

UNIVERSIDAD NACIONAL DE RAFAELA

FACULTAD DE TECNOLOGÍAS E INNOVACIÓN PARA EL DESARROLLO



GESTIÓN DE LA TECNOLOGÍA

“Gestión tecnológica para el escalamiento de sistemas hidropónicos inteligentes: Estudio de viabilidad técnica y económica en el mercado regional de Rafaela”

Autor: Giusta, José Ignacio

Docente: López, Mariel

Rafaela

Fecha 18 Diciembre 2025

ÍNDICE

Resumen.....	4
Glosario.....	5
Introducción.....	7
Antecedentes de la Hidroponía.....	8
Objetivo General.....	9
Objetivos Específicos.....	9
Evaluar la Factibilidad Técnica.....	9
Evaluar la Factibilidad Operativa.....	9
Evaluar la Factibilidad Financiera.....	9
Metodología del Proyecto.....	10
Marco Teórico.....	11
Definición y Fundamentos de la Hidroponía.....	11
Tipos de Sistemas Hidropónicos Modulares.....	12
a) Sistema de Goteo (Drip System).....	12
b) Nutrient Film Technique (NFT).....	13
c) Deep Water Culture (DWC) o Cultivo en Agua Profunda.....	14
Componentes Clave de un Sistema Hidropónico.....	17
Solución Nutritiva.....	17
Sustratos.....	19
Beneficios de la Hidroponía.....	24
Beneficios en la Alimentación y la Salud.....	24
Beneficios Económicos y de Ahorro de Recursos.....	24
Beneficios Sociales y Educativos.....	24
Desafíos de la Hidroponía Doméstica y Modular.....	25
Requerimientos de Conocimientos y Curva de Aprendizaje.....	25
Inversión Inicial y Costos Asociados.....	25
Dependencia y Gestión de Suministros.....	26
Desafíos Operacionales Específicos.....	26
Análisis de Factibilidad Técnica.....	26
Especificaciones de diseño y Dimensiones de los módulos.....	27
Densidad de Plantas por Metro Cuadrado.....	27
Sistema DWC (Deep Water Culture).....	28
Sistema NFT (Nutrient Film Technique).....	28
Componentes Claves y Equipamientos.....	28
Canales y Recipientes.....	28
Bombas y Sistemas de Oxigenación.....	29
Sensores y Monitoreo.....	29

Análisis de Factibilidad Operativa.....	30
Rendimiento y Capacidad Productiva.....	31
Análisis de Factibilidad Financiera.....	33
Inventario de Componentes para Factibilidad Financiera.....	33
Inversión Inicial: Sistema NFT (Nutrient Film Technique).....	33
Inversión Inicial: Sistema DWC (Deep Water Culture).....	34
Herramientas y Monitoreo (Inversión Inicial Compartida).....	35
Insumos Recurrentes (Costo por Ciclo/Anual).....	36
Costos de Inversión Inicial (CAPEX).....	37
Costos Operativos Recurrentes (OPEX).....	40
Análisis de Rentabilidad.....	42
Análisis de Rentabilidad Anual.....	42
Sistema NFT (Nutrient Film Technique).....	43
Sistema DWC (Deep Water Culture).....	43
Proyección de Flujo de Caja (Sistema NFT).....	44
Plan de Escalabilidad y Expansión.....	45
Unidad de Negocio 1: Raíces confiables KITS.....	46
Estructura de costos y precios.....	48
Punto de Equilibrio (PE).....	50
Estrategia de venta y gestión de inventarios.....	51
Unidad de Negocio 2: Raíces Tech - Academia y Monitoreo Inteligente.....	56
Conclusiones.....	59
Anexo.....	60
Resultados de la Investigación de Mercado.....	60
Tabla I: Distribución de Encuestados por Localidad y Género.....	61
Tabla II: Interés en Recibir Capacitación o Asesoramiento.....	61
Tabla III: Factores Clave de Decisión de Compra.....	62
Bibliografía.....	64

Resumen

El presente Trabajo Final de Grado desarrolla un análisis de factibilidad para la creación y expansión de un emprendimiento dedicado a la hidroponía urbana inteligente en la ciudad de Rafaela. Ante la creciente demanda de alimentos seguros y la escasez de espacio y tiempo en entornos urbanos, se propone un modelo de negocio híbrido que integra la fabricación de sistemas físicos modulares con un ecosistema de soporte digital y formación técnica. Los resultados confirman que la viabilidad del proyecto no reside únicamente en la eficiencia del hardware, sino en la capacidad de reducir la curva de aprendizaje del usuario, transformando un producto tecnológico en una solución de consumo masivo escalable.

Glosario

Se presenta un glosario conciso de los términos técnicos y financieros clave utilizados a lo largo del documento para facilitar la comprensión del lector no especializado.

Término	Definición Concisa
Hidroponía	Técnica de cultivo sin suelo donde las plantas crecen en una solución acuosa que contiene todos los nutrientes esenciales.
Módulo	Unidad estructural mínima y funcional del sistema hidropónico (e.g., el canal de NFT o el contenedor de DWC).
NFT (<i>Nutrient Film Technique</i>)	Técnica hidropónica que consiste en hacer circular una fina película de solución nutritiva sobre las raíces de las plantas, dentro de canales o tubos.
DWC (<i>Deep Water Culture</i>)	Técnica hidropónica donde las raíces de las plantas están sumergidas permanentemente en un gran volumen de solución nutritiva y se oxigenan mediante una bomba de aire.
Solución Nutritiva	La mezcla de agua y sales minerales disueltas que proporciona a la planta todos los elementos esenciales para su crecimiento.
pH	Medida que indica el nivel de acidez o alcalinidad de la solución nutritiva. Es crucial para que la planta pueda absorber los nutrientes.

