. Se reserva la sub solución A.

Sub solución B:

1. En otro recipiente, se agregan 20 L de agua limpia.
2. Se disuelve el Oligomix, el quelato de hierro y el ácido bórico, en ese orden específico y seguidamente se mezcla hasta lograr una solución homogénea.
3. Se reserva la sub solución B.

Sub solución C:

1. En otro recipiente, se agregan 30 L de agua limpia.
2. Se disuelve el nitrato de calcio y se mezcla hasta que esté completamente disuelto.
3. Se reserva la sub solución C.

Para generar la mezcla final en el reservorio, se deben seguir los siguientes pasos:

1. Agrega las sub soluciones en el siguiente orden, mezclando bien después de cada adición:
sub solución C (Nitrato de Calcio).
sub solución A (Fosfato, Potasio y Magnesio).
sub solución B (Micronutrientes).
2. Medición de pH y CE.

Como paso adicional para el proceso de control de las soluciones nutritivas, se plantea la toma de pH y CE, una vez al día, con el fin de mantener un monitoreo constante y evitar concentraciones bajas de elementos que repercutirían en la nutrición de las plantas.

4.2.2. Estudio de costos

La solución nutritiva debe renovarse cada dos semanas, ya que las raíces absorben los nutrientes de forma desigual, y los sobrantes pueden precipitarse [46]. Se cotizaron presentaciones de 25 kg, 100 g y 1 L, seleccionando la más económica para cada caso. Se presentan los resultados en la tabla 20.

Tabla 20: Costos mensuales por la compra de elementos químicos para las soluciones nutritivas.

Elemento	Presentación	Requerimiento mensual	Costo unitario (€)	Costo mensual (€)
Fosfato monopotásico	25 kg	0,92	26 721,96	29 045,61
Nitrato de potasio	25 kg	1,96	21 954,32	43 030,46
Sulfato de magnesio	25 kg	2,03	3 462,48	7 028,83
Sulfato de potasio	25 kg	0,75	32 883,27	43 844,36
Oligomix	100 g	2,35	2 255,63	5 300,73
Quelato de hierro	1 L	11,20	4 500,00	50 400,00
Ácido bórico	500 g	6,62	2 498,49	16 540,00
Nitrato de calcio	25 kg	3,98	15 073,05	59 990,73
Costo total				255 180,72

4.3. Diseño de sistema hidráulico

4.3.1. Diagrama hidráulico del sistema

En la figura 7 se presenta el diagrama hidráulico del sistema hidropónico, mediante el cual se grafica la dirección del flujo de agua y nutrientes con un juego de flechas. Asimismo, se muestran componentes del sistema, tales como el equipo de bombeo, tuberías de alimentación y retorno. También, se visualizan reservorios y accesorios hidráulicos tales como tees y codos de PVC.

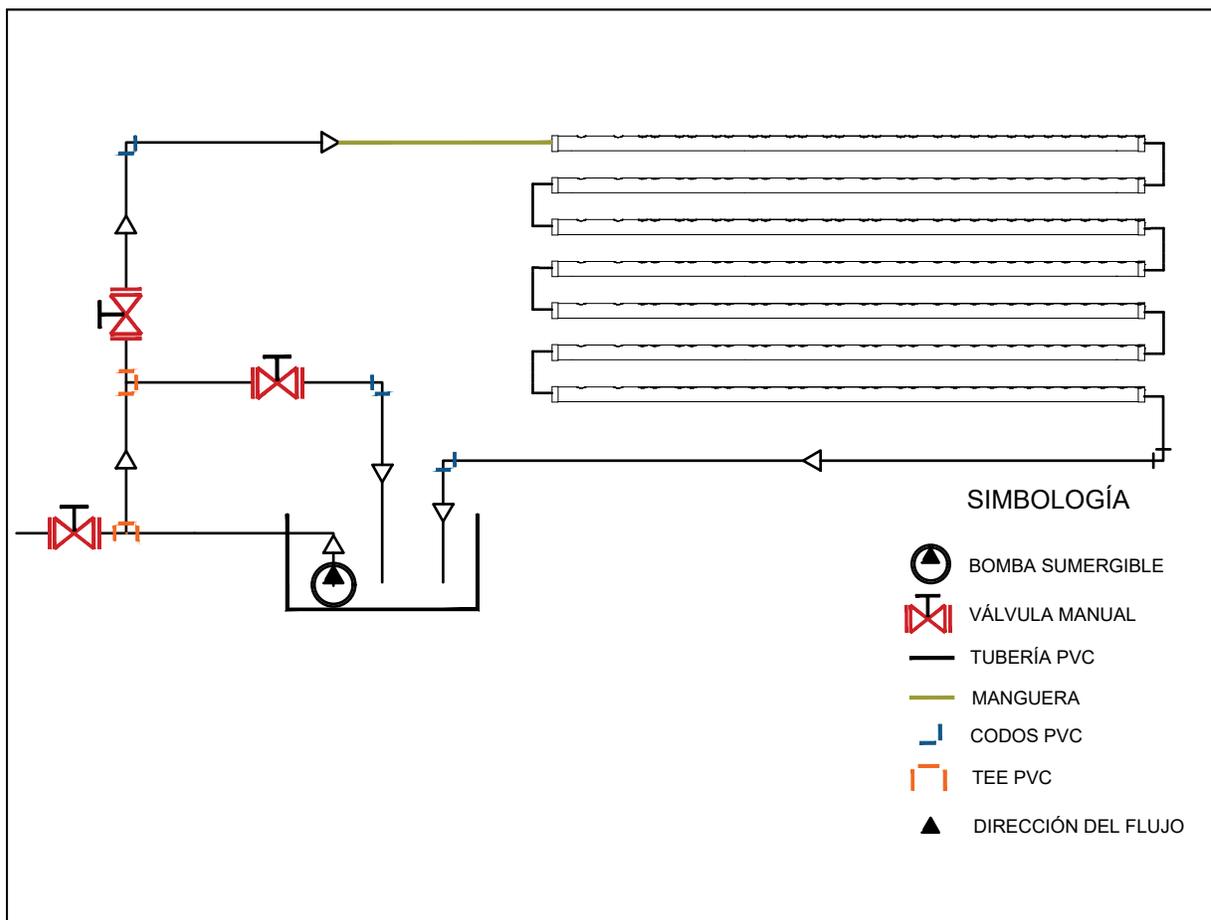


Fig 7: Diagrama hidráulico del sistema.

El diseño del sistema hidráulico se rigió por los mismos principios que el del sistema estructural: materiales duraderos, resistentes a la corrosión y de larga vida útil. La elección de dichos materiales se fundamentó en cálculos de caudal y pérdidas del sistema.

Se estableció un caudal de 2 L/min para el sistema hidropónico. Esta selección se fundamentó en investigaciones previas sobre este tipo de sistemas, las cuales establecen un rango de caudal adecuado entre 2 y 4 L/min para un correcto desarrollo de los cultivos. Diversos autores han corroborado que este rango permite un flujo laminar que preserva la integridad del sistema radicular de las hortalizas [8], [47], [48].

Esta configuración se replica de manera idéntica en cada pirámide de cultivo, garantizando la uniformidad en el funcionamiento del sistema y la distribución de la solución nutritiva.

Selección del sistema de bombeo

Tabla 21: Características del equipo de bombeo [49].

Modelo	Caudal (L/h)	Altura (m)	Potencia (W)
EcoPlus Eco 1267	5 072	4,10	125

Para la correcta recirculación de la solución nutritiva del sistema hidropónico NFT, se realizó la selección de la bomba sumergible, por las siguientes razones:

1. Caudal: Para este diseño hidropónico, no se encontró en el mercado una bomba con la capacidad de caudal y altura necesaria. Por lo cual, se seleccionó un equipo de mayor caudal y se diseñó una estructura de PVC para controlar el flujo a través de llaves de paso, asegurando que se dispense el caudal adecuado al sistema. Lo anterior se presenta en la figura 14.
2. Elevación: Para aprovechar el principio de gravedad en la recirculación de la solución nutritiva, el sistema de bombeo debe tener la capacidad de alcanzar la altura máxima de las pirámides de cultivo. En este caso de estudio, la altura máxima es de 2,00 m. La bomba seleccionada para el sistema cumple con este requisito, ya que posee una altura de elevación de 4,10 m. Los cálculos de las pérdidas hidráulicas se pueden observar en el anexo B.

-
3. Potencia: El equipo seleccionado es de 125 W de potencia. Esto se traduce en un consumo de 0,125 kWh por hora de trabajo, lo que lo convierte en una opción altamente eficiente en comparación con otros equipos sumergibles de tamaño similar [49].
 4. Bajo ruido: El modelo de bomba seleccionado posee la característica de emitir bajos niveles de ruido, derivado de su ubicación en un área turística y la cercanía con las áreas comunes del hotel, este es un requisito relevante para su funcionamiento.
 5. Fácil mantenimiento: El sistema de montaje de la bomba es ideal para facilitar los procesos de limpieza, mantenimiento y recambio. En este caso el material de la bomba es plástico y su armazón posee la facilidad de despiezarse sin dificultad [49].



Fig 8: Sistema de bombeo EcoPlus Eco 1267 [49].

El sistema de tuberías de alimentación, se diseñó con tubos de PVC de 12 mm (1/2") de diámetro, de cédula SDR17. Este diámetro se seleccionó para asegurar un flujo adecuado de la solución nutritiva, además de compatibilidad con los acoples del equipo de bombeo, como se aprecia en la figura 9. En conjunto con el sistema de tubos, se instalaron válvulas para evitar sobre presiones en el sistema y dispensar el caudal requerido por las plantas, además de un listado de accesorios hidráulicos mostrado en la tabla 22.

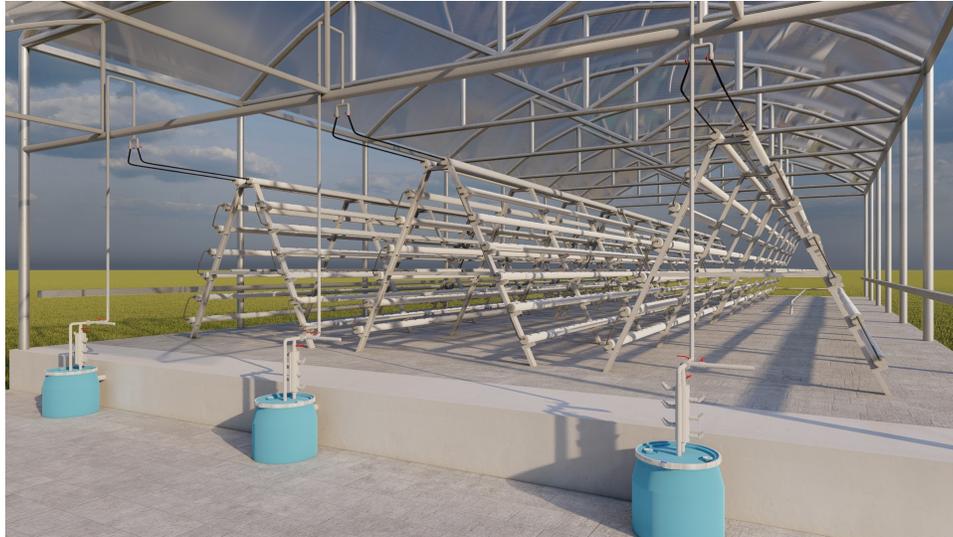


Fig 9: Tubería de alimentación al sistema hidropónico.

Asimismo, se utilizó poliducto de riego de 12 mm (1/2") de diámetro para la fase final de alimentación al sistema hidropónico, como se puede apreciar en la figura 10. Se consideró el uso de material flexible para brindar mayor adaptabilidad del sistema, sencillos procesos de instalación y mantenimiento, sin necesidad de conexiones rígidas, además de costos más económicos que en tuberías rígidas.



Fig 10: Poliducto de riego.

Para el proceso de retorno de la solución nutritiva, se planteó la unión de los dos últimos tubos, con un tubo de 75 mm (3") de diámetro, como se ilustra en la figura 11.



Fig 11: Unión de retorno de la solución nutritiva.

La tubería de retorno tiene una longitud de 20 m, de los cuales un 80%, se encontrarán bajo el nivel del piso terminado, con una pendiente del 1%, con el objetivo de aprovechar la gravedad para facilitar el flujo y evitar acumulación de agua estancada [50]. Esto evita que la solución en el reservorio supere el orificio de entrada, lo cual previene que el líquido se devuelva.

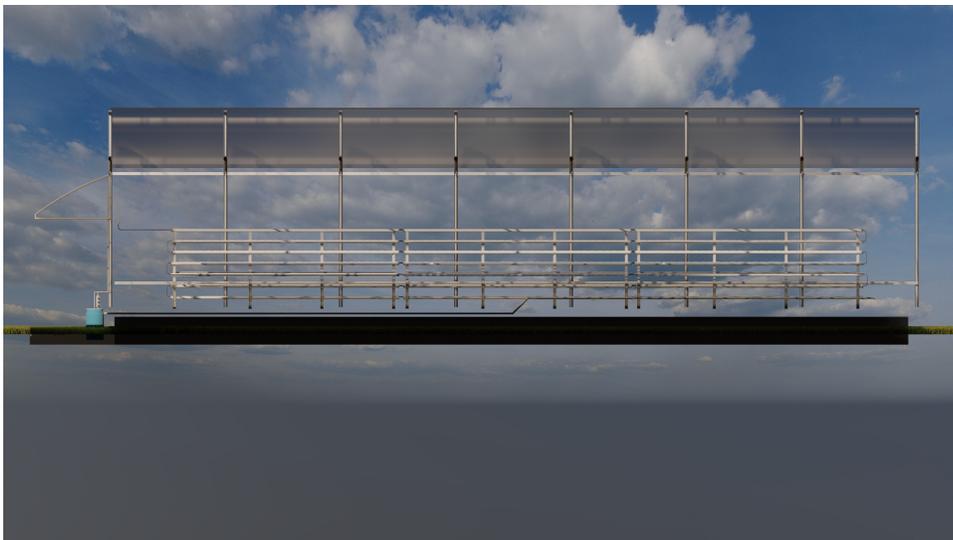
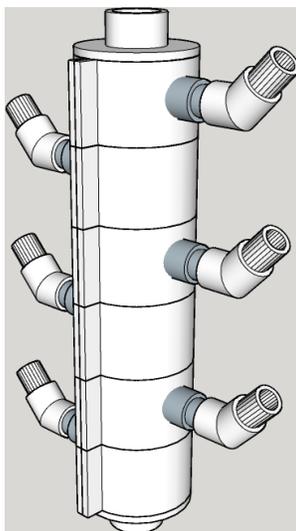


Fig 12: Tuberías de retorno de la solución nutritiva.

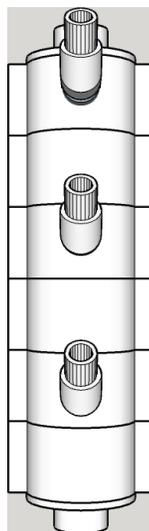
Oxigenación de las soluciones nutritivas

Para oxigenar las soluciones nutritivas, se aprovechó la tubería de retorno del exceso de caudal. En la tubería de alimentación del sistema, se diseñó una cámara de aireación, la cual posee una altura de 50 cm, esta se colocó en la tubería de 1 m que se encuentra fuera del reservorio, además, dentro del envase hay otros 19,7 cm libres. Los cálculos para determinar esta última altura se encuentran en el anexo B. La altura para la oxigenación se estableció en 1,20 m, siguiendo la metodología de Shen et al. (2023). Esta altura asegura que el fluido se oxigene antes de volver a mezclarse con el resto de la solución nutritiva.

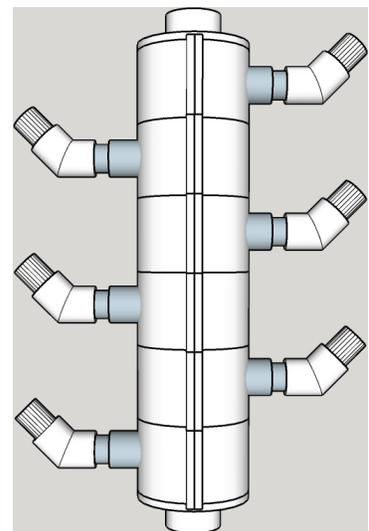
El diseño de esta cámara de aireación se muestra en la figura 13, el mismo se realizó con tubo de PVC de 2", codos de 45° y reducciones. El objetivo de este elemento, es el de asegurar una oxigenación previa de la mezcla antes de su retorno al reservorio. El desarrollo de este proceso se basa en el paso del fluido por la cámara y una vez esta ingresa en el reservorio, tiene una caída de 19,7 cm antes de llegar al nivel de la solución nutritiva.



(a) Vista diagonal



(b) Vista lateral



(c) Vista frontal

Fig 13: Cámara de oxigenación.

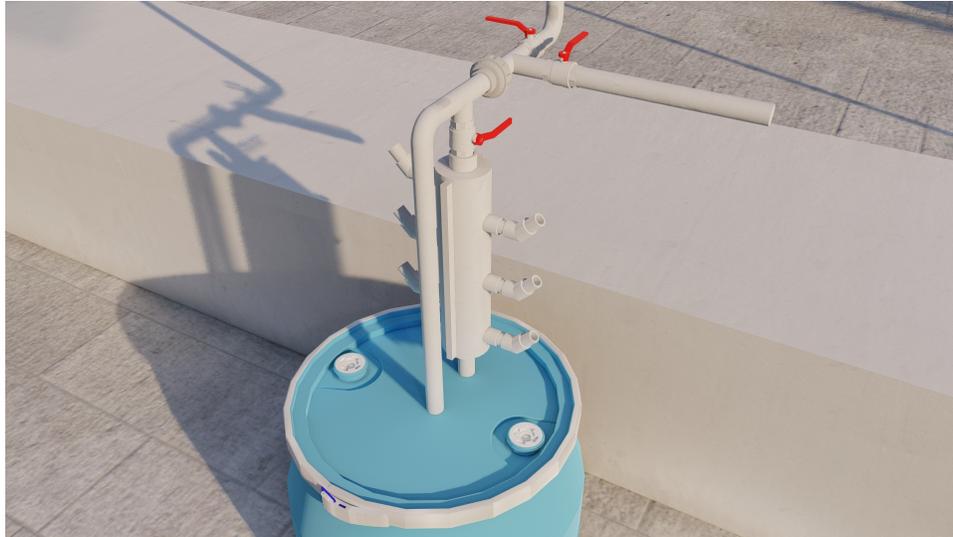


Fig 14: Vista frontal de la cámara de oxigenación.

En la figura 14 se observa la conexión de la cámara de oxigenación con el sistema de alimentación. La cámara está vinculada al reservorio de solución nutritiva mediante tubos de PVC de 1/2", que también conectan la cámara con la tubería de distribución del sistema. Además, se colocaron válvulas de paso, con el fin de regular el caudal y proporcionar un flujo laminar de la solución nutritiva a las raíces de las plantas. La disposición de los tubos asegura una distribución homogénea del oxígeno, mejora la aireación y calidad de la solución nutritiva que llega al sistema.

4.4. Reservorio de solución nutritiva

Para la selección del reservorio en el cual se almacenarán las soluciones nutritivas, se estableció una lista de necesidades que debe de cumplir el envase:

Material:

- Fabricado en plástico de color oscuro.
- Resistente a la corrosión y a los productos químicos presentes en la solución nutritiva.
- Larga vida útil
- Bajo mantenimiento.

Capacidad:

1. Mínimo 100 L.
2. Suficiente para almacenar la solución nutritiva necesaria para una pirámide de producción.

El envase seleccionado cuenta con una capacidad de 130 l, con dimensiones de 80 cm de alto, 44,5 cm de diámetro y un peso de 5,9 kg. Además, posee un mecanismo de cierre compuesto por una prensa metálica, la cual asegura que la tapa no se mueva accidentalmente y se evite la contaminación de la solución nutritiva.

La necesidad de tener colores oscuros y opacos se basa en la protección de las soluciones nutritivas de la exposición de la luz solar, esto debido a la posibilidad de proliferación de algas u otros microorganismos.

4.5. Automatización

Como elemento final del sistema hidráulico, para optimizar el proceso de bombeo y riego en el sistema hidropónico, se seleccionó un equipo electrónico que permite la automatización del ciclo de recirculación. Se eligió un temporizador de la marca BN-LINK, el cual permite configurar el ciclo de recirculación deseado, en este caso, cinco minutos de bombeo seguidos por dos horas de descanso [51].

Se determinó la necesidad de instalar un temporizador para cada pirámide hidropónica. Esta decisión se basó en dos razones principales:

Operación independiente:

- Las pirámides no siempre van a estar funcionando simultáneamente.
- Permite realizar tareas de mantenimiento o limpieza en una pirámide sin afectar a las demás.
- Ofrece mayor flexibilidad en la gestión del sistema hidropónico, adaptándose a las necesidades específicas de cada cultivo, en las cuales pueden variar los periodos de recirculación.

Eficiencia en el uso de recursos:

- Optimiza el consumo de agua y nutrientes al ajustar el riego de forma individual para cada pirámide.
- Facilita la detección de posibles problemas en una pirámide sin afectar al resto del sistema.



Fig 15: Temporizador BN-LINK [51].

4.6. Equipos de medición

Se consideró la adquisición de un pH-metro y un lector de conductividad eléctrica (CE), para asegurar el óptimo desarrollo de las plantas en el sistema. Estos dispositivos permiten monitorear y ajustar con precisión los parámetros de la solución nutritiva, garantizando que el pH permanezca dentro del rango ideal para la absorción eficiente de nutrientes y que la EC refleje una concentración adecuada de sales. Esto evita tanto deficiencias como excesos que podrían comprometer el crecimiento y la salud de las plantas.

Se seleccionaron equipos de la marca HANNA Instruments, empresa global que se especializa en el diseño, fabricación y comercialización de equipos de medición y análisis de calidad del agua y soluciones de laboratorio [52].



(a) Lector de CE



(b) pH-metro

Fig 16: Equipos para automatización de mediciones.