EC (<i>Conductividad Eléctrica</i>)	Medida que determina la concentración total de sales disueltas (nutrientes) en la solución. Se utiliza para monitorear la "fuerza" de la solución.
CAPEX (<i>Capital Expenditure</i>)	Costos de Inversión Inicial. Hace referencia a los desembolsos necesarios para adquirir activos fijos o equipos antes de iniciar la operación.
OPEX (<i>Operating Expenditure</i>)	Costos Operativos Recurrentes. Hace referencia a los gastos continuos necesarios para mantener el sistema en funcionamiento (ej. insumos, energía).
Payback (<i>Periodo de Recuperación</i>)	Indicador financiero que calcula el tiempo necesario para que el Flujo de Caja generado por el proyecto iguale la Inversión Inicial (CAPEX).

Introducción

La agricultura moderna se enfrenta a desafíos sin precedentes en el siglo XXI. La creciente demanda de alimentos a nivel global, impulsada por el aumento demográfico, choca con realidades como el cambio climático, la escasez de recursos naturales (especialmente agua y tierra cultivable), y la expansión urbana que limita el espacio productivo. En este panorama, la búsqueda de soluciones innovadoras que permitan aumentar la producción de manera sostenible y con tiempos optimizados es crucial para garantizar la seguridad alimentaria y la resiliencia de los sistemas productivos.

En este contexto, la hidroponía emerge como una solución agrícola de vanguardia con el potencial de transformar la producción de alimentos, especialmente en entornos urbanos. La capacidad de cultivar plantas sin suelo, utilizando soluciones nutritivas controladas, ofrece ventajas significativas en términos de eficiencia hídrica, uso vertical del espacio y reducción de la necesidad de pesticidas. En particular, para una ciudad como Rafaela, donde la dinámica demográfica y productiva muestra un continuo crecimiento de la densidad urbana y un proceso de industrialización sostenido (ICEDEL, 2024), la implementación de proyectos hidropónicos cobra una relevancia especial. Además, la creciente preocupación por prácticas sostenibles y la presencia de una importante población estudiantil proveniente de zonas rurales aledañas a la ciudad, con potencial interés en nuevas tecnologías agrícolas, configuran un escenario propicio para la adopción y el desarrollo de estas alternativas.

La elección de este proyecto, centrado en la factibilidad de la hidroponía en Rafaela, se justifica no solo por su pertinencia para el desarrollo sostenible de la ciudad, sino también por su significancia en la evaluación de soluciones tecnológicas innovadoras. La investigación sobre la viabilidad de proyectos en este ámbito permite aplicar y profundizar conocimientos en la evaluación de la viabilidad económica, técnica y operativa de soluciones tecnológicas innovadoras. Este análisis proporcionará herramientas fundamentales para la toma de decisiones informadas sobre la adopción de tecnologías agrícolas alternativas y sostenibles, fortaleciendo el perfil profesional en un sector clave para el futuro de la producción de alimentos a escala domiciliaria.

Antecedentes de la Hidroponia

Para entender bien de dónde viene este proyecto, hay que tener claro algo clave: el cultivo hidropónico no es una moda millennial ni una tecnología futurista, sino que, en realidad, tiene raíces que preceden al cultivo tradicional en tierra, según destacan Beltrano y Gimenez (2015). Es increíble pensar que esta técnica, tan esencial para nuestra tesis modular, tiene una historia que se remonta a la Antigüedad.

En el 600 a. C., el Rey Nabucodonosor II construyó los famosos Jardines Colgantes de Babilonia como un tributo a su esposa Amytis, quien añoraba el paisaje montañoso de su Media natal. Aunque quizás no fue concebido bajo el término actual, este monumental proyecto, considerado una de las Siete Maravillas del Mundo Antiguo, se sustentaba en un complejo sistema de riego que elevaba el agua del río Éufrates, permitiendo el crecimiento de árboles y rosales en terrazas sin depender del riego tradicional de superficie (Beltrano & Gimenez, 2015). Estos jardines se mantuvieron operativos junto al palacio real hasta el 126 a. C.

Más allá de Babilonia, existen referencias que indican el uso de técnicas similares en otras grandes civilizaciones. Matos (2011) menciona que tanto los Jardines Flotantes de China como los rústicos esquemas de cultivo desarrollados por los antiguos egipcios a orillas del río Nilo, aprovechando sus inundaciones nutritivas, se consideran precursores directos de los sistemas hidropónicos.

En el continente americano, la civilización Azteca fue pionera en el uso de la hidroponía como estrategia de supervivencia. Ante la escasez de tierra impuesta por vecinos más poderosos, los aztecas se vieron obligados a establecerse a orillas del lago Tenochtitlán. Para asegurar su subsistencia y cultivar vegetales, frutas y flores, desarrollaron una técnica ingeniosa: las Chinampas (Beltrano & Gimenez, 2015).

Las Chinampas consistían en balsas ancladas, construidas con cañas y palos, sobre las cuales se colocaba tierra excavada del fondo del lago. Esta tierra era excepcionalmente rica en residuos orgánicos y nutrientes. El sistema de Chinampas, que llegó a ocupar gran parte del lago Xochimilco y alcanzó su máxima expresión en el siglo XVI, fue un sistema de cultivo flotante altamente productivo. Los conquistadores españoles quedaron maravillados al observar estas "islas de verduras" suspendidas sobre el agua. El historiador William Prescott caracterizó a las Chinampas como "asombrosas islas de verduras, que se mueven como las balsas sobre el agua" (citado en Beltrano & Gimenez, 2015).

Estos antecedentes históricos demuestran que la hidroponía es una solución recurrente y probada a lo largo de la historia, utilizada para maximizar la producción de alimentos cuando los recursos terrestres son limitados.

Objetivo General

Determinar la viabilidad técnica, operativa y económica para el lanzamiento y escalamiento de un modelo de negocio basado en sistemas hidropónicos modulares, mediante el diseño de una estructura de gestión integral que combine la comercialización de hardware automatizado con una plataforma de servicios digitales y capacitación, orientada a garantizar la sostenibilidad productiva en el mercado regional.

Objetivos Específicos

Analizar la factibilidad de generar una huerta hidropónica modular en la ciudad de Rafaela.

Evaluar la Factibilidad Técnica

- Investigar y comparar los modelos de sistema hidropónicos modulares más adecuados para la producción en el contexto de Rafaela.
- Identificar los requerimientos de insumos como lo son semillas, soluciones nutritivas, sustratos, energía, agua y equipamientos tecnológicos para los sistemas seleccionados.

Evaluar la Factibilidad Operativa

- Describir los procesos operativos clave para la gestión diaria de un cultivo hidropónico modular, incluyendo siembra, monitoreo de nutrientes, cosecha y mantenimiento.
- Analizar las capacidades de gestión y mano de obra requeridas para la operación eficiente del sistema.

Evaluar la Factibilidad Financiera

- Estimar la inversión necesaria para la adquisición del sistema hidropónico modular.
- Calcular los costos operativos recurrentes, tales como insumo, energía, mano de obra, mantenimiento y distribución en la ciudad de Rafaela.
- Realizar un análisis de rentabilidad (VAN, TIR, Período de recupero de la Inversión), para determinar la viabilidad económica del proyecto.

Metodología del Proyecto

El presente estudio se centrará en analizar la factibilidad de implementar huertas hidropónicas urbanas modulares destinadas a residencias en la ciudad de Rafaela, Santa Fe, y sus localidades aledañas. Para ello, se emplea un enfoque mixto, combinando metodologías cualitativas y cuantitativas, con énfasis en la evaluación técnica, operativa y financiera.

1. Investigación Preliminar y Recopilación de Datos Secundarios:

La fase inicial consistirá en una investigación exploratoria y documental. Se llevará a cabo una revisión bibliográfica especializada en:

- Tecnologías hidropónicas modulares: Sistemas de cultivo sin suelo, diseño de módulos adaptados para uso residencial, y mejores prácticas para el autocultivo en espacios urbanos reducidos.
- Ventajas y desafíos de la hidroponía doméstica: Facilidad de uso, mantenimiento, eficiencia de recursos y producción en pequeña escala.
- Conceptos Claves: Información sobre proveedores de semillas, nutrientes hidropónicos, sustratos y equipamiento modular adecuado para el uso residencial.

Los datos secundarios obtenidos de esta etapa serán fundamentales para contextualizar el proyecto, comprender el estado del arte de la hidroponía residencial y sustentar los análisis posteriores.

2. Análisis de Factibilidad (Técnica, Operativa y Financiera):

Para obtener una comprensión profunda de la demanda y las preferencias específicas del público objetivo, se procederá a la recopilación de datos primarios a través de una encuesta (Link: <https://forms.gle/ZY6x7QksUehAGmZb6>) dirigida a los residentes de Rafaela y ciudades aledañas. Esta encuesta se enfocará en:

- Interés en el autocultivo: Medir la predisposición a iniciar o mantener una huerta propia, especialmente con técnicas innovadoras.
- Conocimiento y percepción de la hidroponía: Evaluar el nivel de familiaridad con el método hidropónico y sus beneficios (calidad, ausencia de pesticidas, eficiencia).
- Necesidades y expectativas: Identificar el tipo de vegetales que les gustaría cultivar, el espacio disponible en sus hogares, el tiempo que estarían dispuestos a dedicar y las expectativas sobre el rendimiento.
- Factores de decisión de compra: Determinar qué aspectos son más valorados al considerar la adquisición de un sistema hidropónico modular para el hogar (precio del sistema, facilidad de instalación, mantenimiento, soporte técnico, ahorro a largo plazo).
- Disposición a la inversión: Estimar el rango de precios que los potenciales usuarios estarían dispuestos a pagar por un kit modular completo y por los insumos recurrentes.

Los datos primarios recabados a través de esta encuesta serán esenciales para validar la demanda real del producto, adaptar el diseño de los módulos y establecer una estrategia comercial acorde a las necesidades del consumidor residencial.

Una vez recopilados y analizados los datos primarios y secundarios, se realizará una evaluación de la factibilidad técnica, operativa y financiera, de acuerdo a los objetivos específicos detallados anteriormente.