4.7. Estudio de costos de materiales para el sistema hidráulico.

Se llevó a cabo un análisis del mercado en varios almacenes de ferreteros, como Construplaza, El Colono Construcción y EPA. El enfoque se centró en examinar la disponibilidad y precios de los consumibles hidráulicos y elementos de PVC. Los datos recopilados permitieron elaborar una tabla de costos, mostrada a continuación.

Tabla 22: Materiales para ensamblaje de sistema hidráulico.

Descripción	Cantidad	Costo (€)	Costo parcial (€)
Codo potable PVC liso 90° 12 mm	12	210,00	2 520,00
Unión tope PVC 12 mm	3	2 900,00	8 700,00
Pegamento PVC Wet-Dry	2	10 400,00	20 800,00
Manguera poliducto para riego 1/2"	1	20 000,00	20 000,00
Llave de paso PVC 12 mm	5	2 500,00	12 500,00
Tubo presión PVC SDR13.5 12 mm (1/2")	4	4 300,00	17 200,00
Tubo sanitario PVC SDR41 50 mm (2")	10	15 800,00	158 000,00
Tapón sanitario SDR40 50 mm	3	730,00	2 190,00
Tee para poliducto 12 mm	3	500,00	1 500,00
Tee potable PVC lisa 12 mm	3	210,00	630,00
Gaza EMT 2 huecos 1/2" (12 mm)	3	35,00	105,00
Mecha blanca económica (1 kg por paquete)	2	3 200,00	6 400,00
Hoja para segueta 300 mm	10	620,00	6 200,00
Segueta con arco fijo 300 mm	1	3 400,00	3 400,00
Thinner corriente (galón)	1	6 750,00	6 750,00
Silleta PVC 12 x 75 mm	3	14 900,00	44 700,00
Cinta teflón 1/2"x 7 m Pretul CTF-1/2P	10	150,00	1 500,00
Tee potable reducida PVC lisa 25 x 12 mm	15	1 800,00	27 000,00
Reducción PVC potable 25 x 12 mm	3	520,00	1 560,00
Codo potable PVC liso 45° 12 mm	15	380,00	5 700,00
Active Aqua Fill/Drain Fitting, 1/2 Paquete de 10	2	11 621,94	23 243,88
Tee Hardware Kit, Paquete 6	1	8 377,55	8 377,55
Costo total			378 976,43

Los materiales que de conformación del sistema de bombeo, se muestran en la tabla 23, en conjunto con los costos de cada uno de sus elementos y el costo total del sistema. La sumatoria de precios de la tabla 22 y la tabla 23, determina un total de inversión de ₡905 666,72 para el sistema hidráulico.

Tabla 23: Elementos de conformación para el sistema de bombeo.

Descripción	Cantidad	Costo (₡)	Costo parcial (₡)
Equipo de bombeo	3	55 929,76	167 789,28
Temporizador	3	37 663,74	112 990,41
Reservorio de almacenamiento	3	52 545,00	157 635,00
pH-metro	1	33 222,00	33 222,00
Lector de EC	1	55 053,60	55 053,60
Costo total			526 690,29

4.8. Estudio de mercado

Se utilizó un cuestionario como instrumento de recolección de información, aplicado a una muestra representativa de los habitantes del cantón de San Carlos, cuya población total es de 198,742 personas. Esto definió un tamaño de muestra de 384 personas (ver anexo C) [53]. El objetivo fue identificar las opiniones y preferencias del consumidor objetivo. Las preguntas abarcaban desde la selección de productos hasta aspectos como el origen, la producción, los precios y la disposición a comprar productos hidropónicos.

En una muestra de 384 participantes, el 63,2 % fueron mujeres, el 36,2 % hombres y el 0,52 % no indicó su género. Este dato es clave, ya que estudios sugieren que las mujeres suelen participar más en decisiones de compra de alimentos, influyendo en su conocimiento sobre calidad y precios de hortalizas [54].

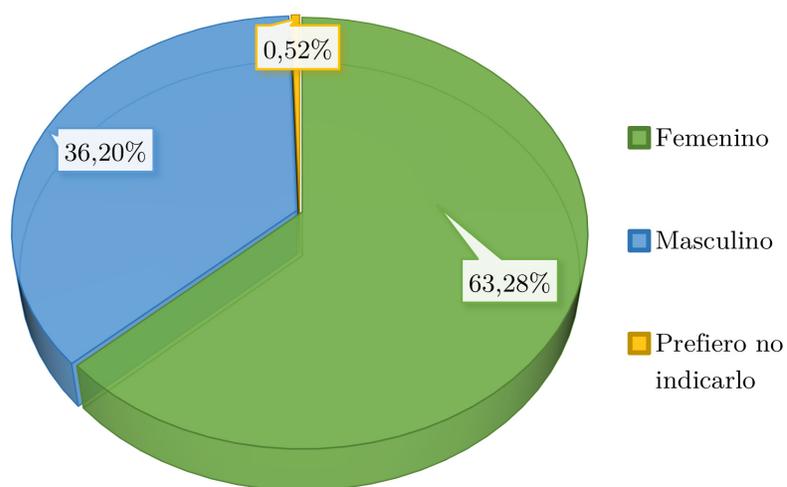


Fig 17: Distribución por género.

De la totalidad de la muestra, un porcentaje de un 35,68 % tienen entre 20 y 30 años, un 28,5 % tienen entre 30 y 40 años, un 21,09 % entre 40 y 50 años, un 11,72 % entre 50 y 60 años y por último 2,86 % entre 60 y 70 años, resultados que se pueden visualizar en la figura 18. Cabe resaltar que los rangos de edades se delimitaron con el objetivo de seleccionar edades en las cuales las personas participen en realizar las compras del hogar.

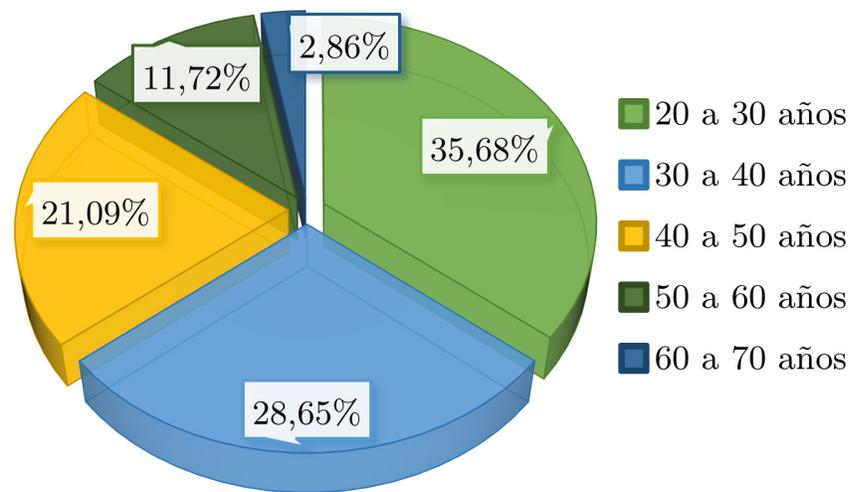


Fig 18: Distribución por rangos de edades.

La mayoría de los participantes residen en distritos cercanos al proyecto. Específicamente, del distrito de Venecia participó un 29,95%. Este resultado es importante debido a que se obtuvo un porcentaje alto de participación de vecinos de la zona del proyecto, lo cual permite conocer las preferencias y métodos de selección de quienes tienen alta probabilidad de convertirse en consumidores de los productos del proyecto.

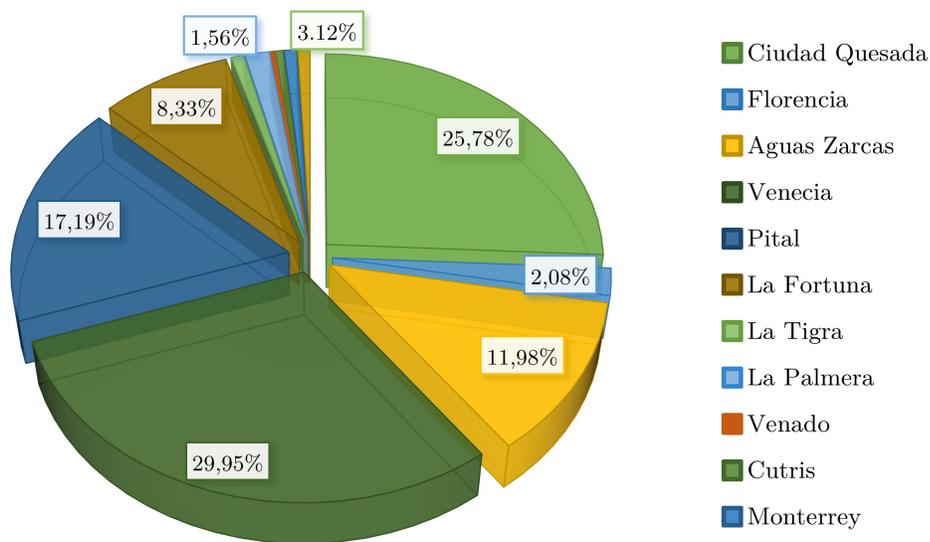


Fig 19: Distribución por distritos.

El análisis de la figura 20, con respecto a la frecuencia de compra de hortalizas, muestra que las compras semanales son la opción más común para los consumidores, con un 52,6%. Un 20,57% prefiere realizar sus compras dos o tres veces por semana, mientras que el 17,97% opta por comprar de manera quincenal. Finalmente, solo un 5,21% elige adquirir hortalizas una vez al mes, y un 0,52% no consume hortalizas. Con estos resultados, se puede considerar que el consumidor meta es el que realiza sus compras de forma semanal.

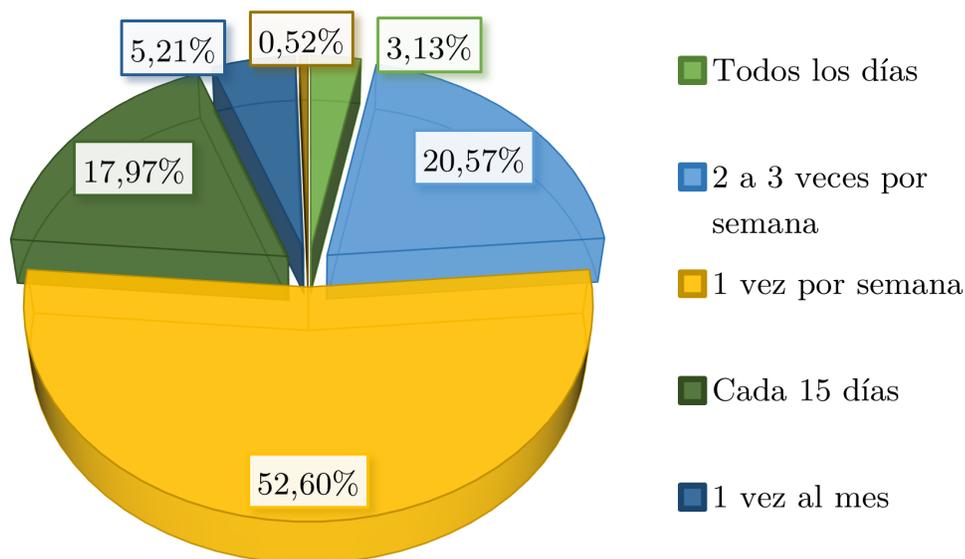


Fig 20: Frecuencia de compra de hortalizas.

En cuanto a los establecimientos o métodos bajo los cuales realizan las compras de hortalizas, mostrados en la figura 21, el 40,89% prefieren adquirirlas en verdulerías, un 31,51% las obtiene en supermercados, 23,70% visita ferias del agricultor y en pequeños porcentajes utilizan establecimientos como pulperías, ventas ambulantes, compran directamente en fincas, encargos a domicilio o compras a emprendedores. Esto significa, que la mayoría de los consumidores, prefiere realizar sus comprar en puntos donde encuentren la gran parte de verduras y hortalizas juntas, dato que concluye cuál es el mejor punto de venta para distribuir los productos del sistema hidropónico.

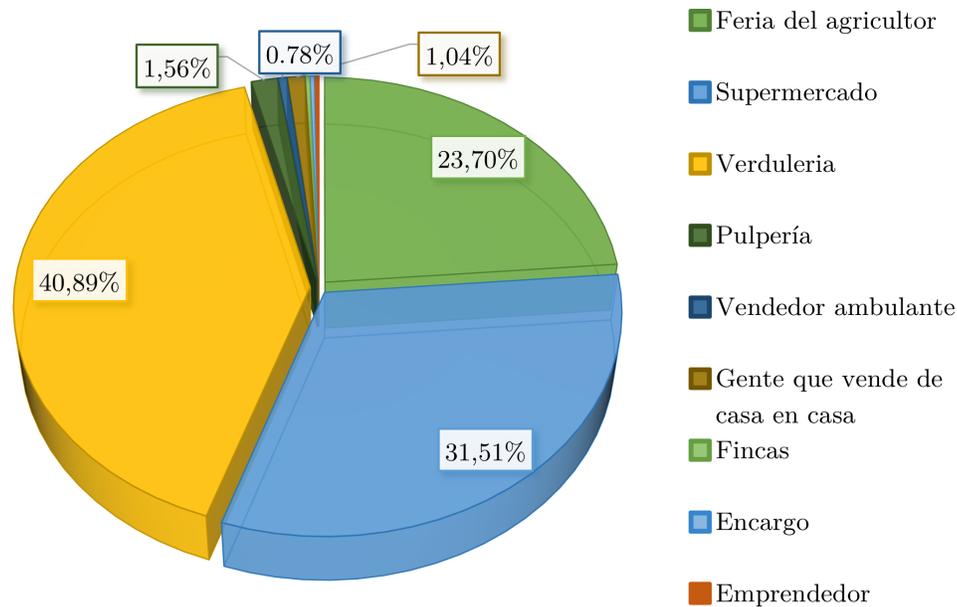


Fig 21: Preferencias de compra: establecimientos y métodos utilizados por los consumidores.

Para realizar el análisis del grado de satisfacción que los consumidores obtienen de los establecimientos o métodos mostrados en la figura 22, se aplicó una escala de Likert, herramienta psicométrica para que los participantes indicaran su acuerdo o desacuerdo con respecto a la calidad de las hortalizas, en este caso se utilizó una escala numérica donde el número 1 representa la menor satisfacción y el 5 la mayor [55].

En relación con los resultados obtenidos, el 41,93 % equivalente a 161 consumidores afirma tener un grado de satisfacción igual a 4, el 27,6 % manifiesta que su grado de satisfacción es el máximo, mientras que el 26,3 % posee un grado de 3, el restante de la muestra posee un alto porcentaje de insatisfacción con respecto a las hortalizas que encuentra en el mercado. Esto significa, que la mayoría de los consumidores, poseen un alto nivel de satisfacción con respecto a la calidad de las hortalizas en venta en los distintos establecimientos, con lo cual se puede concluir que el mercado actual cumple con las expectativas de los consumidores.

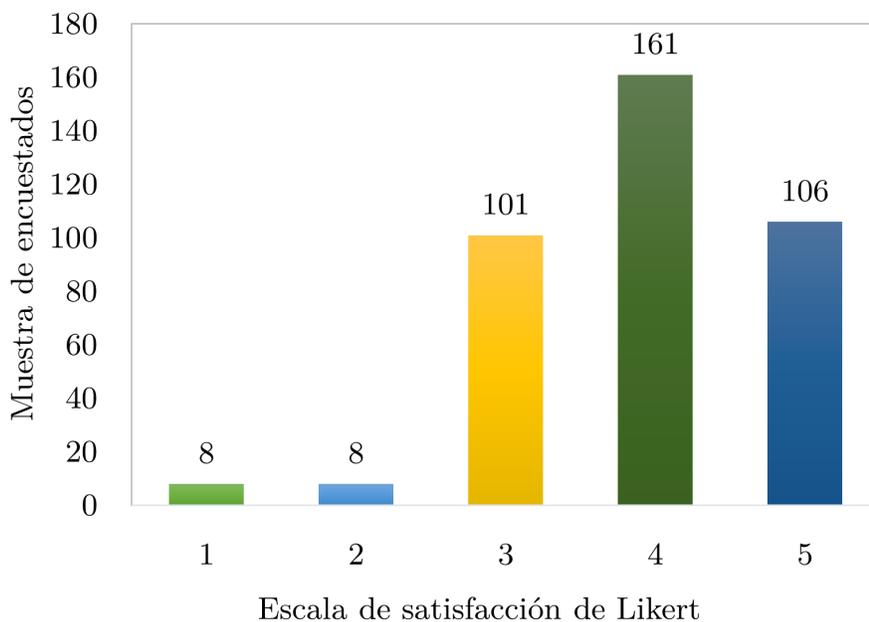


Fig 22: Niveles de satisfacción del consumidor: análisis mediante escala de Likert.

Los consumidores al comprar hortalizas priorizan el aspecto (59,90%) y la higiene (17,19%). El precio (11,72%), el origen (8,85%), el tamaño y el color son menos relevantes. Esta tendencia indica que buscan productos visualmente saludables, lo que beneficia a los productos hidropónicos por su alta calidad. Estos resultados se pueden ver en la figura 23.

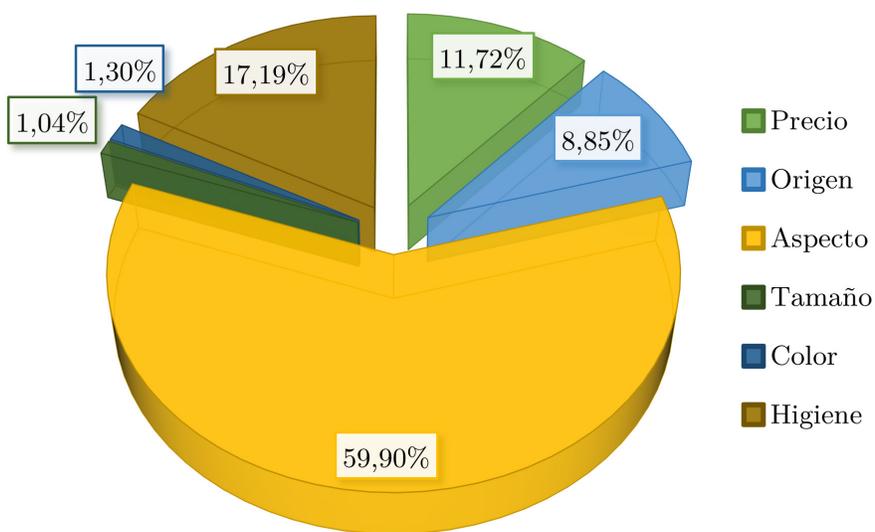


Fig 23: Factores determinantes en la decisión de compra.

Como parte del estudio de mercado, se realizó un sondeo para identificar la frecuencia de consumo de un listado de hortalizas, el cual se definió por parte de los propietarios del hotel por su preferencia. Destaca que el tomate fue la hortaliza más consumida, seguida por el culantro y la lechuga. Es relevante señalar que estos tres cultivos se encuentran entre los diez más consumidos en la dieta de los costarricenses [56].

Estos resultados proporcionan una guía para determinar la proporción en la que se deben cultivar las hortalizas en las pirámides de producción, basándose en el porcentaje de consumo de los potenciales compradores.

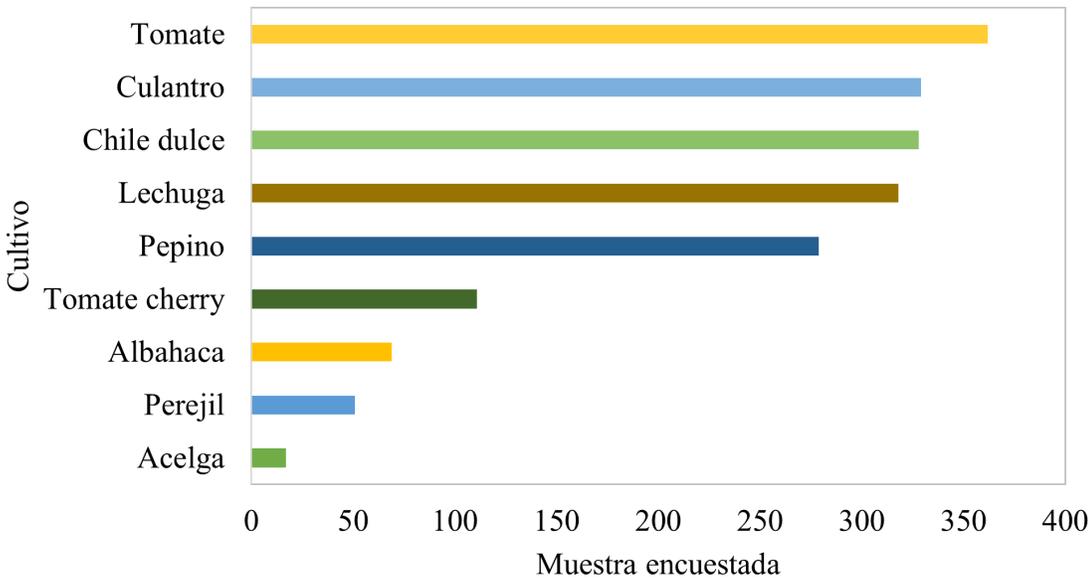


Fig 24: Frecuencia de compra de hortalizas.

A partir del listado de hortalizas detallado en la figura 24, se preguntó a los consumidores sobre la cantidad de estos cultivos que adquieren de manera semanal. Inicialmente, se dividieron las hortalizas en dos categorías: aquellas disponibles en el mercado en kilogramos y las que se comercializan en rollos o unidades. En la figura 25, se destaca que, en el rango de uno a dos kilogramos, la lechuga es la hortaliza más comprada, mientras que, en el rango de dos a tres kilogramos, es el tomate. Por otro lado, se observa que la acelga es la hortaliza menos adquirida por los consumidores.

Mediante estos resultados, se puede concluir que los consumidores prefieren realizar compras en pequeñas cantidades para procurar consumir un producto fresco y sano.

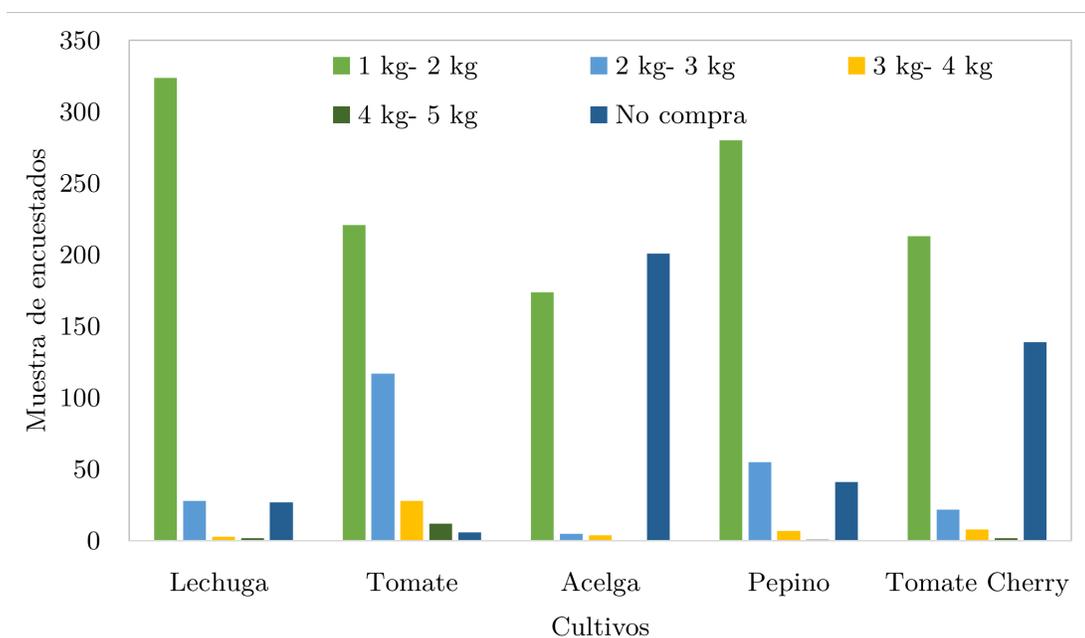


Fig 25: Promedio de compra de hortalizas en kilogramos.

Con los resultados de la figura 26, se determina que el culantro es el producto, con mayor frecuencia de compra en rangos de uno a dos rollos y que el chile dulce se consume mayormente en una o dos unidades. En contraste, la albahaca y el perejil tienen los menores volúmenes de compra. Información útil para determinar patrones para el proceso de planificación de producción.

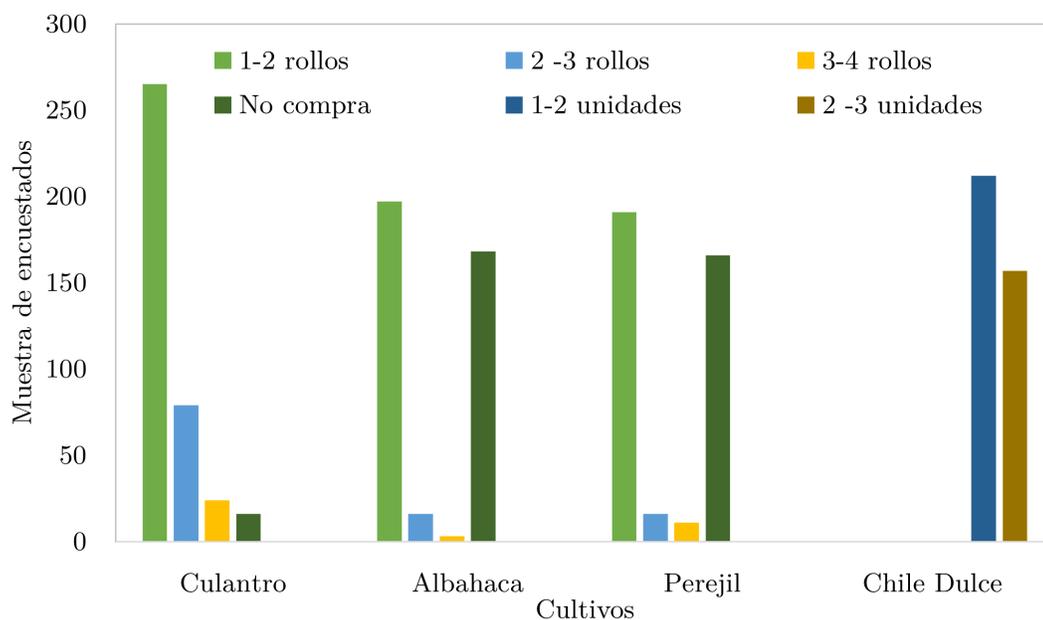


Fig 26: Promedio de compra de hortalizas en rollos o unidades.

Se consultó acerca de la importancia de la salud como un factor en el proceso de compra de hortalizas, con los resultados de la figura 27 se determinó que un 94,27% respondió afirmativamente, mientras que un 5,73% lo hizo de manera negativa. La salud debería ser considerada como uno de los aspectos más relevantes al momento de adquirir productos comestibles. La alta proporción de personas que la consideran importante podría deberse a la abundante información disponible acerca de los efectos asociados al consumo de productos contaminados, así como por la creciente tendencia hacia la salud.

La producción a desarrollarse en el proyecto hidropónico, con el anterior análisis de datos, se posiciona como un punto focal para la compra de hortalizas con altos niveles de calidad e inocuidad, es decir, con el factor salud considerado en todo el proceso productivo y de distribución.

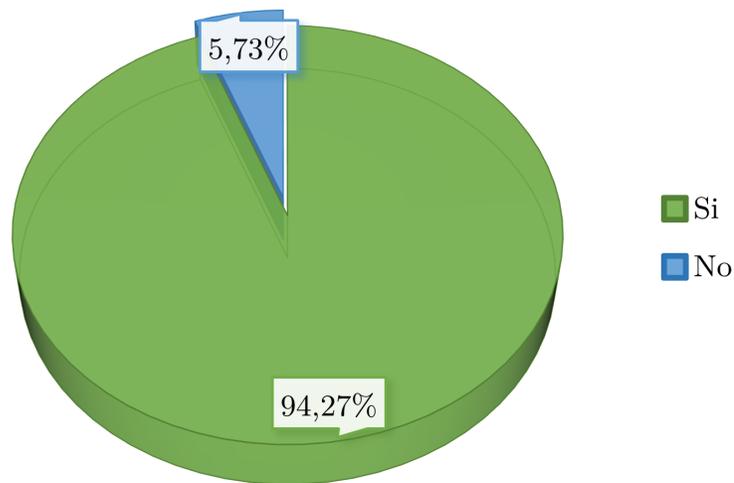


Fig 27: Salud como factor relevante en la compra de hortalizas.

Utilizando los precios semanales proporcionados por el Consejo Nacional de Producción, se estableció un rango de precios para la compra de hortalizas, utilizando el listado de productos definido en la figura 24 [36]. El análisis derivado de estas respuestas sirve como orientación sobre los precios en los que, en promedio, los consumidores encuentran los productos. Por ende, se puede concluir que la lechuga es adquirida por una población de 194 personas en un rango de ₡500 a ₡1 000. En el caso del culantro, 296 personas lo compran entre ₡100 y ₡500, mientras que el tomate es obtenido por 231 personas en un rango de ₡1 000 a ₡2 000.

La albahaca, perejil y acelga tienen un promedio de compra entre ₡100 y ₡500. El chile dulce es adquirido por 155 consumidores entre ₡500 y ₡1 000, el pepino por 194 personas en el mismo rango, y el tomate cherry, con el rango más amplio, se sitúa entre ₡1 000 y ₡2 000.

Mediante el análisis de la figura 28, se generan una serie de conclusiones basadas en el posicionamiento de la producción hidropónica del proyecto. Inicialmente, los rangos de precios seleccionados determinan la preferencia y el presupuesto de los consumidores, lo cual brinda una idea del volumen de producción que debe tener cada hortaliza con el fin de satisfacer la demanda del mercado y del establecimiento de los precios en los rangos más populares.

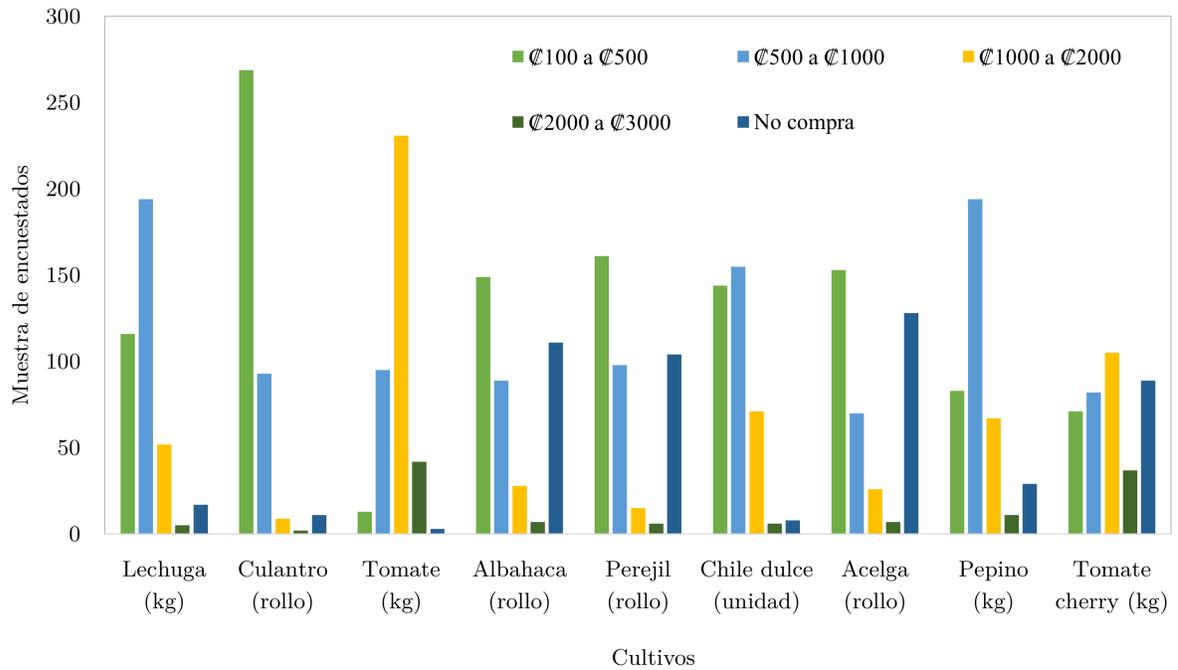


Fig 28: Censo de precios de hortalizas de producción regular.

La figura 29 muestra el porcentaje de interés de los consumidores por los productos hidropónicos: el 95,83% los compraría, mientras que solo el 4,17% no. Esta tendencia representa una oportunidad para el proyecto, dado el alto interés en productos con menor carga química y cultivados con prácticas sostenibles.

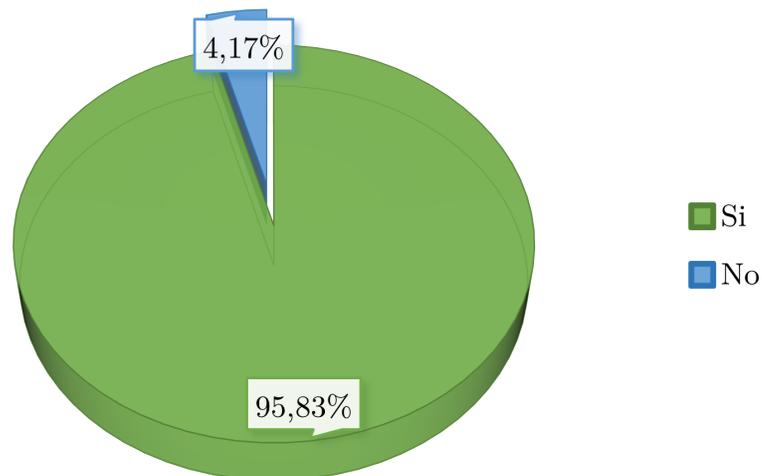


Fig 29: Porcentaje de consumidores interesados en hortalizas hidropónicas.

Se consultó a los consumidores interesados en hortalizas hidropónicas, el monto que estarían dispuestos a pagar. Para productos como lechuga, culantro, albahaca, perejil, chile dulce y acelga, eligieron un rango de ₡500 a ₡1 000. Mientras que, para tomate, tomate cherry y pepino, entre ₡1 000 a ₡2 000.

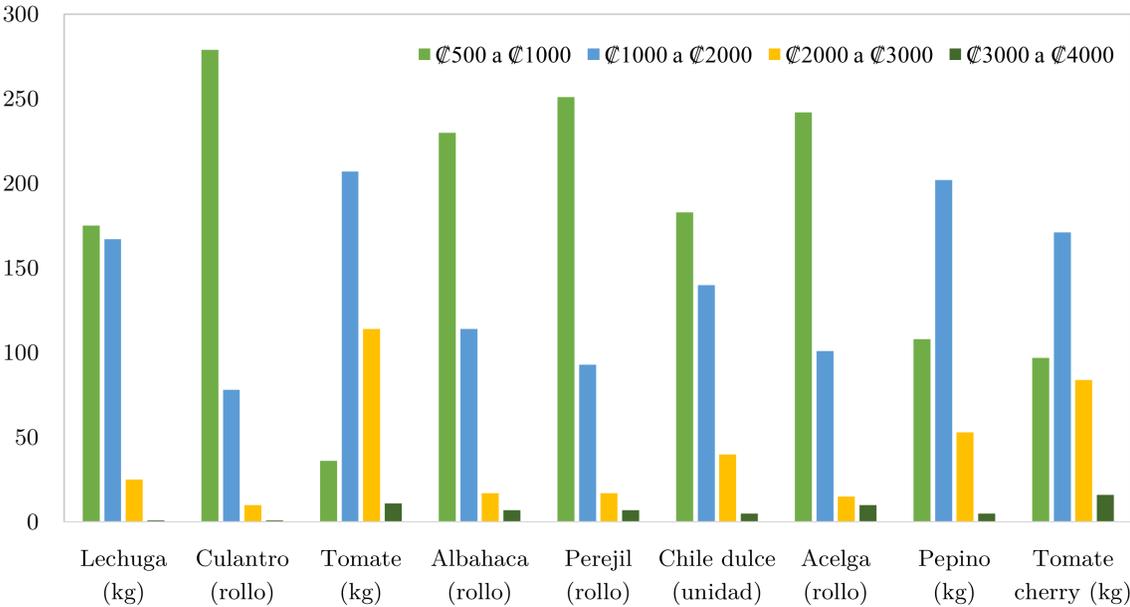


Fig 30: Rangos de precio en los que los consumidores comprarían hortalizas hidropónicas.

En contraste con los resultados de la figura 28, en el caso de la lechuga, los consumidores manifestaron estar dispuestos a pagar ₡500 adicionales por el producto hidropónico, lo mismo para el culantro, albahaca, perejil, chile dulce, acelga y pepino. Por otro lado, para el tomate y el tomate Cherry, los consumidores mantuvieron el rango de precios en el que adquieren productos convencionales, situado entre ₡1 000 y ₡2 000. Lo cual representa para el proyecto, una ventana de oportunidad, por la calidad y producción de las hortalizas en el sistema hidropónico, superiores a las cosechas en sistemas regulares.

4.8.1. Análisis FODA

Derivado de los resultados obtenidos en el presente estudio de mercado, se plantea la implementación de estrategias efectivas para un crecimiento sostenible y un buen posicionamiento en el mercado de las hortalizas. Por lo cual, a continuación se muestra un análisis FODA diseñado para el proyecto, el cual se basa en la evaluación de las fortalezas del sistema con el fin de potenciarlas, las oportunidades presentes en el mercado y por la ubicación estratégica del proyecto, espacios de mejora y factores que se presentan como amenazas. Con el anterior estudio se determinó la posición del proyecto y los espacios de mejora estratégica, con el fin de mejorar producción y eficiencia.

F	FORTALEZAS <ol style="list-style-type: none">1. Producción de hortalizas de alta calidad.2. Eficiencia en el uso de agua, nutrientes y espacio para aumentar la productividad.3. Flexibilidad para cultivar diversas hortalizas y adaptarse a las demandas del mercado.4. Compromiso con prácticas agrícolas sostenibles.5. Ubicación estratégica para acceder al mercado hotelero y gastronómico.
O	OPORTUNIDADES <ol style="list-style-type: none">1. Creciente demanda de hortalizas de alta calidad y libres de pesticidas.2. Preferencia por productos locales.3. Producción continua a lo largo del año, sin depender de las estaciones.4. Potencial para turismo agrícola con visitas guiadas junto a servicios de hotel.5. Colaboración con restaurantes y mercados locales como puntos de venta.
D	DEBILIDADES <ol style="list-style-type: none">1. Elevada inversión inicial en el ensamblaje del sistema.2. Vulnerabilidad a cambios en los precios y la oferta-demanda de hortalizas.3. Competencia creciente debido a la popularidad de la metodología.4. Red de distribución débil.5. Requiere conocimientos técnicos para operar el sistema
A	AMENAZAS <ol style="list-style-type: none">1. Aumento de productores que adoptan la hidroponía.2. Desafíos para llegar a los mercados o consumidores objetivos.3. Variaciones climáticas, incluyendo temperatura y radiación solar.4. Posibles interrupciones en suministros de agua y energía.5. Reservas de los consumidores respecto al precio de las hortalizas.

Fig 31: Análisis FODA de la producción hidropónica.

4.8.2. Estrategias FODA

Posterior a la definición del análisis FODA de la producción hidropónica del proyecto, es relevante determinar las dimensiones internas y externas que establecen las probabilidades de éxito. Se realizó la identificación de las estrategias FO, las cuales abarcan las fuerzas internas de la empresa, con el fin de aprovechar oportunidades externas. Además, las estrategias FA, las cuales buscan optimizar las mayores potencias del proyecto para evitar amenazas. Posteriormente, las estrategias DO, las cuales buscan sobreponerse a las debilidades internas mediante el aprovechamiento de las oportunidades externas y finalmente las estrategias DA, las cuales buscan disminuir las debilidades internas para ser menos vulnerables al entorno [57].

FO	<ol style="list-style-type: none">1. Producción de mayor variedad de cultivos.2. Turismo agrícola.3. Búsqueda de certificaciones.4. Colaboración con restaurantes o mercados de la zona.
FA	<ol style="list-style-type: none">1. Diversificación del flujo energético.2. Aplicación de sistemas de automatización y agricultura 4.0.3. Capacitación de los colaboradores a cargo del sistema.
DO	<ol style="list-style-type: none">1. Formación de alianzas con distintos canales para mejorar la red de distribución.2. Canales de promoción y uso de redes sociales.3. Implementación de prácticas sostenibles.4. Talleres de enseñanza para el consumidor.
DA	<ol style="list-style-type: none">1. Aplicación de estrategias para ser reconocidos en el mercado.2. Alianzas con universidades o escuelas.3. Convenios con entidades gubernamentales.

Fig 32: Análisis de estrategias FODA

4.8.3. Fuerzas de Porter

Con el análisis que plantea Porter acerca de las cinco fuerzas, se pueden dimensionar las variables que determinan el éxito de un producto en el mercado. Porter [58], creó una herramienta basada en factores imperativos en el mercado, tales como: competidores, clientes, proveedores, productos sustitutos y nuevas empresas o competidores entrantes.

Poder de negociación de los compradores	Escasez de proyectos con un enfoque hidropónico en la zona y en general de producción de hortalizas, no se encuentran productos similares. Son necesarios métodos de exposición de los productos en el mercado.	Bajo
Poder de negociación de los proveedores	Se encuentran en el mercado gran cantidad de proveedores de semillas de hortalizas o de plántulas, además de vendedores de los elementos para la formulación de las soluciones nutritivas.	Bajo
Amenaza de productos o servicios sustitutos	En el mercado existe una amplia variedad de productos sustitutos, de producción regular o producción hidropónica con el uso de sustrato. Es necesario hacer llegar al consumidor meta la información nutricional y los beneficios para la salud.	Alto
Amenaza de nuevos competidores	La producción hidropónica es una técnica cada vez más utilizada, mayoritariamente por pequeños productores que competirían directamente en el mercado del proyecto.	Alto
Rivalidad entre competidores existentes	En la zona no existen proyectos hidropónicos de producción de hortalizas, por lo cual el mercado posee poca rivalidad o competencia.	Bajo

Fig 33: Análisis de las cinco fuerzas de Porter.

Mediante este análisis se estudió la competitividad en la industria. Se evaluó el poder de negociación de consumidores y proveedores, destacando la importancia de un plan estratégico para construir relaciones leales. Ante la amenaza de nuevos competidores y productos sustitutos, el proyecto necesita diferenciarse y posicionarse en el mercado. La rivalidad entre competidores existentes ofrece una base sólida para establecer estrategias de precios efectivas.