Marco Teórico

El propósito de esta sección es ir profundizando en los principios, componentes y tipos de sistemas que hacen de la hidroponía una solución relevante para el análisis de factibilidad en el contexto de Rafaela. Se explorarán los elementos esenciales del cultivo sin suelo, sus diferentes modalidades y las características que lo posicionan como una alternativa viable frente a los desafíos actuales de la producción de alimentos.

Definición y Fundamentos de la Hidroponía

La hidroponía, derivada de las palabras griegas "hydro" (agua) y "ponos" (trabajo), se consolida como un método de cultivo de plantas que prescinde del suelo como medio de soporte. En su lugar, las raíces de las plantas son sumergidas o expuestas a una solución acuosa rica en nutrientes esenciales, disueltos en proporciones y concentraciones controladas.

Según el manual **"La huerta hidropónica popular" de la FAO** (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura), la hidroponía se define como "un método de cultivo de plantas en el cual las raíces se sumergen en una solución acuosa equilibrada de nutrientes esenciales". Este sistema permite a las plantas obtener los nutrientes directamente del agua, eliminando las complejidades y limitaciones asociadas al suelo, como plagas, enfermedades y agotamiento de minerales.

Este enfoque innovador no solo optimiza la absorción de nutrientes, sino que también confiere un control sin precedentes sobre diversos factores ambientales, tales como la luz, la temperatura y la humedad. Como señala Iberdrola, "Los cultivos hidropónicos se basan en una práctica que prescinde de la tierra para sustituirla por una solución de agua enriquecida con nutrientes, entre otras alternativas. Gracias a su escaso uso de recursos, se revela como una opción más sostenible frente a la agricultura tradicional" [\[1\]](#).

El resultado es un crecimiento vegetal más acelerado y eficiente, lo que se traduce en un mayor rendimiento de los cultivos en espacios considerablemente más reducidos. La popularidad de la hidroponía ha escalado debido a su capacidad para maximizar la producción

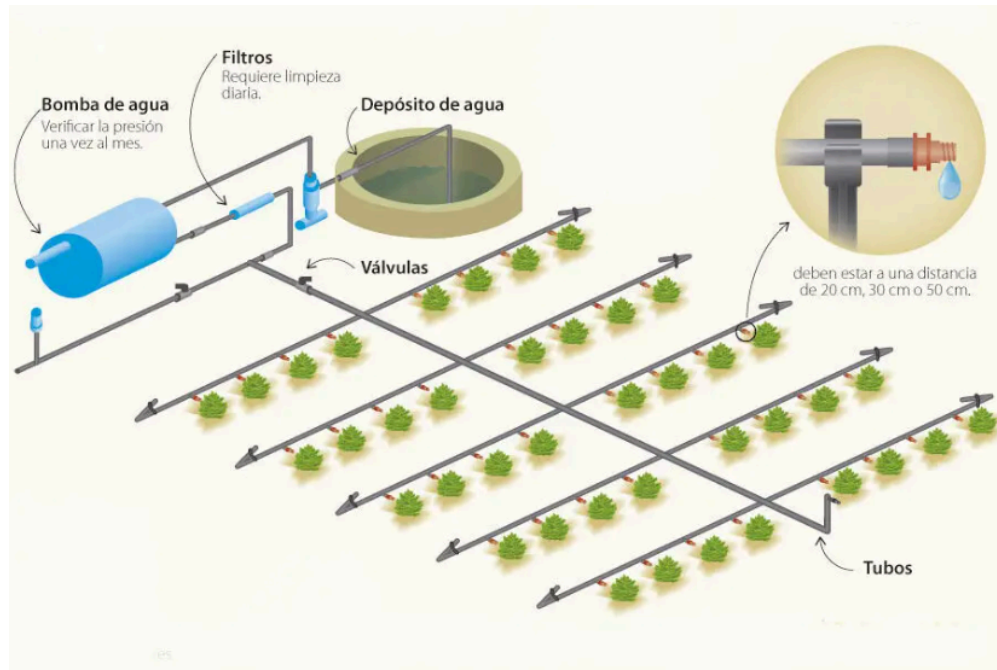
en entornos limitados, reducir el consumo de agua y sortear los problemas inherentes a la degradación o enfermedades del suelo. Además de la ausencia de suelo, los principios fundamentales de la hidroponía incluyen la provisión de nutrientes en solución, la oxigenación de las raíces, el control del pH y la conductividad eléctrica (CE), y la gestión de factores ambientales como la temperatura y la humedad [2]. Estos pilares son cruciales para el éxito y la optimización de cualquier sistema hidropónico.

Tipos de Sistemas Hidropónicos Modulares

La versatilidad de la hidroponía se manifiesta en la diversidad de sistemas disponibles, cada uno con características técnicas, ventajas y desventajas particulares. Para el propósito de este estudio de factibilidad en el desarrollo de un sistema de cultivo hidropónico modular para **hortalizas de hoja** en Rafaela, se propone analizar diferentes modelos de cultivo. Los sistemas modulares se caracterizan por su capacidad de ser escalables y adaptables a diferentes espacios, desde aplicaciones domésticas hasta setups semi-industriales. A continuación, se describen los tipos más relevantes:

a) Sistema de Goteo (Drip System)

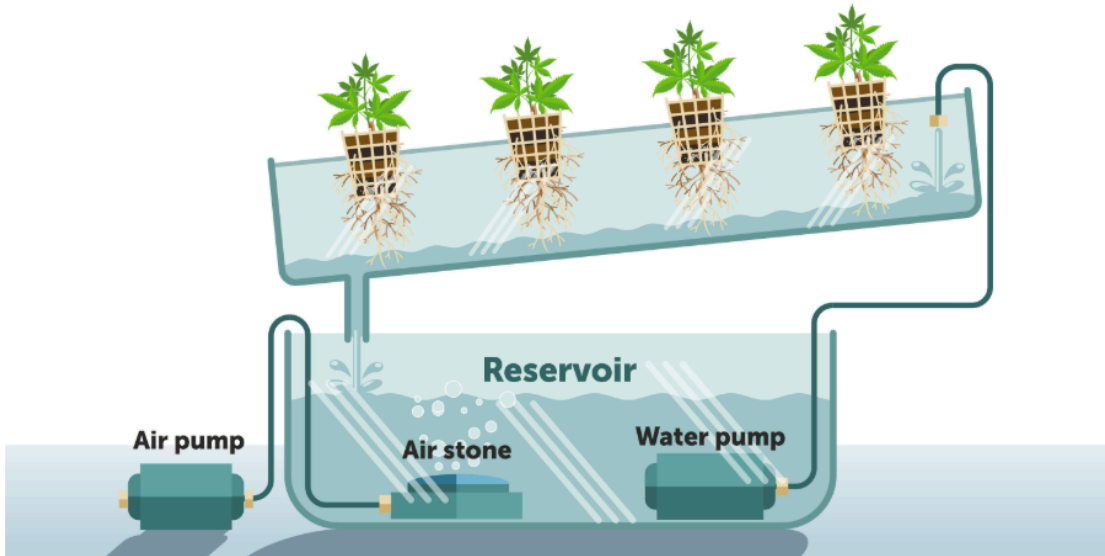
El sistema de goteo hidropónico, similar en concepto al riego por goteo en la agricultura tradicional, se caracteriza por la entrega controlada y precisa de la solución nutritiva directamente a la base de cada planta o a su sustrato. En su modalidad con recuperación, el exceso de solución que no es absorbido por las plantas se recolecta y recircula hacia el depósito principal, lo que optimiza el uso de nutrientes y reduce el desperdicio de agua. Este método es adaptable a una amplia variedad de cultivos y sustratos, aunque requiere un monitoreo constante del pH y la concentración de nutrientes para asegurar la estabilidad de la solución.



[Fig.1 - Sistema de Goteo \(Drip System\)](#)

b) Nutrient Film Technique (NFT)

La Técnica de la Película Nutritiva, comúnmente conocida como NFT, se distingue por el flujo constante de una delgada capa de solución nutritiva sobre las raíces de las plantas, las cuales crecen en canales con una leve inclinación. Las raíces se desarrollan parcialmente sumergidas en esta "película" de nutrientes, mientras que otra parte permanece expuesta al aire, garantizando una oxigenación adecuada. Este sistema es especialmente eficiente para cultivos de ciclo corto y rápido crecimiento, como las **hortalizas de hoja**, debido a su óptima oxigenación radicular y el uso eficiente de la solución. Requiere un monitoreo constante de la bomba y la inclinación de los canales para evitar estancamientos o flujos insuficientes.



[Fig.2 - Nutrient Film Technique \(NFT\)](#)

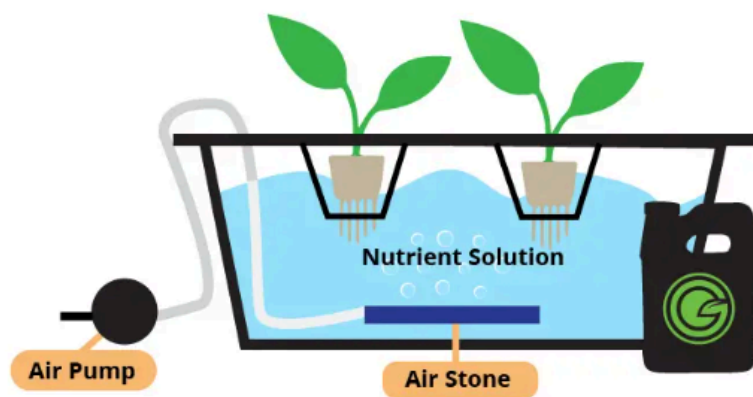
c) Deep Water Culture (DWC) o Cultivo en Agua Profunda

En el sistema DWC, las plantas se suspenden en cestas con sus raíces completamente sumergidas en un depósito de solución nutritiva. La oxigenación de las raíces se logra mediante una bomba de aire y una piedra difusora que burbujean constantemente el agua. Este método es relativamente sencillo de implementar y mantener, y es muy eficaz para cultivos que requieren mucha agua, como lechugas. Su naturaleza modular y la simplicidad en la estructura lo hacen atractivo para proyectos de pequeña y mediana escala.



[Fig. 3 - Deep Water Culture \(DWC\)](#)

DEEP WATER CULTURE (DWC)



[Fig. 4 - Deep Water Culture \(DWC\)](#)

Una vez descritos estos sistemas, se procede a un análisis comparativo detallado de sus **características técnicas, ventajas, desventajas y costos asociados** para determinar

cuáles son los más idóneos para la implementación de un sistema modular de hortalizas de hoja en Rafaela, sentando una base sólida para la **Factibilidad Técnica**.