4.8.4. Análisis de las 4 P

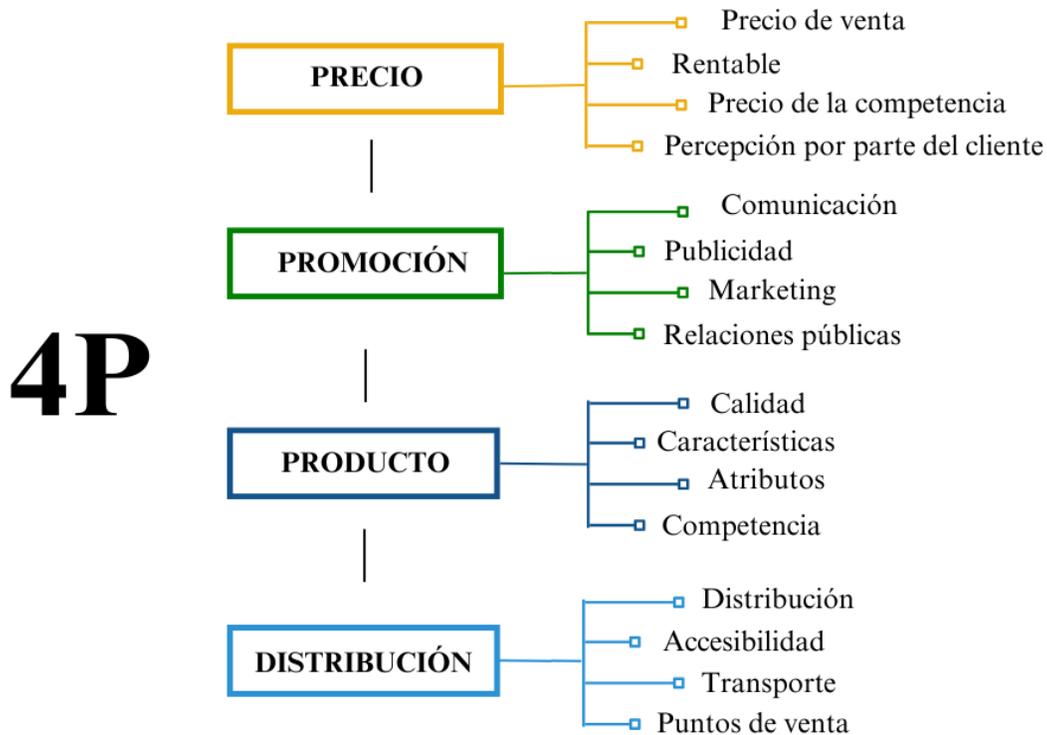


Fig 34: Análisis de las 4 P del marketing.

Producto

Basado en la selección de hortalizas por parte de los propietarios del Hotel Recreo Verde, se determina que el sistema de producción hidropónica brindará una amplia variedad de productos, con alta calidad y producción basada en buenas prácticas agrícolas. El desarrollo de un sistema de producción agrícola sin la necesidad de sustrato se posiciona como una estrategia innovadora, la cual es fundamental para el desarrollo de los productos y la atracción de consumidores.

El listado de productos está compuesto por: tomate cherry, pepino, acelga, chile dulce, perejil, albahaca, tomate, culantro y lechuga. Derivado del estudio de mercado, se determina que las hortalizas a producir se posicionan entre las de mayor consumo local. El punto focal de innovación para estos productos, se deriva de su origen hidropónico y enfoque en la salud del consumidor.

Precio

En cuanto al factor monetario, derivado del estudio de mercado, se puede determinar que el precio de los productos es un elemento dependiente de la tasa de consumo de las hortalizas en los hogares de los consumidores. Por de lo cual, los potenciales clientes están dispuestos a pagar mayores cantidades por productos hidropónicos que consuman con frecuencia, principalmente por la alta calidad y las ventajas que esto representa para la salud.

Posterior a la investigación realizada, se analiza aplicar una estrategia para determinar los precios de los productos orientada a ofrecer productos hidropónicos de alta calidad, por ende, con costos más elevados que el promedio, pero justificados por el manejo agronómico y superioridad sobre las hortalizas de producción regular.

Distribución

Con respecto a la distribución y accesibilidad a los productos, se consideró la elección de los canales de distribución, transporte, logística y los puntos de venta en los que se quieren posicionar los productos. Con referencia a la logística para la venta, se considera un departamento de ventas encargado de llevar los productos a los puntos de venta estratégicos, los cuales según el estudio de mercado son las verdulerías y supermercados.

Promoción

Considerando la ubicación del proyecto y el enfoque turístico de la empresa, se considera el Hotel Recreo Verde como el punto de promoción principal de los productos hidropónicos. Sumado a la publicidad que se pueda realizar mediante recorridos por las instalaciones, se consideran las redes sociales como herramientas de comunicación, plataformas como Facebook, Instagram y WhatsApp.

4.9. Análisis técnico-financiero

4.9.1. Supuestos

Para los cinco años del horizonte del proyecto, se asumió una ocupación constante del 100 % de la capacidad del sistema, considerando que la demanda del mercado se mantenga estable y en la eficiencia del proceso productivo. Asimismo, los precios de venta se consideraron estables, sin variaciones significativas, salvo ajustes asociados al índice de inflación.

4.9.2. Precios de venta

Para determinar los precios de venta de los productos, se utilizaron los rangos de precios establecidos en la página web del Programa Integral de Mercadeo Agropecuario (PIMA) del día 16 de julio de 2024 [59].

Tabla 24: Precios de venta de los productos.

Cultivo	Precio de venta (₡)
Lechuga (unidad)	271,43
Acelga (rollo)	650,00
Albahaca (rollo)	244,44
Culantro (rollo)	1 181,82
Perejil (rollo)	527,27
Tomate (kg)	828,87
Tomate cherry (kg)	1 850,00
Chile dulce (bolsa)	741,00
Pepino (kg)	427,27

El PIMA clasifica el listado de hortalizas disponibles en el mercado según su ubicación o tipo de consumo. Para este análisis, se utilizaron datos de los boletines de precios de la feria CENADA, la feria Chorotega y un boletín específico de productos gourmet y aromáticos. Los precios de venta recopilados se presentan en la tabla 24. Además, a los precios establecidos en las ferias se les agregó el impuesto de venta del 13 %, cuyos resultados se detallan en la tabla 25.

Para las hortalizas de fruto, excepto el chile dulce, la unidad de venta estándar es el kilogramo, con rangos específicos según la variedad [60]. Para el tomate regular, se consideró una producción de 5,37 kg por planta [61]. Mientras que el tomate cherry bajo producción hidropónica produce aproximadamente 0,871 kg por planta [62].

Para el chile dulce, se estudió un artículo nacional, en el cual se analizaba la producción en invernaderos con distintos niveles de humedad, pero debido a la presentación de venta de este producto, no se establece su rendimiento por kg, sino por unidad [35]. En el caso del pepino, el rendimiento promedio se determinó en 9,25 kg [63].

4.9.3. Cantidades

Como escenario real se utilizó una producción de 15 125 plantas por año, 3 780 de lechuga, 1 512 de acelga, 756 de albahaca, 756 de culantro, 756 de perejil, 1 890 de tomate, 945 de tomate cherry, 945 de chile dulce y 3 780 de pepino. Se consideró la producción sin aumentos en los restantes años de proyecto, ya que se estableció una ocupación absoluta del sistema. Las cantidades disponibles para venta de hortalizas se establecieron considerando una resta de 10% de la producción total, como porcentaje de desecho por estándares de calidad del producto.

Al destinar un 10% de la producción a otros fines, el 90% restante se utilizará para el autoabastecimiento del restaurante del centro recreativo. Este suministro se ajustará de acuerdo con las necesidades específicas del inmueble, sin estar sujeto a un porcentaje fijo. Por lo tanto, cualquier excedente no requerido por los propietarios se comercializará en ferias o supermercados interesados en ofrecer los productos.

4.9.4. Ingresos

Al realizar el cruce entre las variables de precio y cantidades, se obtuvo la proyección de los ingresos generados en los 5 años correspondientes al horizonte del proyecto. Esta proyección considera un ajuste por año basado en el índice de inflación. Los resultados detallados se encuentran visualizados en la tabla 25.

Tabla 25: Ingresos anuales.

Ingresos	Año 1 (€)	Año 2 (€)	Año 3 (€)	Año 4 (€)	Año 5 (€)
Lechuga (kg)	928 021,88	955 862,54	984 538,42	1 014 074,57	1 044 496,81
Acelga (rollo)	888 942,60	915 610,88	943 079,20	971 371,58	1 000 512,73
Albahaca (rollo)	167 148,56	172 163,02	177 327,91	182 647,75	188 127,18
Culantro (rollo)	161 626,18	166 474,96	171 469,21	176 613,29	181 911,68
Perejil (rollo)	72 109,66	74 272,95	76 501,13	78 796,17	81 160,05
Tomate (kg)	7 609 061,29	7 837 333,13	8 072 453,12	8 314 626,71	8 564 065,52
Tomate cherry (kg)	1 377 305,44	1 418 624,60	1 461 183,34	1 505 018,84	1 550 169,41
Chile dulce (unidad)	211 123,87	217 457,58	223 981,31	230 700,75	237 621,77
Pepino (kg)	13 512 773,72	13 918 156,94	14 335 701,64	14 765 772,69	15 208 745,87
	24 928 113,20	25 675 956,59	26 446 235,29	27 239 622,35	28 056 811,02

4.9.5. Costos

El siguiente desglose de costos se basa en cuatro grandes divisiones: materia prima, mano de obra, costos directos de producción, costos indirectos de producción e inversiones.

4.9.6. Materia prima

El análisis financiero del proyecto se basa en el volumen de producción agronómica, medido en kilogramos y unidades, determinado por las características biológicas de los cultivos, ciclos productivos y periodos de cosecha. Se incluyeron pausas anuales de un mes para limpieza y desinfección de las pirámides de cultivo y reservorios.

Tabla 26: Producción anual de hortalizas de hoja.

Ciclo productivo	
Tiempo de producción	30-45 días
Producción anual	6 ciclos

Las hortalizas de hoja poseen ciclos cortos, de aproximadamente 45 días, desde su inmersión como plántulas al sistema hidropónico [64]. Considerando este factor, se plantearon 6 ciclos anuales para la lechuga, acelga, albahaca, culantro y perejil.

Tabla 27: Producción anual de hortalizas de fruto.

Ciclo productivo	
Tiempo de producción	60-90 días
Producción anual	3 ciclos

Para la producción de pepino, se optó por un ciclo de tres producciones anuales, considerando que en invernadero, los ciclos de vida son más cortos pero con mayor potencial productivo, según Ramírez-Vargas [65]. La misma planificación se aplicó para los cultivos de tomate y chile dulce. La distribución de los cultivos en las pirámides se determinó según los requisitos del Hotel Recreo Verde, priorizando los cultivos más demandados en el restaurante y en las ventas proyectadas: pepino, tomate, lechuga y acelga. Las pirámides tienen capacidad para albergar hasta 1 260 plantas.

Tabla 28: Cantidad de asteráceas por variedad.

Cultivo	Unidades
Lechuga	630
Acelga	252
Albahaca	126
Culantro	126
Perejil	126

Debido a sus necesidades nutricionales similares, los cultivos listados en la tabla 28 fueron agrupados en una sola pirámide. En este conjunto se incluyen dos de los cultivos principales, la lechuga y la acelga, lo que implica una demanda mayor en unidades en comparación con los demás productos. Las lechugas representan el 50% de la producción, las acelgas el 20%, dejando el 30% restante para los demás cultivos.

Tabla 29: Cantidad de solanáceas por variedad.

Cultivo	Unidades
Tomate	630
Tomate Cherry	315
Chile dulce	315

En el caso de los cultivos pertenecientes a la familia solanácea, se destaca la necesidad de mayor cantidad de tomate, lo que impulso a una distribución específica: el tomate representa el 50 % de la pirámide, mientras que el 25 % se asigna tanto al tomate cherry como al chile dulce.

Tabla 30: Cantidad de cucurbitáceas por variedad.

Cultivo	Unidades
Pepino	1260

La pirámide de pepino presenta una particularidad: debido a sus necesidades nutricionales específicas, este cultivo no puede compartir espacio con otras hortalizas y requiere un sistema exclusivo. Además, el pepino se destaca como uno de los productos de mayor demanda en términos de volumen y tiempo de cosecha.

Tabla 31: Costo de materia prima para soluciones nutritivas.

Producto	Presentación	Costo (€)	Costo mensual (€)	Costo anual (€)
Fosfato monopotásico	Saco de 25 kg	31 571,31	31 571,31	347 284,41
Nitrato de potasio	Saco de 25 kg	21 906,63	43 813,26	481 945,86
Sulfato de potasio	Saco de 25 kg	58 303,67	58 303,67	641 340,37
Sulfato de magnesio	Saco de 25 kg	3 470,00	6 940,00	76 340,00
Nitrato de calcio	Saco de 25 kg	15 068,00	60 272,00	662 992,00
Ácido bórico	Bolsa de 500 g	2 500,00	2 500,00	27 500,00
Oligomix	Bolsa de 100 g	2 260,00	6 780,00	74 580,00
Quelato de hierro	Botella de 1 l	4 500,00	22 500,00	247 500,00
Costo total				2 559 482,64

Basado en la cantidad de plantas, se estimaron los costos de materia prima. Inicialmente, derivado de los requerimientos nutricionales, se estableció el volumen de elementos químicos necesarios para el proceso de riego en las tres pirámides. Como se puede apreciar en la tabla 31, son 8 productos los que conforman las soluciones nutritivas, con un costo anual de ₡2 559 482,64. Las cotizaciones de estos productos se realizaron en el Almacén Agrotico.

Tabla 32: Costo de materia prima vegetal.

Producto	Presentación	Costo (₡)	Costo mensual (₡)	Costo anual (₡)
Lechuga	Unidad	60,00	37 800,00	415 800,00
Acelga	Unidad	60,00	15 120,00	166 320,00
Albahaca	Unidad	60,00	7 560,00	83 160,00
Culantro	Unidad	60,00	7 560,00	83 160,00
Perejil	Unidad	60,00	7 560,00	83 160,00
Tomate	Unidad	155,00	97 650,00	195 300,00
Tomate Cherry	Unidad	155,00	48 825,00	97 650,00
Chile dulce	Unidad	155,00	48 825,00	97 650,00
Pepino	Unidad	60,00	75 600,00	151 200,00
Costo total			1 373 400,00	

Para la materia prima vegetal, se cotizaron plántulas listas para el sistema hidropónico en Huertas & Almacigos Méndez, ubicados en Grecia, Alajuela, a 59,6 km del Hotel. La tabla 32 muestra los costos unitarios por variedad de cultivo, ajustados a la cantidad de plantas requeridas anualmente. La inversión total asciende a ₡1 373 400,00 por año. En conclusión, la inversión de materia prima en un plazo anual, es equivalente a ₡3 932 882,64.

4.9.7. Costos de producción

Costos de ventas

Como elemento indispensable en la venta de productos, se analizan las bases de la mercadotecnia. Como objetivo principal se encuentra la satisfacción del consumidor, lo cual requiere de estrategias basadas en comunicación y distribución de los productos. Es necesario considerar actividades tales como investigación y adaptación de nuevos productos además del estudio de nuevos mercados [32]. Como se puede visualizar en la tabla 33, para el análisis financiero se consideraron procesos de certificación, otorgados por la organización nacional Eco-Lógica, con un costo de ₡1 042 000,00 que se debe de cancelar por un periodo de tres años [66].

Tabla 33: Costos de ventas.

Elemento	Costo (₡)
Expansión nuevos mercados	225 000,00
Adaptación de productos	200 000,00
Certificación de producción	1 042 000,00
Encuestas al consumidor	110 000,00
Total de inversiones	1 577 000,00

Además, se estimó un porcentaje monetario para la aplicación de encuestas al consumidor como herramienta para elaborar estudios de mercado y conocer la conformidad de los compradores con los productos ofrecidos por el proyecto hidropónico, así como posibles cambios y recomendaciones.

Tabla 34: Costos incurridos en ventas.

Elementos	Costo (₡)
Empaques biodegradables hortalizas de hoja	734 832,00
Empaques biodegradables hortalizas de fruto	635 040,00
Comisión a intermediarios	817 189,00
Transporte mediante alquiler (flete)	300 000,00
Costo total	2 487 061,00

Asimismo, se evaluaron los costos que se incurren en el proceso de venta y colocación de los productos en el mercado en el periodo de un año. En la tabla 34, se muestran los costos generados por la compra del material de empaque, el cual se seleccionó de un material biodegradable, para mantener la sintonía con el concepto hidropónico de la producción agrícola. Además, se consideró un 3% de comisión como tasa para intermediarios que posicionen los productos en comercios. Por último, se analizó el transporte de los productos, el cual, por su necesidad máxima de dos días al mes, se seleccionó como un servicio de alquiler de un vehículo de cajón.

Costos de mantenimiento

Tabla 35: Costos de mantenimiento.

Elemento	Especialista	Horas estimadas	Costo/hora (₡)	Costo (₡)
Corrección de desperfectos	Albañil	15	2 500,00	37 500,00
Infraestructura	Soldador	20	2 500,00	50 000,00
Instalación de equipos	Albañil	3	2 500,00	7 500,00
Materiales	-	-	-	150 000,00
Costo total				245 000,00

Como parte de las actividades necesarias para preservar el estado de los sistemas, se planificaron tareas de mantenimiento tanto para la estructura del invernadero como para los sistemas hidropónico e hidráulico. Se consideró la mano de obra y los materiales, además, se establecieron los costos por hora mediante el listado de salarios del MTSS, para el albañil y el soldador. También se consideró la compra de materiales, tales como tubos de PVC o tapas que requieran de cambios, bolsas de soldadura y consumibles hidráulicos. Por último, debido a la vida útil de algunos equipos, tales como las bombas, se consideró el recambio de estas cada 2 años [67].

Costos administrativos

La tabla 36 detalla los equipos utilizados junto con su consumo eléctrico y el costo mensual asociado. Se presenta el consumo específico de las bombas, microcontroladores y las básculas para la elaboración de las soluciones nutritivas, en kilovatios-hora (kWh) por día, y el costo mensual calculado basado en la tarifa eléctrica actual.

Tabla 36: Costos de consumo eléctrico.

Equipo	Unidades	h/día	kWh	Costo por kW (₡)	Costo mensual (₡)
Bombas	3	4	0,125	98,74	4 443,30
Microcontroladores	3	4	0,02	98,74	59,24
Básculas	1	1	0,005	98,74	14,81
Costo anual					49 690,91

La tarifa del proyecto posee un consumo menor a 3000 kWh, por lo cual el costo por kWh es de ₡98,74, con lo cual se obtiene un consumo anual de ₡270 448,86 [68].

Tabla 37: Costos de consumo de agua.

Actividad	L/mes	m ³	Costo por m ³ (₡)	Consumo mensual (₡)
Recirculación	700	0,70	1 509,00	3 409,00
Costo anual				40 908,00

Para la formulación de las soluciones nutritivas se requieren 100 L por cada reservorio cada 15 días, asimismo se consideró una reposición de 7 L diarios para la reposición de un 10% del volumen del envase [69]. Además, se añadieron 100 L adicionales para procesos de limpieza y desinfección, para un total de 800 L mensuales. La tarifa empresarial establecida por Acueductos y Alcantarillados es de ₡1 509,00 por metro cúbico (m³), sin embargo, derivado del bajo volumen requerido, se consideró el cargo mínimo de ₡3 409,00 resultando en un costo anual de ₡40 908,00 según la referencia [70].

Tabla 38: Costos salariales.

Personal	Salario/día (₡)	Salario según CCSS (₡)	Salario mensual (₡)
Peón agrícola	11 738,83	15 166,57	454 997,05
Costo anual			5 459 964,61

Se consideró un colaborador que se encargue de la siembra, recambio de soluciones nutritivas, cosecha y limpieza del ambiente protegido y sistema hidropónico. Según el MTSS y Seguridad Social, el salario diario sería de ₡11 738,83, sumando las cargas sociales respectivas a un 29.20%, el salario anual sería equivalente a ₡5 459 964,61 [67].

Tabla 39: Sumatoria de costos administrativos.

Concepto	Costo anual (₡)
Electricidad	49 690,91
Agua	40 908,00
Mano de obra	5 459 964,61
Costo total	5 550 563,51

En la tabla 39 se muestra el desglose de los costos operativos, siendo el colaborador el porcentaje más alto, cabe destacar que la empresa cuenta con personal capacitado dentro de su planilla, que planea reubicar a estas actividades cuando sea necesario. Los costos operativos anuales suman un total de ₡9 769 025,61.

4.10. Tasa mínima de rentabilidad del proyecto (Ko)

En este proyecto, la inversión inicial será financiada mediante un préstamo bancario con una tasa de interés del 11,30%, y por aportes de los propietarios. Para calcular la tasa de capital de trabajo, se ponderaron estos dos componentes de financiamiento, utilizando el 11,30% como tasa representativa para el capital de trabajo financiado por el banco [71].

Para calcular la tasa de costo de capital de los propietarios, se tomaron como referencia los Bonos de Estabilidad Monetaria (BEM) emitidos por el Banco Central de Costa Rica y el Ministerio de Hacienda. El promedio de las tasas de la serie BCFIJA080334, entre abril de 2023 y abril de 2024, fue de 6,80 % [72]. Además, aplicando la metodología de Losilla, se sumó una prima de riesgo superior a la inflación promedio de los últimos 5 años (aproximadamente 3 %), obteniendo una tasa final del 5 % [73].

$$K_{e\text{ propietarios}} = 6,80\%$$

$$K_{o\text{ propietarios}} = 6,80\% + 5\%$$

$$K_{o\text{ propietarios}} = 11,80\% \tag{8}$$

Considerando una inversión inicial de ₡32 996 266,00, la tasa ponderada se calculó de la siguiente manera:

Tabla 40: Cálculo de tasa mínima de rentabilidad ponderada.

	Monto (₡)	Proporción (%)	Tasas (%)	Tasa ponderada (%)
BNCR	12 796 860,74	40,00	11,30	4,52
Inversionista	19 195 291,12	60,00	11,80	7,08
Tasa de rentabilidad mínima ponderada (%)				11,60

La tasa mínima de rentabilidad ponderada se calcula combinando las tasas de interés de dos fuentes de financiamiento, el BNCR y un inversionista, en función de la proporción que cada monto representa dentro del total del financiamiento. En este caso, el BNCR aporta el 40 % del monto total, con una tasa del 11,30 %, mientras que el inversionista contribuye con el 60 %, con una tasa del 11,80 %. Para obtener la tasa ponderada, se multiplica la tasa de cada fuente por su proporción y luego se suman los resultados. Esto da como resultado una tasa mínima de rentabilidad ponderada del 11,60 %, que refleja el costo promedio del financiamiento considerando el peso relativo de cada fuente.

4.10.1. Depreciaciones

La depreciación se calculó utilizando el método de línea recta establecido por el Ministerio de Hacienda, método que se aplicó tanto para la depreciación de infraestructura, equipos y máquinas. Se presenta también el valor de salvamento de todos los elementos al finalizar el periodo de 5 años del análisis del proyecto [74].

Tabla 41: Análisis de depreciaciones.