A continuación, se presenta un cuadro comparativo que resume las características, ventajas, desventajas, adecuación para hortalizas de hoja y nivel de complejidad de los sistemas hidropónicos modulares más relevantes. Este análisis es relevante para la sección de Factibilidad Técnica, ya que permite justificar la elección de los modelos más adecuados para la ciudad.

Criterio / Sistema	Nutrient Film Technique (NFT)	Deep Water Culture (DWC)	Sistema de Goteo (Drip System)
Descripción Breve	Flujo continuo de una delgada capa de solución nutritiva sobre las raíces en canales inclinados.	Raíces completamente sumergidas en solución nutritiva, oxigenada por bomba de aire.	Entrega controlada y localizada de solución a cada planta o sustrato, con o sin recirculación.
Ventajas Clave	Excelente oxigenación radicular; Uso muy eficiente del agua; Crecimiento acelerado y gran productividad; Fácil de automatizar.	Sistema simple y de bajo costo inicial; Buena oxigenación con burbujeo constante; Ideal para plantas con alto consumo de agua.	Versátil para diversos cultivos y sustratos; Permite el uso de sustratos que ofrecen soporte físico; Fácil de escalar y automatizar; Menor riesgo por fallas eléctricas, gracias al sustrato como actor de retención de la solución nutritiva
Desventajas Clave	Vulnerable a cortes de energía, dado que sus raíces se secan rápido; Sensible a fluctuaciones de temperatura, Ph y Ec; Requiere una inclinación específica.	Requiere monitoreo frecuente del Ph y Ec; Mayor volumen de agua y nutrientes; Susceptible a pudrición de raíces si la oxigenación falla	Potencial acumulador de sale si no hay recirculación; Mayor consumo de agua si no recircula; Mayor nivel de mantenimiento; Mayor inversión inicial en sustratos y tuberías

Adecuación para Hortalizas de Hoja	Muy Alta	Alta	Media a Alta
Nivel de Complejidad	Medio	Bajo	Medio
Costo de Implementación (General)	Medio	Bajo	Medio a Alto

Tabla 1: Análisis Comparativo de Sistemas Hidropónicos Modulares

Componentes Clave de un Sistema Hidropónico

Todo sistema hidropónico, sin importar su tipología, requiere de elementos fundamentales para asegurar su funcionamiento adecuado y la nutrición óptima de las plantas. Es fundamental comprender cada uno de estos componentes, ya que son la base para el análisis de la viabilidad técnica y la estimación de costos en las fases de planificación del proyecto.

Solución Nutritiva

"La formulación precisa de la solución nutritiva es esencial, ya que determina la disponibilidad de macro y micronutrientes para la planta, siendo el pH un factor crítico que influye directamente en su absorción (Marulanda & Izquierdo, 2003)."[\[3\]](#)

De los 16 elementos químicos considerados necesarios para el crecimiento saludable de las plantas, 13 son nutrientes minerales. Ellos en condiciones naturales de cultivo (suelo) entran a la planta a través de las raíces. El déficit de sólo uno de ellos limita o puede disminuir los rendimientos y, por lo tanto, las utilidades para el cultivador.

No se trata simplemente de agua con fertilizantes; es una mezcla homogénea de macro y micronutrientes disueltos en proporciones específicas, ajustada para satisfacer las necesidades exactas del cultivo en sus diferentes etapas de crecimiento.

- **Nutrientes Esenciales:** Las plantas requieren una serie de elementos para su desarrollo. Como señala la FAO (s.f.), 'las plantas requieren de 16 elementos esenciales para su desarrollo, de los cuales tres (carbono, hidrógeno y oxígeno) son obtenidos del aire y el agua, mientras que los trece restantes deben ser suministrados

a través de la solución nutritiva' (p. 11). Estos elementos se clasifican en macronutrientes, requeridos en mayores cantidades, y micronutrientes, requeridos en menores cantidades ([Brown & Pitman, 2016](#)).

Los **macronutrientes** incluyen Nitrógeno (N), Fósforo (P), Potasio (K), Calcio (Ca), Magnesio (Mg) y Azufre (S). Los **micronutrientes** abarcan Hierro (Fe), Manganeseo (Mn), Boro (B), Zinc (Zn), Cobre (Cu), Molibdeno (Mo) y Cloro (Cl). "La deficiencia de cualquier nutriente esencial puede limitar el crecimiento de la planta y la producción de cultivos." [4]

- **Formulación y Preparación de la Solución Nutritiva:** Las soluciones nutritivas se preparan a partir de sales minerales de grado hidropónico, que se disuelven en agua. Existen formulaciones comerciales premezcladas, o bien se pueden preparar a partir de sales individuales para mayor control y personalización.

La preparación requiere disolver las sales en el orden correcto y con las concentraciones precisas para evitar precipitaciones. Según Marulanda y Izquierdo (2003), es fundamental disolver las sales en una secuencia específica para asegurar su completa solubilización y evitar la formación de precipitados insolubles que reducirían la disponibilidad de nutrientes para las plantas (p. 45). Se aconseja, por ejemplo, disolver primero los nitratos y luego los fosfatos, evitando mezclar calcio con sulfatos o fosfatos en soluciones concentradas debido al riesgo de precipitación (Marulanda & Izquierdo, 2003, p. 45).

Generalmente, se utilizan dos o más soluciones concentradas (A y B) que se combinan con agua al momento de su uso para evitar la reacción entre ciertos elementos. Este método de preparación en dos o más tanques concentrados permite que "los elementos que tienden a precipitar entre sí permanezcan separados hasta el momento de ser diluidos en el agua de riego" (Marulanda & Izquierdo, 2003, p. 46). Por ejemplo, el calcio y el magnesio suelen separarse del fósforo y los sulfatos en los tanques concentrados para evitar la formación de sales insolubles (Marulanda & Izquierdo, 2003, p. 46).

La calidad del agua inicial también es un factor crítico que influye en la formulación. Un aspecto crucial, como señalan Marulanda y Izquierdo (2003), es el análisis del agua, ya que "la calidad del agua a emplear en hidroponía es de vital importancia, pues si ésta contiene sales disueltas en exceso, pueden presentarse problemas que afecten el normal desarrollo de la planta" (p. 47). La presencia de cantidades elevadas de cloro, sodio, bicarbonatos o carbonatos puede requerir ajustes específicos en la formulación o tratamientos previos del agua ([Marulanda & Izquierdo, 2003, p. 47](#)).

- **Importancia y Ajuste del pH:** El pH de la solución nutritiva es un parámetro de suma relevancia, ya que influye directamente en la disponibilidad de los nutrientes para la planta. Un pH inadecuado puede bloquear la absorción de ciertos elementos, incluso si están presentes en la solución". Marulanda e Izquierdo (2003) enfatizan esta crucial relación, indicando que "el pH debe ser vigilado, ya que controla la asimilación o absorción de los nutrientes" (p. 49). Para la mayoría de las hortalizas de hoja, el rango óptimo de pH se encuentra entre 5.5 y 6.5.

Para medir el pH, se utilizan medidores de pH digitales, tiras reactivas o kits de prueba líquidos. Los medidores digitales ofrecen mayor precisión y son los más recomendados para un control constante. El manual de Marulanda e Izquierdo (2003) sugiere el uso de medidores de pH electrónicos como la opción más precisa para "determinar el nivel de pH de la solución" (p. 50), aunque también mencionan el uso de papel tornasol o reactivos líquidos como alternativas.

Para ajustar el pH, se utilizan soluciones ácidas para bajarlo, o soluciones básicas para subirlo. Estos ajustes deben realizarse con precaución y de forma gradual para evitar cambios bruscos que estresen las plantas. Marulanda e Izquierdo (2003) especifican que "para bajar el pH se utiliza ácido nítrico (HNO_3) o ácido fosfórico (H_3PO_4)" y "para subir el pH se utiliza hidróxido de potasio (KOH)" (p. 50). Advierten, además, que "la adición de cualquiera de estas sustancias al agua para el control del pH debe hacerse en muy pequeñas dosis y revolver muy bien la solución antes de tomar una nueva lectura de pH" (Marulanda & Izquierdo, 2003, p. 50), reforzando la necesidad de un ajuste gradual y cuidadoso.

Sustratos

Los sustratos en hidroponía son materiales inertes que proporcionan soporte físico a las plantas y permiten la retención de humedad y oxígeno en la zona radicular, sin aportar nutrientes. Como destacan Marulanda e Izquierdo (2003), los sustratos hidropónicos "deben ser inertes, es decir, que no reaccionen con la solución nutritiva, que no aporten o secuestren elementos" (p. 29). Su elección depende de factores como lo son el tipo de sistema hidropónico, el cultivo y los costos. Además, es fundamental que "tengan la capacidad de almacenar oxígeno para que las raíces puedan respirar y absorber los nutrientes" (Marulanda e Izquierdo, 2003, p. 29).

- Lana de Roca: Es un material fibroso inerte, derivado del basalto, con excelente capacidad de retención de agua y aire. Es muy utilizado para la germinación y el trasplante de plántulas. Marulanda e Izquierdo (2003) la describen como "uno de los materiales más utilizados en el mundo para el cultivo sin suelo" y resaltan su "excelente relación agua-aire" (p. 30).



[Fig. 4 - Lana de Roca](#)

- Fibra de Coco (Coir): Subproducto de la cáscara de coco, ofrece buena aireación y retención de humedad. Es renovable y tiene una buena capacidad de intercambio catiónico, aunque puede requerir un lavado previo para eliminar sales. El manual de la FAO señala que la fibra de coco "posee excelentes propiedades físicas y químicas" y es "una alternativa real para sustituir o mezclar con la lana de roca" (Marulanda e Izquierdo, 2003, p. 31).



[Fig. 6 - Fibra de Coco](#)

- Perlita: Material volcánico expandido, ligero y poroso, que proporciona excelente aireación y drenaje. Se utiliza a menudo en mezclas con otros sustratos. Es valorada por su "gran capacidad de aireación" (Marulanda & Izquierdo, 2003, p. 30).



[Fig. 5 - Perlitas](#)

- **Arena y Grava:** Pueden utilizarse, aunque requieren un monitoreo más frecuente de la solución nutritiva debido a su baja capacidad de retención. Son económicas y fáciles de conseguir. El manual de la FAO las incluye entre los materiales "más fáciles de conseguir y económicos", aunque requieren un buen porcentaje de este sustrato para un buen drenaje y aireación (Marulanda e Izquierdo, 2003, p. 31).



[Fig. 6 - Grava](#)

- **Propiedades y Usos:** La elección del sustrato se basa en su capacidad de retención de agua y aire, su estabilidad química (pH neutro), su peso y su costo. Para hortalizas de hoja, la lana de roca y la fibra de coco son muy populares por su equilibrio entre retención y aireación.