Ítem	Costo (€)	Vida útil	Anual (€)	Acumulada (€)	Valor en libros (€)
Terreno	6 048 000,00	N/A	0,00	0,00	6 048 000,00
Invernadero	6 153 083,25	20	307 654,16	1 538 270,81	4 614 812,43
Sist. hidropónico	6 858 408,57	20	342 920,43	1 714 602,14	5 143 806,43
Bombas	167 789,28	4	83 894,64	419 473,2	0,00
Temporizadores	112 990,41	3	37 663,47	188 317,35	37 663,47
Reservorios	157 635,00	10	15 763,50	78 817,50	78 817,50
Sist. hidráulico	611 892,32	15	40 792,82	203 964,11	407 928,21
Botellas	1 740,00	1	1 740,00	8 700,00	0,00
Básculas	36 541,41	7	5 220,20	26 101,01	10 440,40
Cepillos	5 085,00	1	5 085,00	25 425,00	0,00
Embudo	8 955,00	5	1 791,00	8 955,00	0,00
Probeta	8 000,00	1	8 000,00	40 000,00	0,00
Cubetas	5 085,00	5	1 017,00	5 085,00	0,00
pH - metro	33 222,00	3	11 074,00	55 370,00	22 148,00
Lector de EC	55 053,60	5	11 010,72	55 053,60	0,00
Total	20 100 287,35		814 083,28	4 070 416,39	16 363 616,45

Para determinar la vida útil de los equipos y activos del proyecto, se utilizó el listado de porcentajes de depreciación del Ministerio de Hacienda [74]. La tabla 41 muestra los elementos y su vida útil. Las mayores inversiones, como el terreno, el invernadero y los sistemas estructurales, no requieren reinversión, mientras que herramientas de medición, pesado y equipo de bombeo sí, debido a su vida útil menor a cinco años [74].

4.11. Estudio financiero

Para el estudio financiero se estableció un horizonte de proyecto de cinco años. Considerando las variables principales del proyecto tales como: producción, tasa de interés y cobertura de financiamiento, se desarrollaron cuatro escenarios.

4.11.1. Inversiones

El monto total de la inversión inicial para la puesta en marcha del proyecto se calculó considerando todos los elementos necesarios para ensamblar el sistema, incluyendo bienes inmuebles, materiales, accesorios y el capital de trabajo requerido para el desarrollo del proyecto.

Tabla 42: Inversión inicial.

Elemento	Costo (₡)
Terreno	6 048 000,00
Sistema hidropónico	6 858 408,57
Invernadero	6 153 083,25
Equipos	1 115 714,23
Capital de trabajo	7 028 918,37
Tramitología y publicidad	1 879 650,00
Total sin contingencias	29 083 774,42
Total con contingencias (10 %)	31 992 151,86

La inversión inicial debe incluir el costo del terreno de 336 m², que abarca el área para el invernadero y linderos. Tras un estudio de mercado realizado con los propietarios del Hotel Recreo Verde, se estableció un valor de ₡18 000,00 por m², para un total de ₡6 048 000,00.

Los costos de construcción y ensamblaje del sistema hidráulico se determinaron a través de cotizaciones, como se muestra en las tablas 11, 22 y 23. Estos incluyen el equipo necesario para la preparación de soluciones nutritivas, así como los materiales para la limpieza y desinfección del sistema, sumando un total de ₡7 764 075,29.

Por último, en el caso de los recursos destinados para procesos de investigación, se consideraron ₡250 000,00. Los procesos de investigación pueden enfocarse en optimizar cultivos y soluciones nutritivas, mejorar el control de plagas y enfermedades, y aumentar la eficiencia del sistema mediante la reducción de consumo de agua, energía y nutrientes.

En el caso del invernadero, se estimaron los costos mediante una cotización realizada con la empresa NOVAGRIC [75] y los costos de mano de obra y sistemas eléctricos, mediante la consulta a un arquitecto [42].

Tabla 43: Costo del invernadero.

Elemento	Costo (₡)
Costo invernadero	3 741 607,92
Bases columnares	360 000,00
Murete	480 000,00
Sistema eléctrico	448 992,95
Mano de obra	1 122 482,38
Total	6 153 083,25

Considerando el costo del material para ensamblar el sistema, la obra gris para las bases del invernadero, el muro requerido para el posicionamiento de los reservorios de solución nutritiva fuera del invernadero, el sistema eléctrico y la mano de obra, como se observa en la tabla 43, el costo total es de ₡6 153 083,25.

Se calculó el capital de trabajo mediante el método de desfase [29]. Se utilizó un Punto de Paridad de Retorno (PPR) de 120 días, periodo en el cual las entradas del proyecto serían menores que las salidas. El capital de trabajo, que asegura liquidez para cubrir las operaciones anuales, es de ₡7 028 918,37. En el anexo D se presenta el cálculo de este capital.

Se evaluaron como inversiones diferidas los trámites para la obtención de permisos municipales y del CFIA necesarios para la construcción, actividades de investigación orientadas a optimizar productos o procesos, campañas publicitarias y programas de capacitación para el personal, con el objetivo de mejorar su desempeño y aumentar sus conocimientos. El desglose de costos de estas inversiones se detalla en la tabla 44, alcanzando un total de ₡1 879 650,00.

Tabla 44: Inversiones diferidas.

Inversiones	Costo (€)
Permiso de construcción	1 108 800,00
Publicidad	520 850,00
Capacitación	0,00
Investigación	250 000,00
Costo total	1 879 650,00

Para determinar los costos de permisos y tramitología, se investigó el Manual de Valores Base Unitarios por Tipología Constructiva [76], obteniendo un costo de €1 108 800,00. En el caso de los costos publicitarios, se consultó a un diseñador gráfico un costo aproximado para un proyecto de agricultura. En el caso del rubro de capacitaciones, se consideró un costo nulo, debido a la amplia variedad de cursos acerca de agricultura y abonos que imparte el Instituto Nacional de Aprendizaje (INA) de manera gratuita para emprendedores y/o PYMES.

Para cubrir imprevistos o posibles variaciones en los costos del proyecto, se ha considerado un porcentaje equivalente al 10% del costo total de la inversión. El cual se asignará a gastos no previstos que puedan surgir durante la ejecución o puesta en marcha del sistema hidropónico, resultando en una inversión total de €31 897 015,60.

4.12. Análisis financiero

El cálculo del presupuesto necesario para el desarrollo del proyecto se llevó a cabo considerando tres componentes principales: la inversión inicial, que asciende a ₡31 992 151,86; la inversión en capital de trabajo, por un total de ₡7 028 918,37; y los costos asociados a la producción, que suman ₡21 379 626,71 . A partir de estos valores, se plantearon cuatro escenarios para evaluar la viabilidad del proyecto:

1. Escenario base: Proyección real de inversión y producción, considerando el apoyo de un financiamiento bancario.
2. Escenario de sensibilidad a la producción: Estudio de la variación causada por distintos porcentajes de producción del sistema, también con el respaldo de financiamiento bancario.
3. Escenario de sensibilidad a la inversión inicial: Evaluación del impacto de diferentes porcentajes de financiamiento de la inversión inicial, identificando el mínimo necesario para garantizar la rentabilidad del proyecto.
4. Escenario de sensibilidad a la tasa de interés: Análisis de cómo distintas tasas de interés en el financiamiento bancario afectan los indicadores financieros del proyecto.

Se presenta a continuación un listado de selecciones principales que se utilizaron para realizar el análisis financiero del proyecto:

- Efecto inflacionario: Para estimar el aumento derivado de la tasa de inflación durante el horizonte del proyecto, se utilizó la tasa determinada por el Banco Central de Costa Rica para el periodo 2023-2024, la cual es de 1,03 % anual [77].
- Impuesto sobre la renta: Con respecto a la utilidad bruta sobre las ventas del proyecto, el Ministerio de Hacienda determina que la tasa de impuesto de renta del proyecto, por no superar los ₡122 145 000,00 es de 20% [78].
- Tasa de interés: Mediante la visita a una oficina del Banco Nacional de Costa Rica, se determinó que la tasa más alta del primer semestre del año 2024, es de 11,90 %. Tasa que se utilizó para desarrollar el flujo financiero.

4.12.1. Escenario 1: demanda real del proyecto con un 40 % de financiamiento de la inversión inicial por parte del Banco Nacional de Costa Rica.

En este escenario, se detalla la estructura del financiamiento del proyecto con un 40% de la inversión inicial cubierta mediante un crédito otorgado por el Banco Nacional de Costa Rica (BNCR). La tabla 45 presenta las condiciones principales del préstamo, incluyendo el monto solicitado de cubierta mediante un crédito otorgado por el Banco Nacional de Costa Rica (BNCR). Con un monto de ₡12 796 860,74, la contribución del propietario de ₡19 195 291,12, la tasa anual del 11,3 %, y un plazo de 5 años.

Tabla 45: Condiciones solicitadas en el préstamo.

Solicitud de préstamo	
Monto a financiar	₡12 796 860,74
Inversión de propietarios	₡19 195 291,12
Tasa anual	11,90 %
Entidad bancaria	BNCR
Periodo	5 años

La tabla 46 muestra el plan de amortización, incluyendo el saldo inicial, las cuotas anuales, los intereses y la amortización correspondiente. Este esquema detalla las obligaciones financieras del proyecto y su capacidad para cumplir con los pagos.

Tabla 46: Amortización del préstamo para financiar el 40 % de la inversión y el capital de trabajo del proyecto necesario para su puesta en marcha.

Años	Tasa de interés (%)	Saldo (₡)	Cuota (₡)	Interés (₡)	Amortización (₡)
0		12 796 860,74			
1	11,90	10 115 390,00	4 204 297,11	1 522 826,43	2 681 470,69
2	11,90	7 114 824,00	4 204 297,11	1 203 731,42	3 000 565,70
3	11,90	3 757 191,00	4 204 297,11	846 664,10	3 357 633,02
4	11,90	0,00	4 204 297,11	447 105,77	3 757 191,34
5	11,90	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabla 47: Flujo de caja escenario 1.

Rubros	Año 0 (€)	Año 1 (€)	Año 2 (€)	Año 3 (€)	Año 4 (€)	Año 5 (€)
Ingresos						
Ventas	0,00	24 928 113,20	25 675 956,59	26 446 235,29	27 239 622,35	28 056 811,02
Total de ingresos	0,00	24 928 113,20	25 675 956,59	26 446 235,29	27 239 622,35	28 056 811,02
Gastos desembolsables						
Costos fijos	0,00	5 550 563,51	5 717 080,42	€5 888 592,83	6 065 250,62	6 247 208,14
Costos diferidos	0,00	1 879 650,00	770 850,00	€770 850,00	770 850,00	770 850,00
Costos de producción	0,00	4 180 387,92	4 305 799,56	€4 434 973,54	4 568 022,75	4 705 063,43
Costos administrativos	0,00	5 459 964,61	5 623 763,55	€5 792 476,45	5 966 250,75	6 145 238,27
Costos de ventas	0,00	1 577 000,00	1 624 310,00	€1 673 039,30	1 723 230,48	1 774 927,39
Costos incurridos en ventas	0,00	2 487 060,67	2 561 672,49	€2 638 522,67	2 717 678,35	2 799 208,70
Mantenimiento	0,00	245 000,00	252 350,00	€259 920,50	267 718,12	275 749,66
Total de costos	0,00	-21 379 626,71	-20 855 826,02	-21 458 375,30	-22 079 001,06	-22 718 245,59
Gastos no desembolsables						
Depreciación infraestructura	0,00	-650 575,00	-650 575,00	-650 575,00	-650 575,00	-650 575,00
Depreciación de equipos	0,00	-174 519,00	-174 519,00	-174 519,00	-185 593,00	-128 084,00
Total de depreciaciones (-)		-825 094,00	-825 094,00	-825 094	-836 168,00	-778 658,00
Utilidad e intereses antes de impuestos						
Intereses	0,00	1 522 826,43	1 203 731,42	846 664,10	447 105,77	0,00
Utilidad antes de impuesto	0,00	1 200 566,00	2 791 305,00	3 316 102,00	3 877 348	4 559 907,00
Impuestos (20%)	0,00	0,00	558 261,00	663 220	775 470,00	911 981,00
Utilidad neta	0,00	1 200 566,00	2 233 044,00	2 652 882,00	3 101 878,00	3 647 926,00
Inversiones						
Depreciación infraestructura	0,00	650 574,59	650 574,59	650 574,59	650 574,59	650 574,59
Depreciación de equipos	0,00	174 519,41	174 519,41	174 519,41	185 593,41	128 083,71
Terreno	-6 048 000,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Invernadero	-6 153 083,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ejecución de obra	-6 858 408,57	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Equipos	-1 115 714,23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Tramitología y publicidad	-1 879 650,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Imprevistos	-2 908 377,44	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Reinversión en equipos	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Préstamo bancario (80%)	12 796 860,74	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Aporte de propietarios (20%)	19 195 291,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Amortización del Préstamo	0,00	-2 681 470,69	-3 000 565,70	-3 357 633,02	-3 757 191,34	0,00
Inversión en capital de trabajo	-7 028 918,37	172 208,45	-198 098,39	-204 041,35	-210 162,59	0,00
Recuperación de capital de trabajo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	440 093,88
Recuperación de aporte de propietarios	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-19 195 291,12
Valor de desecho de mercado	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	€16 363 616,45
Flujo de caja	0,00	-483 602,00	-140 526,00	-83 699,00	-29 308,00	2 035 003,00

Derivado de los resultados mostrados en la tabla 48, bajo estas condiciones el proyecto es rentable, considerando los siguientes parámetros:

Tabla 48: Indicadores financieros obtenidos bajo el escenario 1.

Indicador	Escenario 1
TIR (%)	33,08 %
VAN (₡)	550 279,7
PRIM (años)	4,53

- La tasa interna de retorno es igual a 33,08 %, lo cual es superior a la tasa de costo capital calculada de 11,60 %.
- El VAN es mayor que cero.
- La recuperación de la inversión sucede en 4,53 años.

Cuando se considera un financiamiento mayor al 40 % de la inversión inicial, la cuota del préstamo, que consta de los intereses más el monto de amortización, se vuelven altos y terminan afectando los ingresos del proyecto. Esto hace que el dinero que queda disponible después de las ventas sea menor, reduciendo la rentabilidad y alargando el tiempo necesario para recuperar la inversión.

Además, si el financiamiento es de la mayoría de la inversión inicial, se corre el riesgo de que el proyecto no genere suficiente dinero para cubrir estos pagos, especialmente si algo inesperado ocurre, como un aumento en los costos o una caída en los precios de las hortalizas, lo cual deja reducido margen de acción.

Por eso, el análisis financiero muestra que, con más del 40 % de financiamiento, el proyecto no sería rentable y podría volverse riesgoso. Es mejor limitar el préstamo al nivel donde el proyecto sigue siendo sostenible y rentable.

4.12.2. Escenario 2: variación en el porcentaje de producción del sistema.

Se realizó un análisis de sensibilidad con cinco sub escenarios para evaluar el comportamiento de los indicadores financieros ante menores porcentajes de producción. Asimismo, mediante este análisis se determinó el punto de equilibrio del proyecto.

Tabla 49: Escenario 2: con distintos porcentajes de producción del sistema.

Volumen de producción (%)	TIR (%)	VAN (€)	PRIM (años)
100	33,08	550 279,70	4,53
98,00	14,39	103 539,32	4,91
97,54	11,62	789,03	5
94	-2,40	-789 941,44	5,67
92	-7,37	-1 236 681,82	6,05

Como muestra la tabla 49, una menor producción afecta los indicadores financieros, disminuyendo la TIR y el VAN, y alargando el PRIM. En la figura 35, esto se refleja en el punto de equilibrio cerca del 97,54% de la capacidad de producción.

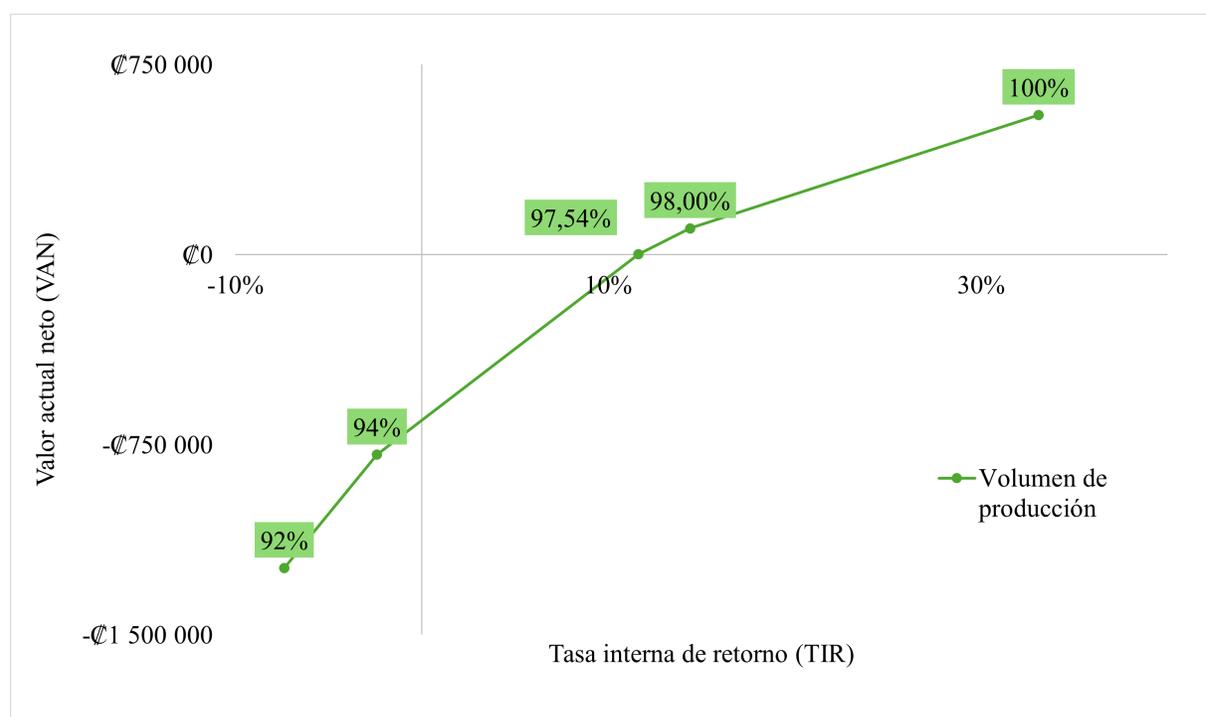


Fig 35: Punto de equilibrio de la producción del sistema.

Los resultados presentados en la tabla 49 y la figura 35 destacan la estrecha relación entre la rentabilidad del proyecto y el nivel de producción del sistema hidropónico. Cabe aclarar que el 100% de ocupación en este escenario ya considera una reducción del 10% debido a posibles desperdicios en la producción total. Esto significa que, bajo condiciones óptimas y con altos rendimientos, el sistema podría generar un volumen de producción superior al estimado en este análisis. Sin embargo, este rendimiento máximo no puede confirmarse hasta que el sistema entre en operación y se validen los resultados en la práctica.

El análisis de sensibilidad muestra que el proyecto es financieramente viable únicamente en los escenarios de producción al 100% y 98%. En el nivel de producción del 100%, el VAN alcanza ₡550 279,70, mientras que la TIR es de 33,08%. Estos indicadores reflejan un margen de rentabilidad sólido. Además, el PRIM es de 4,40 años, lo que asegura un retorno relativamente rápido. En el escenario del 98%, aunque los resultados disminuyen, el VAN (₡103 539,32) y la TIR (14,39%) todavía confirman la rentabilidad del proyecto, con un PRIM de 4,91 años.

Por otro lado, el punto de equilibrio del proyecto se alcanza al 97,54% de la capacidad de producción. En este escenario, el VAN es prácticamente neutro, con un valor de ₡789,03, y la TIR alcanza el 11,62%, justo al nivel de la tasa mínima aceptable. El PRIM se extiende a 5 años, lo que muestra un retorno más lento, pero suficiente para cubrir los costos operativos y de capital.

En demás escenarios, correspondientes al 94% y 92% de la producción, el proyecto se torna financieramente inviable. El VAN presenta valores negativos de ₡-789 941,44 y ₡-1 236 681,82, respectivamente, y las TIR de -2,40% y -7,37% están por debajo de la tasa mínima aceptable, lo que confirma que el proyecto no generaría beneficios. Además, el PRIM se alarga a 5,67 y 6,05 años, pero estos resultados no serían sostenibles en términos financieros.

En conclusión, el proyecto es rentable únicamente en niveles de producción iguales o superiores al 97,54%, mientras que cualquier disminución por debajo de este porcentaje compromete la viabilidad económica del proyecto.

4.12.3. Escenario 3: variación en el porcentaje de financiamiento por parte de la entidad bancaria.

A través de consultas con un ejecutivo de BN Pymes del BNCR, se determinó que el financiamiento promedio para un proyecto de banca de desarrollo es de un 70 % u 80 % de la inversión inicial, pero en el caso de este proyecto, un financiamiento tan alto en un horizonte de proyecto tan corto, representaría que no sea rentable. Con base en esto, se plantearon cinco sub escenarios con diferentes porcentajes de financiamiento, comenzando en 80 % y reduciendo 10% en cada uno, para evaluar la rentabilidad del proyecto.

Tabla 50: Escenario 3: variación en el porcentaje de financiamiento.

Porcentaje de financiamiento (%)	Monto total (€)	TIR (%)	VAN (€)	PRIM (años)
80	25 593 721,49	3,82	-1 707 200,70	5,2
70	22 394 506,30	4,91	-1 142 830,60	5,17
60	19 195 291,12	6,86	-78 460,50	5,12
50	15 996 075,93	11,41	-14 090,40	5,00
40	12 796 860,74	33,08	550 279,70	4,53

En la tabla 50, se puede observar que a medida que el porcentaje de financiamiento disminuye, hay una reducción de los intereses de la deuda y, en consecuencia, aumenta la rentabilidad del proyecto. Esto se refleja en un incremento tanto en la Tasa Interna de Retorno (TIR) como en el Valor Actual Neto (VAN) conforme el porcentaje financiado disminuye.

Este comportamiento demuestra que, si bien una menor dependencia del financiamiento reduce los recursos brindados por el banco, mejora los indicadores financieros, lo que hace al proyecto más rentable en términos económicos. Sin embargo, es importante considerar que una reducción del financiamiento implica la necesidad de mayores recursos propios, lo que podría representar un desafío dependiendo de la capacidad financiera de los propietarios del proyecto.

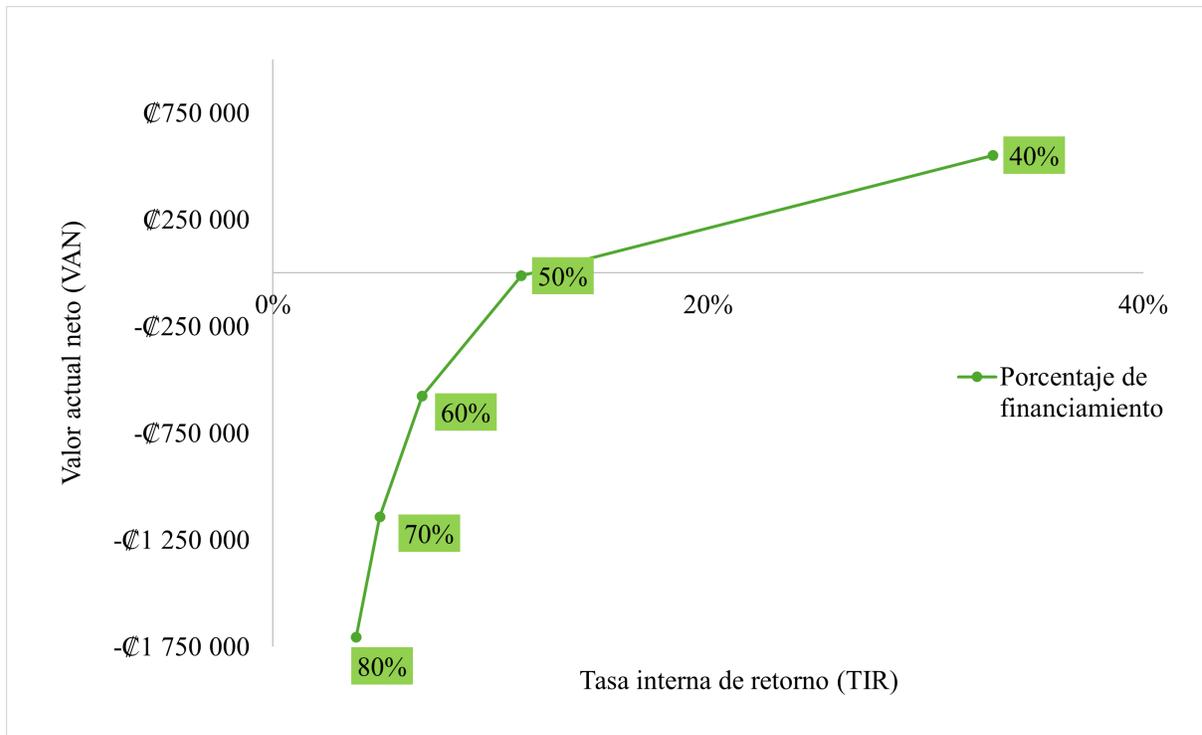


Fig 36: Comportamiento según variación de porcentaje de financiamiento bancario.

En la figura 36 se evidencia que el VAN es negativo cuando el porcentaje de financiamiento supera aproximadamente el 50%, indicando pérdidas en esas condiciones. Conforme el financiamiento disminuye al 40%, el VAN se torna positivo, reflejando un aumento en la rentabilidad del proyecto. Asimismo, se aprecia una relación directa entre la disminución del financiamiento y un incremento progresivo en la TIR, lo que confirma una mejora en los indicadores financieros a medida que se reduce la dependencia del crédito bancario.

4.12.4. Escenario 4: variación en la tasa crediticia.

Este escenario se basa en la variación de la tasa de interés bancaria aplicada en el financiamiento solicitado. Se analizaron los porcentajes mostrados en la tabla 51, con el fin de estudiar tasas de interés menores y mayores que la establecida para el análisis financiero del proyecto, equivalente a 11,90%.

Tabla 51: Tasas de interés evaluadas.

Tasas (%)	Entidad
6,00	INDER
8,00	BNCR
12,00	BNCR
14,00	BNCR
16,00	BNCR

Los datos de la tabla 51, son algunas de las tasas de interés del año en curso de Banca de Desarrollo y la tasa única del INDER [79]. En este escenario, se generaron variaciones en el flujo de caja con estas tasas de interés, para conocer el comportamiento según el porcentaje que la entidad bancaria solicitaría como retorno por el crédito.

Tabla 52: Variaciones de TIR, VAN y PRIM para escenario 4

Tasas de interés (%)	TIR (%)	VAN (€)	PRIM (años)
6,00	232,25	1 923 988,90	3,36
8,00	154,28	1 465 107,70	3,75
12,00	31,88	526 485,80	4,55
14,00	13,06	47 186,30	4,96
16,00	0,21	-438 485,30	5,37

Los resultados obtenidos muestran una relación inversa entre la tasa de interés y los indicadores financieros del proyecto. Cuando la tasa de interés disminuye, los flujos de efectivo se descuentan a una tasa menor. Esto incrementa el VAN, ya que el proyecto genera un excedente mayor en

términos de valor actual sobre la inversión inicial. Por el contrario, si la tasa de interés aumenta, los flujos pierden valor, disminuyendo el VAN y reduciendo la rentabilidad del proyecto.



Fig 37: Comportamiento según variación de tasas de interés bancario.

La TIR también aumenta cuando la tasa de interés es menor. Esto ocurre porque el proyecto se percibe como más rentable, ya que los beneficios generados superan con mayor margen los costos del proyecto. Finalmente, el PRIM, también disminuye a medida que la tasa de interés baja. Esto se debe a que los flujos descontados adquieren mayor peso, permitiendo que el proyecto recupere la inversión en un menor plazo.

En resumen, la reducción de la tasa de interés mejora significativamente los indicadores financieros del proyecto, haciéndolo más atractivo al aumentar el VAN y la TIR, y al reducir el PRIM. Estos resultados destacan la importancia de obtener un financiamiento con tasas competitivas para maximizar la rentabilidad y reducir el riesgo asociado al proyecto.

5. Conclusiones

- El diseño del sistema hidropónico NFT se realizó considerando tanto las condiciones espaciales del invernadero como las características ambientales específicas del sitio. En cuanto a los costos, el sistema estructural se presupuestó en ₡6 858 409,57, incluyendo materiales, mano de obra y un margen para imprevistos. Por su parte, el sistema hidráulico, que comprende tuberías, bombas, válvulas, reservorios y elementos de automatización para el riego, tuvo un costo estimado de ₡526 690,29.
- Se propusieron tres mezclas que permiten a los propietarios del centro turístico cultivar una amplia variedad de productos hortícolas para consumo y venta. Fue necesario separar las soluciones nutritivas debido a los diferentes requerimientos nutricionales de las plantas seleccionadas, lo cual causó, un aumento en los costos de producción al requerir elementos químicos específicos y sistemas hidráulicos individuales.
- El estudio de mercado evidenció que la población vecina valora la calidad y los beneficios para la salud de las hortalizas hidropónicas, mostrando disposición a pagar precios más altos en comparación con las hortalizas de producción convencional. Esto confirma el potencial comercial del proyecto pese a los costos más elevados de producción.
- El análisis de rentabilidad del proyecto indica que, en un horizonte de cinco años, la rentabilidad mínima se logra cuando el porcentaje de financiamiento bancario corresponde al 40 % de la inversión inicial. Asimismo, la variación del porcentaje de producción del sistema, no permite una reducción mayor al 3 % sin afectar significativamente la rentabilidad del proyecto.
- La rentabilidad del proyecto depende del porcentaje de financiamiento bancario, siendo viable únicamente con niveles iguales o inferiores al 40 %, donde los indicadores financieros muestran resultados positivos. Asimismo, conforme las tasas de interés bancario sean menores, los indicadores financieros arrojan resultados más rentables.

6. Recomendaciones

- Se considera necesario el uso de las válvulas y llaves diseñadas para la limpieza regular de los canales y tuberías estipulados en el diseño hidráulico, los cuales se colocaron para el mantenimiento adecuado del sistema y la prevención de obstrucciones que puedan afectar el flujo de la solución nutritiva.
- Se recomienda la implementación de sistemas de monitoreo, para el control de pH, conductividad eléctrica (CE) y temperatura del agua, los cuales posean sistemas de alarma ante la presencia de cambios en los rangos ideales.
- Es necesario realizar análisis de laboratorio previos al inicio de la producción con el objetivo de evaluar las características químicas del agua y de los fertilizantes utilizados. Estos análisis permiten evaluar la estabilidad de los compuestos químicos en las condiciones evaluadas para el desarrollo del proyecto.
- Se sugiere la construcción de una bodega para almacenar los productos químicos, la cual cuente con ventilación, y poca exposición solar, para procurar alargar la vida útil de los productos. Además, se plantea la necesidad de ubicar la misma lejos de espacios húmedos.
- Es deseable que se incorporaren sistemas de ventilación en el invernadero, iniciando por la opción de ventanas cenitales, con el fin de garantizar una circulación de aire óptima, además del equilibrio en la temperatura y humedad del sistema.
- Previo a la implementación del sistema, se considera necesario un proceso de capacitación, para aprender el manejo del sistema hidropónico. La cual se puede obtener mediante entidades tales como en INA y la UCR, así mismo, mediante asesorías contratadas con expertos.
- Se sugiere la implementación de un sistema de bombeo en serie independiente para cada subpirámide, en lugar de un único sistema compartido. Esto permitiría una distribución más uniforme de la solución nutritiva, un mejor control del caudal en cada sección del sistema y una mayor eficiencia operativa. Además, reduciría el impacto de fallas en el suministro y facilitaría el mantenimiento sin afectar la totalidad del sistema.

-
- En cuanto al estudio de mercado, se plantea el desarrollo de un estudio de mercado para turistas extranjeros que visiten el hotel, para conocer sus preferencias en el consumo de hortalizas y tener una opinión más amplia con relación al mercado meta.

7. Referencias

- [1] Y. S. Goh, Y. C. Hum, Y. L. Lee, K. W. Lai, W.-S. Yap e Y. K. Tee, “A meta-analysis: Food production and vegetable crop yields of hydroponics”. *Scientia Horticulturae*, vol. 321, pp. 112-339, 2023, ISSN: 0304-4238. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.112339>.
- [2] C. Baxevanou, D. Fidaros, C. Papaioannou y N. Katsoulas, “Design and Optimization of a Hybrid Solar-Wind Power Generation System for Greenhouses”. *Horticulturae*, vol. 9, no. 2, pp. 181, Feb. de 2023. DOI: [10.3390/horticulturae9020181](https://doi.org/10.3390/horticulturae9020181).
- [3] C. Wang, H. Zou, S. Du, D. Huang y R. Wang, “Water and heat recovery for greenhouses in cold climates using a solid sorption system”. *Energy*, vol. 270, pp. 126-919, May. de 2023. DOI: [10.1016/j.energy.2023.126919](https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.126919).
- [4] Organización de las Naciones Unidas, “Objetivos y Metas de Desarrollo Sostenible”. *Organización de las Naciones Unidas*, 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>.
- [5] R. S. Velazquez-Gonzalez, A. L. Garcia-Garcia, E. Ventura-Zapata, J. D. O. Barceinas-Sanchez y J. C. Sosa-Savedra, “A Review on Hydroponics and the Technologies Associated for Medium- and Small-Scale Operations”. *Agriculture*, vol. 12, no. 5, abr. de 2022. DOI: [10.3390/agriculture12050646](https://doi.org/10.3390/agriculture12050646).
- [6] M. Kannan, G. Elavarasan, A. Balamurugan, B. Dhanusiya y D. Freedon, “Hydroponic farming – A state of art for the future agriculture”. *Materials Today: Proceedings*, vol. 68, pp. 2163-2166, nov. de 2022. DOI: [10.1016/j.matpr.2022.08.416](https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.08.416).
- [7] M. Silberbush, J. Ben-Asher y J. Ephrath, “A model for nutrient and water flow and their uptake by plants grown in a soilless culture”. *Plant Soil*, vol. 271, pp. 309-319, 2005. DOI: [10.1007/s11104-004-3093-z](https://doi.org/10.1007/s11104-004-3093-z).
- [8] J. Méndez y F. Paniagua, “Comportamiento agronómico de *Capsicum annuum* L., *Lycopersicon esculentum* M. y *Cucumis melo* L. bajo cultivo protegido hidropónico utilizando la solución universal de Steiner”, *Repositorio TEC*, May. de 2015, Proyecto de grado, Escuela de Agronomía. [En línea]. Disponible en: https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/6413/comportamiento_agronomico_capsicum_annuum.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

-
- [9] C. Bambang Dwi Kuncoro, A. Moch Bilal Zaenal y A. Amaris, “Development of an Automation System for Nutrient Film Technique Hydroponic Environment”. *Atlantis Press*, pp. 437-443, nov. de 2021. DOI: 10.2991/aer.k.211106.069.
- [10] B. Dunn y A. Shrestha. “Hydroponics.” (ene. de 2013), [En línea]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/280235408_Hydroponics.
- [11] N. Sharma, S. Acharya, K. Kumar, N. Singh y O. Chaurasia, “Hydroponics as an advanced technique for vegetable production: An overview”. *Journal of Soil and Water Conservation*, vol. 17, pp. 364-371, ene. de 2019. DOI: 10.5958/2455-7145.2018.00056.5.
- [12] A. Zubek, “NFT hydroponics: Mastering the nutrient film technique”. *WhyFarmIt*, Ago. de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://whyfarmit.com/nft-hydroponics/>.
- [13] M. Maliqa, K. Junaid Nazir, A. S. Qazi Muneeb, M. Khalid Z, A. Baseerat y P. Saqib, “Evaluation of hydroponic systems for the cultivation of Lettuce (*Lactuca sativa* L., var. Longifolia) and comparison with protected soil-based cultivation”. *Agricultural Water Management*, vol. 245, pp. 106-110, 2020. DOI: 10.1016/j.agwat.2020.106572.
- [14] E. J. García Herrera, A. Gómez González, A. Alvarado Chávez y A. Amante Orozco, “Sistemas hidropónicos piramidal y vertical para producción intensiva de fresa”. *Agro-Divulgación*, vol. 4, pp. 105-110, 2024. DOI: <https://doi.org/10.54767/ad.v4i4.360>.
- [15] D. Savvas y N. Gruda, “Application of soilless culture technologies in the modern greenhouse industry”, *European Journal of Horticultural Science*, vol. 83, no. 5, pp. 280-293, nov. de 2018. DOI: 10.17660/eJHS.2018/83.5.2.
- [16] M. A. Rogers, “Organic Vegetable Crop Production in Controlled Environments Using Soilless Media”. *HortTechnology Hortte*, vol. 27, no. 2, pp. 166-170, abr. de 2017. DOI: 10.21273/HORTTECH03352-16.
- [17] F. Calvo Calderón y A. L. Guzmán Sancho, “Sistema hidropónico en seco para pequeñas o medianas producciones”. *Repositorio Tecnológico de Costa Rica*, 2010. [En línea]. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/60989216.pdf>.
- [18] G. C. Orlando Barrientos, “Región Huetar Norte oferta exportada actual y oferta potencial de productos agropecuarios alternativos”, *MAG*, 2008. [En línea]. Disponible en: <https://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/E71-10543.pdf>.
-

-
- [19] Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica. “El clima, su variabilidad y cambio climático en Costa Rica.” (2008), [En línea]. Disponible en: <http://cglobal.imn.ac.cr/documentos/publicaciones/CambioClimatico/climaVariabilidadCambioClimaticoCR.pdf>.
- [20] C. Ramírez y A. Alfaro, “Red de colaboración en horticultura protegida de la Región Huetar Norte”, *Repositorio TEC*, 2020. [En línea]. Disponible en: https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/13220/Red_colaboraci%C3%B3n_en_horticultura...pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- [21] Á. Matías De La Cruz y L. E. Moctezuma López, “Diseño de red para un sistema hidropónico”, *Tesis de Licenciatura*, 2009. [En línea]. Disponible en: <http://tesis.ipn.mx:8080/xmlui/handle/123456789/2599>.
- [22] P. Macedo, E. Lopes, M. Lopes, F. Sala y C. Souza, “Macronutrient cycling in hydroponic lettuce cultivation”. *Revista Ambiente y Agua*, vol. 17, no. 5, pp. 2849, 2022. DOI: 10.4136/ambi-agua.2849.
- [23] A. M. Moaed Ali, “Nutrient Solution for Hydroponics”. *IntechOpen*, nov. de 2022. DOI: 10.5772/intechopen.101604.
- [24] S. Nxawe, P. Ndakidemi y C. Laubscher, “Possible effects of regulating hydroponic water temperature on plant growth, accumulation of nutrients and other metabolites”. *African Journal of Biotechnology*, vol. 9, no. 54, 2010. [En línea]. Disponible en: <https://www.ajol.info/index.php/ajb/article/view/125748>.
- [25] E. Sanchez, T. Ford, R. Berghage, F. Di Gioia y F. Nick, “Hydroponics Systems: Nutrient Solution Programs and Recipes” *PennState Extension*, Mar. de 2024. [En línea]. Disponible en: https://extension.psu.edu/sistemas-hidroponicos-programas-y-recetas-de-soluciones-nutritivas?utm_source=chatgpt.com.
- [26] L. A. Tobar, “La investigación aplicada a los estudios de mercado”. *Realidad Reflexión*, pp. 1-12, Feb. de 2019. DOI: 10.5377/ryr.v50i50.9040.
- [27] S. Orjuela Córdova y P. Sadoval Medina, “Guía del estudio de mercado para la evaluación de proyectos”, *Universidad de Chile., Facultad de Economía y Negocios*, 2002. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/108139>.
-

-
- [28] P. Kotler y K. Lane Keller, "*Marketing Management*", 15.^a ed. Pearson, 2015, ISBN: 978-1-292-09271-3.
- [29] N. Sapag, R. Sapag y J. M. Sapag, *Preparación y evaluación de proyectos*, 6ta. México: McGraw-Hill Education, 2014, ISBN: 978-607-15-1144-7.
- [30] W. Andía, "Indicador de Rentabilidad de Proyectos: el Valor Actual Neto (VAN) o el Valor Económico Agregado (EVA)". *Industrial Data*, vol. 14, pp. 15, Mar. de 2014. DOI: 10.15381/idata.v14i1.6204.
- [31] M. R. Mete, "Valor actual neto y tasa de retorno: su utilidad como herramientas para el análisis y evaluación de proyectos de inversión". *Fides Et Ratio*, vol. 7, pp. 67-85, Mar. de 2014. [En línea]. Disponible en: http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2071-081X2014000100006&nrm=iso.
- [32] G. Baca Urbina, *Evaluación de Proyectos*. . McGraw Hill Education, 2013, vol. 7, ISBN: 978-607-15-0922-2. [En línea]. Disponible en: https://www.academia.edu/40847864/Evaluacion_de_Proyectos_7ma_Ed_Gabriel_Baca_Urbina.
- [33] Recreo Verde, "Nuestra Historia". *Recreo Verde*, 2005. [En línea]. Disponible en: <https://recreoverde.com/nuestra-historia/>.
- [34] Instituto Meteorológico Nacional. "Estación Automática Las Delicias en San Carlos, Alajuela." (Sep. de 2023), [En línea]. Disponible en: <https://www.imn.ac.cr/especial/estacionDelicias.html>.
- [35] G. Quesada Roldan, "Producción de Chile Dulce en Invernadero Bajo Diferentes Niveles de Agotamiento en la Humedad del Sustrato." *Agron. Costarricense*, vol. 39, no. 1, 2015, ISSN: 0377-9424. [En línea]. Disponible en: https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0377-94242015000100002.
- [36] Consejo Nacional de Producción. "Precios Hortofrutícolas Semanales – PAI." (2013), [En línea]. Disponible en: https://www.cnp.go.cr/pai/precios/2023/PS_PAI_Semana_45_03_al_09-11-2023.pdf.
- [37] Statista, *Tasa de inflación en Costa Rica 2020-2023*, <https://es.statista.com/estadisticas/1190003/tasa-de-inflacion-costa-rica/>, 2024.

-
- [38] M. Sibomana, T. Seyoum Workneh y K. Audain, “A review of postharvest handling and losses in the fresh tomato supply chain: a focus on Sub-Saharan Africa” *Food Security*, vol. 8, pp. 389-404, Mar. de 2016. DOI: 10.1007/s12571-016-0562-1.
- [39] M. Valentin, R. Casnor, J. Fanwa y V. Dangan, “Design and Fabrication of a Pyramid-Type Plant Bed Hydroponics of Romaine Lettuce Production under Lowland Condition”. *CLSU International Journal of Science and Technology*, vol. 2, Dic. de 2017. DOI: 10.22137/ijst.2017.v2n2.01.
- [40] AMANCO WAVIN, “Centro de Descargas”, *Wavin*, 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.wavin.com/es-cr/centro-de-descargas-costa-rica>.
- [41] Metalco, “Tubería Industrial”, *Metalco*, Dic. de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://metalco.net/tuberia-industrial/>.
- [42] M. Rodríguez, *Entrevista sobre costos de construcción*, Entrevistado: Gibert Rodríguez, Entrevista personal, ene. de 2024.
- [43] N. V. Curcio, “Manual de Buenas Prácticas de manejo para la producción de hortalizas orgánicas”. *Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA)*, pp. 120, 2019. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.iica.int/bitstream/handle/11324/8176/BVE19040288e.pdf>.
- [44] Instituto Nacional de Aprendizaje, “Procedimientos para preparar Soluciones Hidropónicas”, *Instituto Nacional de Aprendizaje*, Ago. de 2020. [En línea]. Disponible en: <https://www.ina-pidte.ac.cr/course/view.php?id=690§ion=6>.
- [45] F. Soto Bravo, “Hidroponía familiar en sustrato: hágalo fácil sembrando hortalizas, cosechando salud.”, *MAG/UCR*, pp. 60, 2015. [En línea]. Disponible en: <https://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/F01-10809.pdf>.
- [46] L. P. Brenes Peralta, “Manual de producción hidropónica para hortalizas de hoja en sistemas NFT (Nutrient Film Technique)”. *Editorial Tecnológica de Costa Rica*, pp. 27, 2016. [En línea]. Disponible en: <https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/6581/manual-hidroponia-NFT.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- [47] D. Mateus Contreras, C. Gutiérrez, L. Moreno y B. Pallares, “Automatización de un cultivo hidropónico”, *Revista colombiana de tecnologías de avanzada (RCTA)*, vol. 2, pp. 54-59, Jul. de 2023. DOI: 10.24054/rcta.v2i38.1307.

-
- [48] J. C. Duarte Mora, “Eficiencia de uso de agua y nutrientes en el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum*) hidropónico bajo invernadero en Alajuela, Costa Rica”, *Tesis de licenciatura, Esc Agronomía., Univ. de Costa Rica, San José*, 2019. [En línea]. Disponible en: <https://kerwa.ucr.ac.cr/bitstream/handle/10669/85371/Tesis%20final%20JCD.pdf?sequence=1>.
- [49] EcoPlus. “EcoPlus Eco 1267 Fixed Flow Submersible/Inline Pump.” (2024), [En línea]. Disponible en: <https://hydrobuilder.com/ecoplus-fixed-flow-submersible-inline-pumps.html>.
- [50] M. A. Zaráte, “Manual de Hidroponía”. *Instituto de Biología*, 2014. [En línea]. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/232367/Manual_de_hidroponia.pdf.
- [51] BN-LINK. “Digital Timer.” (2024), [En línea]. Disponible en: <https://www.bn-link.com/collections/timers/products/bn-link-timer-outlet-short-period-repeat-cycle-intermittent-digital-timer-interval-timer-day-night-or-24-hour-operation-programmable-plug-in-timer-for-appliances-electrical-outlets-15a-1875w?variant=42257973215285>.
- [52] HANNA Instruments. “Agricultura e hidroponía.” (2024), [En línea]. Disponible en: <https://hannainst.cr/categoria/linea/agricultura-e-hidroponia/>.
- [53] Instituto Nacional de Estadística y Censos, “Resultados de estimación de población y vivienda 2022”, *INEC*, Jul. de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://inec.cr/noticias/poblacion-total-costa-rica-5-044-197-personas>.
- [54] V. Duque. “La Influencia de las mujeres en las compras en América Latina.” (2024), [En línea]. Disponible en: <https://americasmi.com/insights/tendencias-consumo-mujeres-america-latina/>.
- [55] A. Matias, “Diseño del formato de escalas tipo Likert: un estado de la cuestión”. *Scielo*, vol. 20, no. 1, pp. 38-47, 2018. [En línea]. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1607-40412018000100038&lng=es&nrm=iso.
- [56] A. Villalobos Monge y L. Chacón Sánchez, “Caracterización del consumo de hortalizas en las familias del sur-sur de Costa Rica”, *Agronomía Mesoamericana*, vol. 24, no. 1, pp. 37-46, 2013. [En línea]. Disponible en: https://www.mag.go.cr/rev_mesov24n01_037.pdf.

-
- [57] H. P. Talancón, “La matriz foda: alternativa de diagnóstico y determinación de estrategias de intervención en diversas organizaciones”, *Enseñanza e investigación en psicología*, vol. 12, no. 1, pp. 113-130, 2007. [En línea]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/292/29212108.pdf>.
- [58] M. E. Porter, “Competitive Strategy: Techniques for Analyzing Industries and Competitors”. *New York: Free Press*, 1980. [En línea]. Disponible en: <https://inec.cr/noticias/poblacion-total-costa-rica-5-044-197-personas>.
- [59] Programa Integral de Mercadeo Agropecuario. “Boletín Precios PIMA.” (2024), [En línea]. Disponible en: <https://gee.bccr.fi.cr/indicadoreseconomicos/Cuadros/frmVerCatCuadro.aspx?idioma=1&CodCuadro=%2017>.
- [60] T. C. Rangaswamy, S. Sridhara, N. Ramesh et al, “Assessing the impact of higher levels of CO2 and temperature and their interactions on tomato (*Solanumlycopersicum* L.)”, *Plants*, vol. 10, no. 2, 2021. DOI: 10.3390/plants10020256.
- [61] M. Maboko, C. D. Plooy e I. Bertling, “Comparative performance of tomato cultivars cultivated in two hydroponic production systems”. *South African Journal of Plant and Soil*, vol. 28, no. 2, pp. 97-102, 2011. DOI: 10.1080/02571862.2011.10640019.
- [62] M. L. Richardson y C. G. Arlotta, “Producing Cherry Tomatoes in Urban Agriculture”. *Horticulturae*, vol. 8, no. 4, 2022. DOI: 10.3390/horticulturae8040274.
- [63] H. S. Grewal, B. Maheshwari y S. E. Parks, “Water and nutrient use efficiency of a low-cost hydroponic greenhouse for a cucumber crop: An Australian case study”. *Agricultural Water Management*, vol. 98, no. 5, pp. 841-846, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2010.12.010>.
- [64] I. Simko, R. J. Hayes, B. Mou y J. D. McCreight, “Lettuce and Spinach”, en *Yield Gains in Major U.S. Field Crops*, Capítulo 4, 2014. DOI: <https://doi.org/10.2135/cssaspecpub33.c4>.
- [65] C. Ramírez Vargas, “Extracción de nutrientes, crecimiento y producción del cultivo de Pepino bajo sistema de cultivo protegido hidropónico”. *Tecnología en Marcha*, vol. 32, pp. 107-117, Mar. de 2019. DOI: 10.8845/tm.v32.i1.4122..
- [66] M. Camacho, K. Arauz, N. Barboza, H. A. Martínez y J. Arias, “Caracterización de productores de hortalizas orgánicas distribuidas en la Gran Área Metropolitana (GAM), Cos-

-
- ta Rica”. *Agronomía Costarricense*, vol. 39, pp. 389-404, 2015, ISSN: 0377-9424 / 2015. [En línea]. Disponible en: http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0377-94242015000200131&lng=en&nrm=iso%3E..
- [67] Ministerio de Trabajo y Seguridad Social. “Lista de Salarios Mínimos.” (2024), [En línea]. Disponible en: https://www.mtss.go.cr/temas-laborales/salarios/Documentos-Salarios/lista_salarios_2024.pdf.
- [68] Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos. “Tarifas de Comercios y Servicios e Industrias.” (May. de 2024), [En línea]. Disponible en: <https://aresep.go.cr/electricidad/tarifas/>.
- [69] R. Salazar Moreno, A. Rojano Aguilar e I. L. López Cruz, “La eficiencia en el uso del agua en la agricultura controlada. Tecnología y ciencias del agua”. *Scielo*, nov. de 2014. [En línea]. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222014000200012&lng=es&tlng=es..
- [70] Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos. “Tarifas vigentes de agua potable.” (May. de 2024), [En línea]. Disponible en: <https://aresep.go.cr/agua-potable/tarifas/>.
- [71] G. Alpízar, A. Vargas y Ugalde, “Determinación de la tasa de descuento para evaluar la rentabilidad de un emprendimiento local de secado de frutas y vegetales”. *Repositorio TEC*, 2017. [En línea]. Disponible en: https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/9170/Determinacion_tasa_descuento_evaluar_rentabilidad_emprendimiento_local_secado_frutas_vegetales.pdf?sequence=1.
- [72] Banco Central de Costa Rica. “Tasas de interés de subasta BEM tasa fija.” (2003), [En línea]. Disponible en: <https://gee.bccr.fi.cr/indicadoreseconomicos/Cuadros/frmVerCatCuadro.aspx?idioma=1&CodCuadro=%20711>.
- [73] L. Losilla Solano, “Estudio de prefactibilidad para la producción de jugo clarificado de mora orgánica, utilizando el caso de APROCAM en la agrocadena de mora orgánica en Costa Rica”, *Tesis de licenciatura, Esc. de Economía Agrícola y Agronegocios., Univ. de Costa Rica, San José*, 2009. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr/handle/123456789/3070>.

-
- [74] Ministerio de Hacienda. “Métodos y Porcentajes de Depreciación.” (2024), [En línea]. Disponible en: http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_articulo.aspx?Valor1=1&nValor2=7241&nValor3=95599&nValor5=211987.
- [75] Novagric. “Invernaderos multitúnel, capilla y tropical en Costa Rica.” (2024), [En línea]. Disponible en: <https://novagric.com/proyecto/invernaderos-multitunel-capilla-y-tropical-en-costa-rica/>.
- [76] Imprenta Nacional. “Acta de la Sesión Extraordinaria de la Comisión de Apoyo al Comité Técnico de la Ley de Contratación Administrativa.” (2021), [En línea]. Disponible en: https://www.imprentanacional.go.cr/pub/2021/10/20/ALCA213_20_10_2021.pdf.
- [77] Statista. “Evolución anual de la tasa de inflación en Costa Rica desde 2015 hasta 2029.” (2024), [En línea]. Disponible en: <https://es.statista.com/estadisticas/1190003/tasa-de-inflacion-costa-rica/>.
- [78] Ministerio de Hacienda. “Impuestos sobre la renta.” (2023), [En línea]. Disponible en: <https://www.hacienda.go.cr/docs/CP150HACI.pdf#:~:text=Tasa%20de%20impuesto%20aplicable%20Los%20primeros%20cinco%20millones,mil%20colones%20%28%20C2%A28.643.000%20C00%29%20de%20renta%20neta%20anual.%2010%25>.
- [79] INDER. “Crédito Rural.” (2024), [En línea]. Disponible en: https://www.inder.go.cr/servicios/credito_rural.aspx.
- [80] Edifarm. “Oligomix.” (2018), [En línea]. Disponible en: https://gestion.edifarm.com.ec/edifarm_quickagro/pdfs/productos/OLIGOMIX-20181018-120508.pdf?utm_source=chatgpt.com.
- [81] Eloy Molina, M.Sc. “Preparación de soluciones nutritivas para fertirriego.” (2018), [En línea]. Disponible en: https://www.cia.ucr.ac.cr/sites/default/files/2021-09/10%20PREPARACION%20FERTILIZANTES%20PARA%20FERTIRRIEGO%202018.pdf?utm_source=chatgpt.com.

8. Anexos

8.1. Anexo A: Diseño estructural

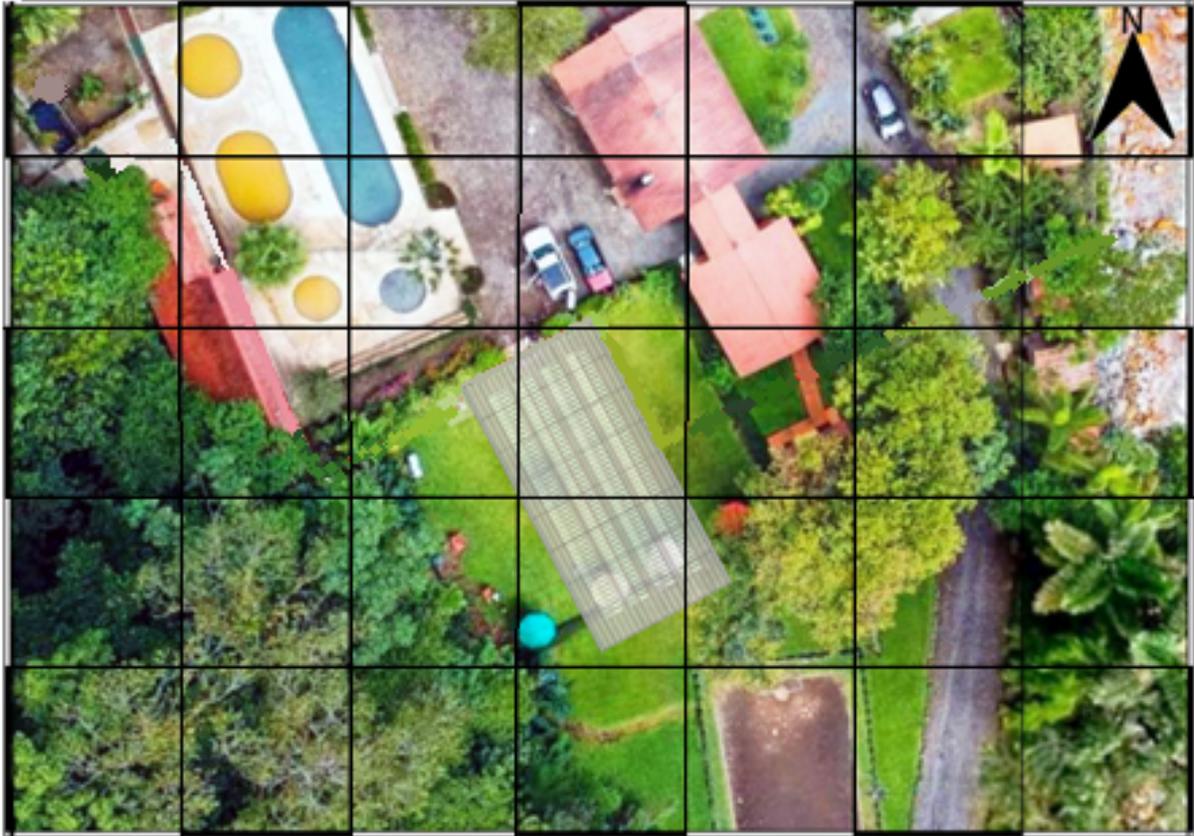


Fig 38: Ubicación del sistema en sitio.

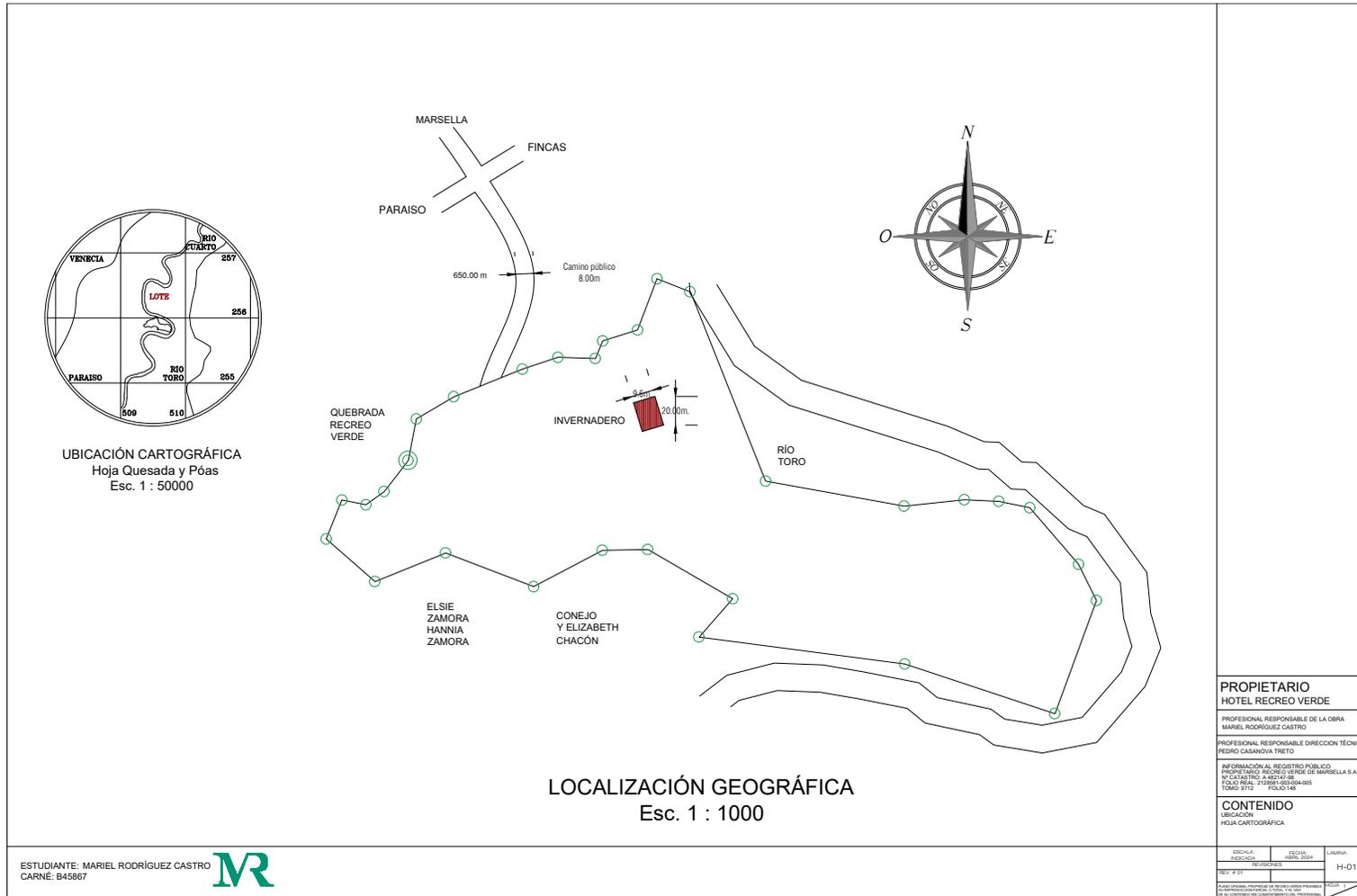


Fig 39: Localización y ubicación cartográfica.

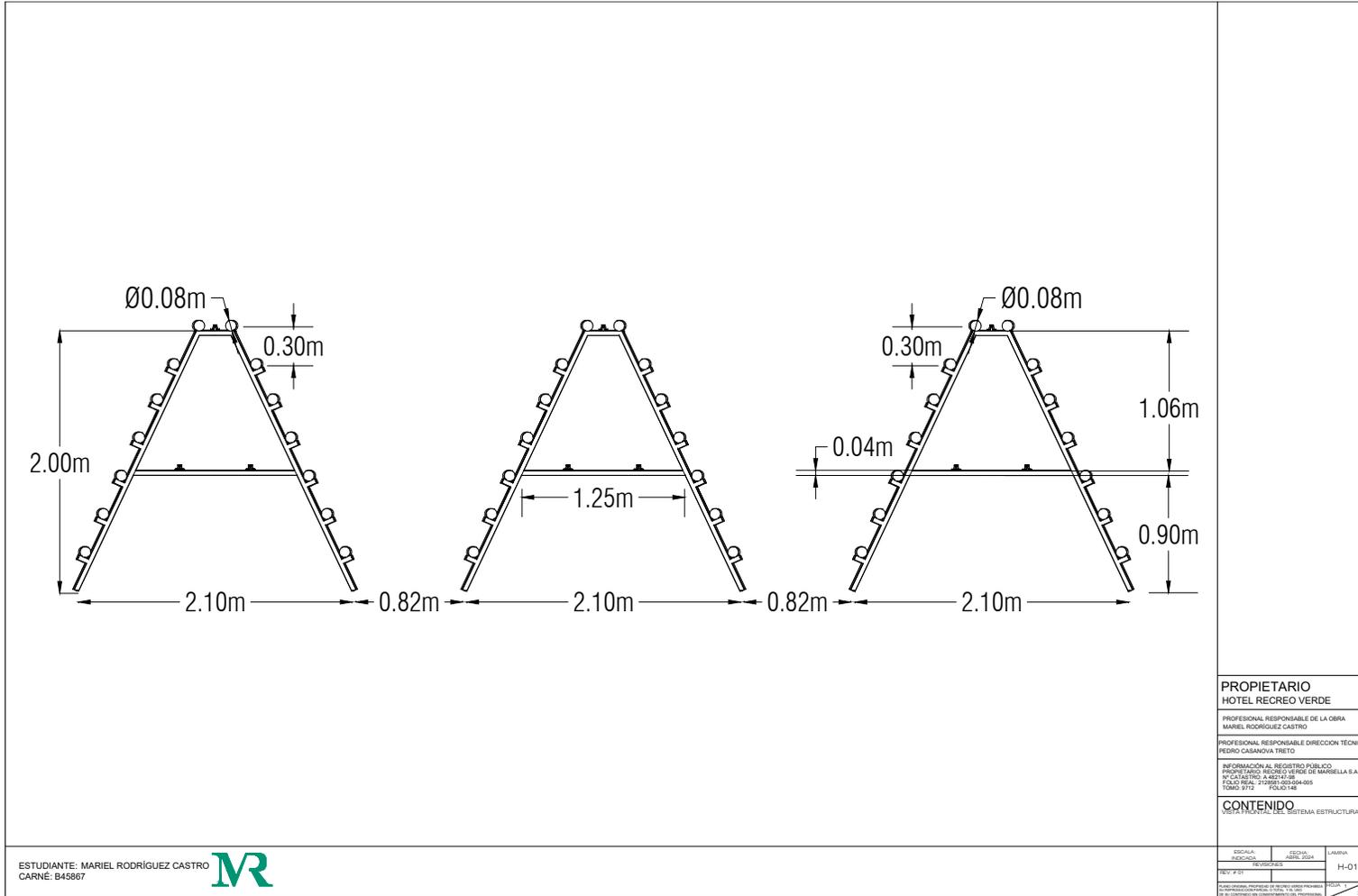


Fig 40: Vista frontal del sistema estructural.

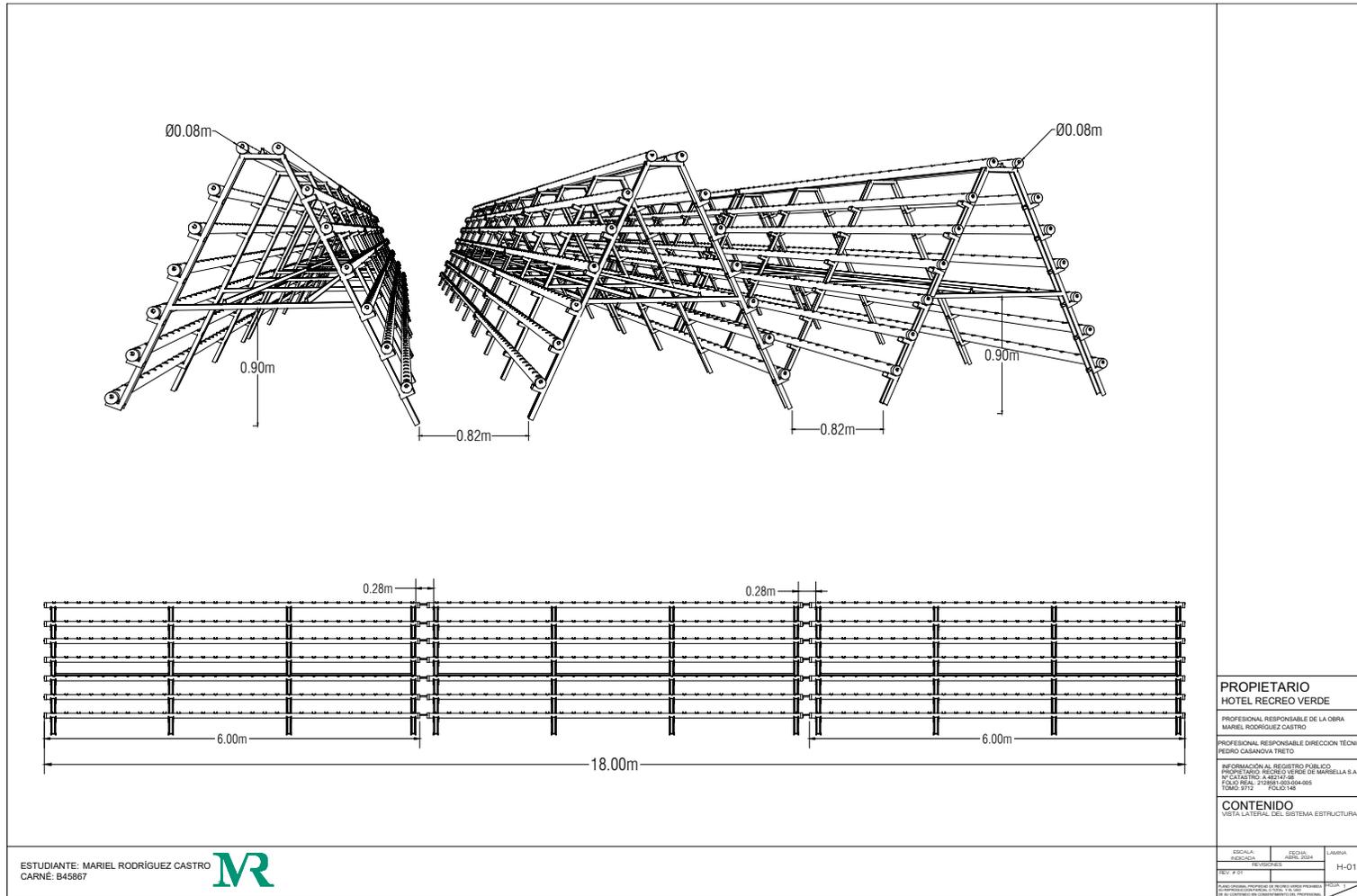
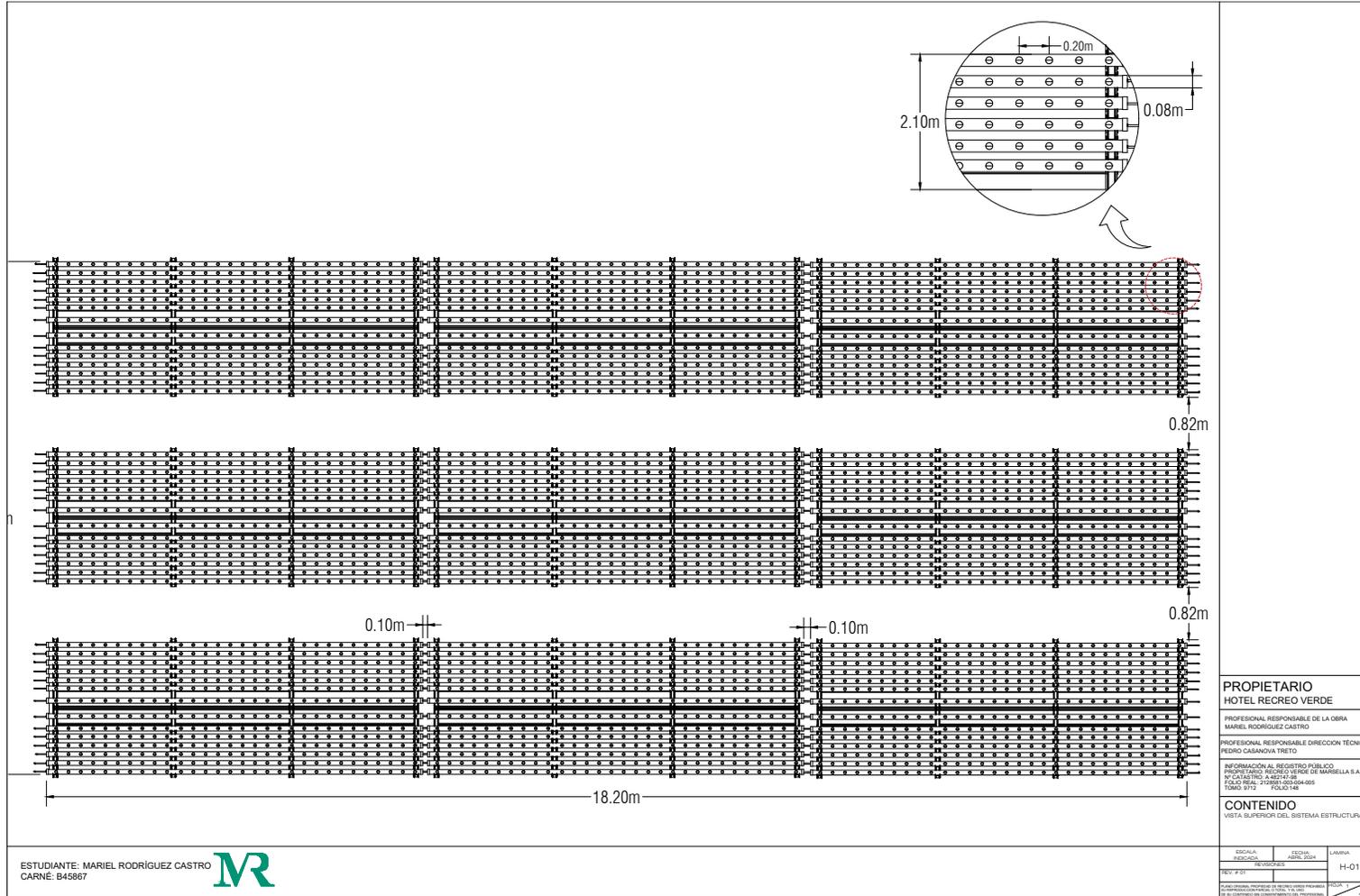


Fig 41: Vista lateral del sistema estructural.



PROPIETARIO HOTEL RECREO VERDE		
PROFESIONAL RESPONSABLE DE LA OBRA MARIEL RODRIGUEZ CASTRO		
PROFESIONAL RESPONSABLE DIRECCION TECNICA PEDRO CASANOVA TRETO		
INFORMACION AL REGISTRO PUBLICO PROPIETARIO: HOTEL RECREO VERDE DE MARSELLA S.A. OF. CALLE RECREO, ALZAR 10-100 FOLIO REAL: 21-2225-000348485 TOMO: 9712 FOLIO: 148		
CONTENIDO VISTA SUPERIOR DEL SISTEMA ESTRUCTURAL		
ESCALA: MEDICAL	FECHA: ABRIL 2024	LÁMINA: H-01
REV: # 01	PROYECTOS	BOLETIN
AUTORIZACION PORQUELLO DE SU REV. 1000 PROYECTOS		BOLETIN: 1
DE SU RESPONSABILIDAD PROFESIONAL, TITULO REGISTRADO		4

Fig 42: Vista superior del sistema estructural.

ESTUDIANTE: MARIEL RODRIGUEZ CASTRO
CARNE: B45867



8.2. Anexo B: Diseño hidráulico

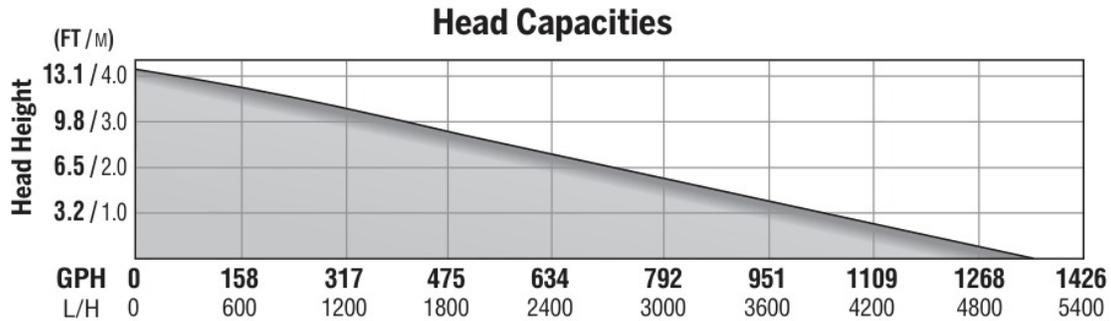


Fig 43: Curva de rendimiento del equipo de bombeo [49].

8.2.1. Cálculo de pérdidas del sistema

A continuación se presenta el desarrollo de las fórmulas para determinar las pérdidas hidráulicas del sistema:

$$h_f = \frac{10,67 \cdot 4,05 \text{ m} \cdot 3,33e - 5^{1,85}}{150^{1,85} \cdot 0,0127^{4,87} \text{ m}} \quad (9)$$

$$h_f = 3,54e - 02 \text{ m} \quad (10)$$

Conociendo la cantidad de accesorios presentes en el sistema hidráulico, se calcularon las pérdidas por accesorios, siendo estos cuatro codos de 90 grados.

$$h_l = 0,9 \cdot \frac{2,70e - 07^2}{2 \cdot 9,81} \quad (11)$$

$$h_l = 1,29e - 12 \text{ m} \quad (12)$$

La sumatoria de las alturas y pérdidas del sistema resulta en 2,44 m, resultado mediante el cual se puede determinar que la bomba cumple con este requisito, debido a su capacidad de levante de 4,10 m.

8.2.2. Cálculo de espacio libre en reservorios de almacenamiento

Para determinar la altura libre en el reservorio de almacenamiento se realizaron los siguientes cálculos:

- Volumen = 130 L
- Altura = 80 cm
- Radio: r (m)
- Área: A (m²)

$$r = \sqrt{\frac{130}{\pi \cdot 80}} \quad (13)$$

$$r = 0,564 \text{ m}$$

$$A = \pi \cdot r^2 \quad (14)$$

$$A = 0,994 \text{ m}^2$$

$$h = 80 - \frac{130}{0,994 \text{ m}^2} \quad (15)$$

$$\begin{aligned} h &= 80 - \frac{130}{A} \\ &= 0,8 \text{ m} - \frac{130 \text{ L}}{0,994 \text{ m}^2} \\ &= 19,7 \text{ cm} \end{aligned}$$

8.2.3. Rénderes del sistema hidráulico

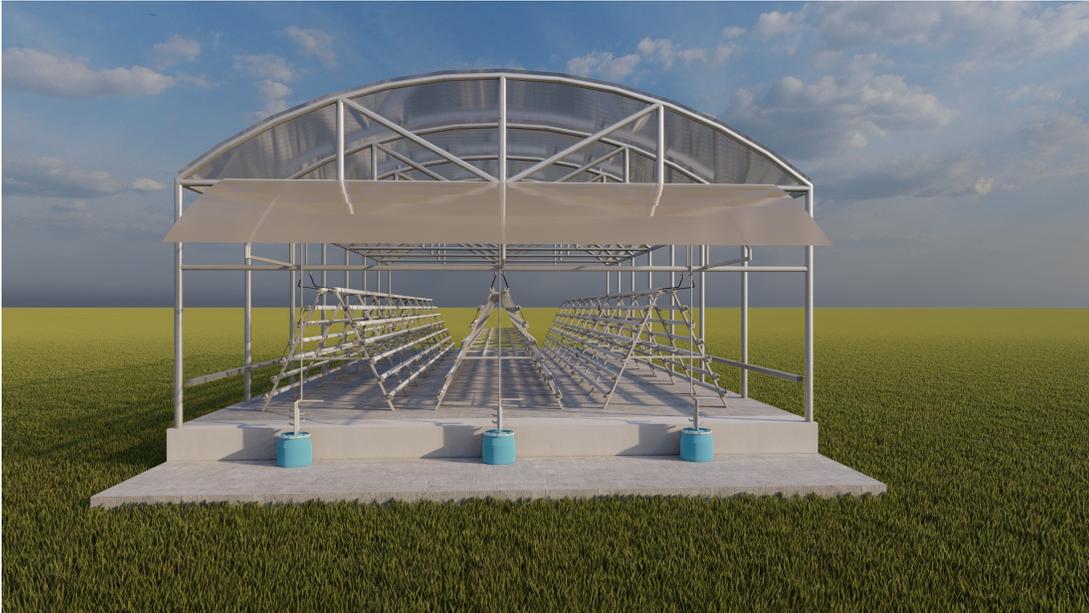


Fig 44: Vista frontal del sistema hidráulico.

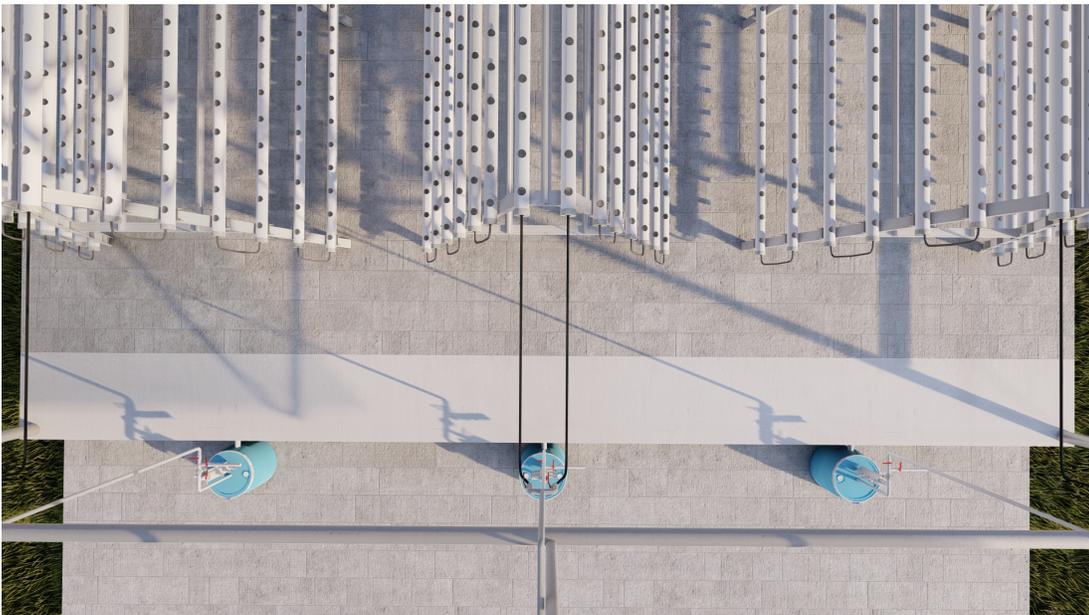


Fig 45: Vista superior del sistema de alimentación hidráulica.

8.3. Anexo C: Soluciones nutritivas

Tabla 53: Composición química de 1 kg de Oligomix [80].

Elemento	p/p (%)
Boro (B)	1.2
Molibdeno (Mo)	0.1
Hierro (Fe)	4.0
Manganeso (Mn)	1.5
Cobre (Cu)	0.1
Zinc (Zn)	2.0
Óxido de Magnesio (MgO)	4.0

Con la siguiente tabla se estipularon las solubilidades de los elementos químicos de las soluciones nutritivas, para determinar si el proceso de dilución se podía elaborar, como se estipuló en la sección: Soluciones nutritivas [81], [80].

Tabla 54: Solubilidad de los elementos químicos de las soluciones nutritivas.

Elemento	Solubilidad a 20 °C (g/L)
Fosfato monopotásico	227
Nitrato de potasio	316
Sulfato de magnesio	356
Sulfato de potasio	111
Oligomix	200
Ácido bórico	500
Quelato de hierro	60
Nitrato de calcio	1 294

8.4. Anexo D: Estudio de mercado

Para determinar el tamaño de la muestra se utilizó el procedimiento de muestreo planteado por Baca [32].

$$\eta = \frac{(1,96^2) \cdot (0,5) \cdot (1 - 0,5) \cdot (198,742)}{((5^2) \cdot (198,742 - 1)) + (1,96)^2 \cdot (0,5) \cdot (1 - 0,5)} \quad (16)$$

$$\eta = 384 \quad (17)$$

Donde:

N: 198,742 personas

Z: 1,96 derivados de un 95 % de confianza

p: 0,5

q: 0,5

E: 5 %

Opiniones y Tendencias en el Consumo de Hortalizas

La siguiente encuesta se realiza como una herramienta para desarrollar un estudio de rentabilidad para el Trabajo Final de Graduación de Licenciatura en Ingeniería Agrícola y de Biosistemas, titulado:

Diseño de sistema hidropónico basado en técnica NFT, para un ambiente controlado en Hotel Recreo Verde en Venecia de San Carlos.

No se solicitará información sensible como nombre, correo electrónico o número de teléfono.

Duración aproximada es de 3 minutos

**Indica que la pregunta es obligatoria.*

1. ¿Cuál es su género? *

Marca solo un óvalo.

- Femenino
- Masculino
- Prefiero no indicarlo

2. ¿Cuál es su rango de edad? *

Marca solo un óvalo.

- 20 a 30
- 30 a 40
- 40 a 50
- 50 a 60
- 60 a 70

3. ¿De cuál distrito es usted habitante? *

Marca solo un óvalo.

- Ciudad Quesada
- Florencia
- Buenavista
- Aguas Zarcas
- Venecia
- Pital
- La Fortuna
- La Tigra
- La Palmera
- Venado
- Cutris
- Monterrey
- Pocosol

4. ¿Con qué frecuencia compra hortalizas? *

Marca solo un óvalo.

- Todos los días
- 2 a 3 veces por semana
- 1 vez por semana
- Cada 15 días
- 1 vez al mes
- Nunca

5. ¿Dónde realiza la compra de estos productos? *

Marca solo un óvalo.

- Feria del agricultor
- Supermercado
- Verdulería
- Pulpería
- Otros: _____

6. ¿Cuál es su grado de satisfacción con los productos que adquiere en estos establecimientos? *

Marca solo un óvalo.

- 1 2 3 4 5
-
- Muy Muy satisfecho

7. ¿Qué es lo que más influye en su decisión de compra de hortalizas? *

Marca solo un óvalo.

- Precio
- Origen
- Aspecto
- Tamaño
- Color
- Higiene

8. Del siguiente listado, ¿cuáles productos consume con frecuencia? *

Selecciona todas las opciones que correspondan.

- Lechuga
- Culantro
- Tomate
- Albahaca
- Perejil
- Chile dulce
- Acelga
- Pepino
- Tomate cherry

9. ¿Cuánto considera compra de cada producto de manera semanal? *

Marca solo un óvalo por fila.

	1 - 2 kg	2 - 3 kg	3 - 4 kg	4 - 5 kg	No compra
Lechuga	<input type="radio"/>				
Tomate	<input type="radio"/>				
Acelga	<input type="radio"/>				
Pepino	<input type="radio"/>				
Tomate cherry	<input type="radio"/>				

10. ¿Cuánto considera compra de cada producto de manera semanal? *

Marca solo un óvalo por fila.

	1 - 2 rollos	2 - 3 rollos	3 - 4 rollos	1 - 2 unidades (Chile)	2 - 3 unidades (Chile)	No compra
Culantro	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Albahaca	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Perejil	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Chile dulce	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

11. ¿Considera usted la salud como un factor relevante durante la compra de hortalizas? *

Marca solo un óvalo.

Si

No

12. ¿Cuál es el rango de precio en el que usted compra estos productos? *

Marca solo un óvalo por fila.

	₡100 a ₡500	₡500 a ₡1000	₡1000 a ₡2000	₡2000 a ₡3000	No compra
Lechuga (kg)	<input type="radio"/>				
Culantro (rollo)	<input type="radio"/>				
Tomate (kg)	<input type="radio"/>				
Albahaca (rollo)	<input type="radio"/>				
Perejil (rollo)	<input type="radio"/>				
Chile dulce (unidad)	<input type="radio"/>				
Acelga (kg)	<input type="radio"/>				
Pepino (kg)	<input type="radio"/>				
Tomate cherry (kg)	<input type="radio"/>				

13. ¿Compraría usted los anteriores productos si estos fueran orgánicos? *

Marca solo un óvalo.

Sí

No

Productos orgánicos

14. ¿En cuál rango de precio estaría dispuesto a comprar estos productos de origen orgánicos? *

Marca solo un óvalo por fila.

	¢500 a ¢1000	¢1000 a ¢2000	¢2000 a ¢3000	¢3000 a ¢4000
Lechuga (kg)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Culantro (rollo)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Tomate (kg)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Albahaca (rollo)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Perejil (rollo)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Chile dulce (unidad)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Acelga (kg)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Pepino (kg)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Tomate cherry (kg)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

8.5. Anexo D: Análisis técnico-financiero

A continuación se presenta el cálculo del capital de trabajo en el año cero del proyecto, mediante el método de periodo de desfase [29].

$$ICT = \frac{Ca}{365} * nd \quad (18)$$

Ca: Costo anual (₡)

nd: Número de días de desfase

$$ICT = \frac{₡7017348,75}{365} * 120\text{días} \quad (19)$$

$$ICT = ₡7017348,75 \quad (20)$$