- Costos Asociados:** Los costos varían significativamente por tipo de sustrato y proveedor. La elección del sustrato no solo depende de sus propiedades físicas y químicas, sino también de su disponibilidad y precio en el mercado local. Como señalan Marulanda y Izquierdo (2003), la selección de un sustrato "se basa en las propiedades físicas y químicas, en la disponibilidad y costo" (p. 29). La lana de roca, por ejemplo, tiende a ser más cara; Marulanda y Izquierdo (2003) la describen como un material con un costo "alto" (p. 30), lo que puede influir en la decisión de su uso a gran escala. En contraste, la arena o grava pueden ser muy económicas y fáciles de conseguir, siendo consideradas por los mismos autores como "los más fáciles de conseguir y económicos" (Marulanda & Izquierdo, 2003, p. 31), lo que las convierte en opciones atractivas para proyectos con presupuestos limitados. La fibra de coco, por su parte, ofrece un buen equilibrio costo-beneficio y sostenibilidad, presentando una "alta disponibilidad" en muchas regiones y propiedades que la hacen una alternativa viable (Marulanda & Izquierdo, 2003, p. 31). Otros sustratos como la perlita también tiene sus propias consideraciones de costo, que deben ser evaluadas en función de la escala y el tipo de cultivo.

Característica / Sustrato	Lana de Roca (Rockwool)	Fibra de Coco (Coir)	Perlita	Arena y Grava
Origen	Mineral (basalto fundido)	Orgánico (cáscara de coco)	Volcánico	Mineral (rocas trituradas)
Capacidad de Retención de Agua (CRA)	Excelente (Alta) (Marulanda & Izquierdo, 2003, p. 30)	Buena a Excelente	Baja	Baja
Capacidad de Retención de Aire	Excelente (Marulanda & Izquierdo, 2003, p. 30)	Buena a Excelente	Excelente (Marulanda & Izquierdo, 2003, p. 30)	Buena
Densidad	Ligera	Ligera a Media	Muy Ligera	Alta

Reutilizabilidad	Limitada (difícil de limpiar/esterilizar)	Baja (tiende a degradarse)	Media (si se limpia bien)	Alta (fácil de limpiar)
Costo Inicial	Alto (Marulanda & Izquierdo, 2003, p. 30)	Medio (alta disponibilidad)	Medio	Muy Bajo (Marulanda & Izquierdo, 2003, p. 31)
Aplicaciones Comunes	Germinación, trasplante de plántulas, cultivos de ciclo corto y medio	Amplio rango de cultivos, especialmente hortalizas y plantas ornamentales	Mezclas de sustratos, drenaje, aireación	Sistemas de inundación y drenaje, sistemas de goteo, cultivos de gran tamaño
Ventajas	Relación agua-aire óptima, inerte, estéril inicial.	Renovables, buen equilibrio H ₂ O-aire, capacidad de intercambio catiónico.	Muy buena aireación, ligero, mejora drenaje.	Económicos, fáciles de conseguir, duraderos, buena estabilidad.
Desventajas / Consideraciones	Eliminación ambiental compleja, puede irritar la piel/ojos, manejo del pH inicial.	Puede contener sales y patógenos (requiere lavado/tratamiento), potencial de compactación	Baja retención de agua, puede flotar en sistemas de recirculación.	Baja CRA y CRN (requiere riego/fertilización más frecuente), peso, puede compactarse.

Tabla 2. Análisis Comparativo Sustratos

Beneficios de la Hidroponia

La implementación de un sistema hidropónico modular, como se plantea en este proyecto, tiene su justificación, no sólo por su eficiencia técnica, sino también por una serie de beneficios que impactan positivamente en la **alimentación, la economía, el ahorro de recursos y la inclusión social**.

Beneficios en la Alimentación y la Salud

El cultivo hidropónico establece un vínculo directo y seguro entre el productor y el consumidor, garantizando productos de alta calidad.

Este sistema elimina la necesidad de utilizar suelo, lo que reduce significativamente el uso de pesticidas y herbicidas. El resultado son hortalizas más puras y seguras, con una trazabilidad que va directo del cultivo a la mesa. Además, al eliminar las largas cadenas de distribución, el tiempo transcurrido entre la cosecha y el consumo se minimiza. Esto asegura una frescura y la máxima preservación de las vitaminas, minerales y propiedades de los alimentos, que son esenciales para la salud.

Beneficios Económicos y de Ahorro de Recursos

La naturaleza cerrada y modular de la hidroponía se traduce en una eficiencia de recursos que genera un impacto económico directo.

El beneficio técnico más significativo es la eficiencia hídrica. Gracias a la recirculación de la solución y a la ausencia de suelo, los módulos hidropónicos consumen hasta un 90% menos de agua que los métodos agrícolas tradicionales. Este ahorro es esencial en contextos donde el recurso hídrico es un factor limitante. Además, el diseño modular permite el aprovechamiento óptimo del espacio, haciendo viable la agricultura urbana en superficies reducidas como patios o terrazas, con un rendimiento por metro cuadrado considerablemente mayor. Este alto rendimiento, con hasta 7 ciclos de cosecha anuales, no solo genera un ahorro directo en el presupuesto del cultivador al reducir la compra de hortalizas, sino que también permite una rápida amortización de la inversión inicial a escala de micro-emprendimiento.

Beneficios Sociales y Educativos

La simplicidad operativa de los módulos promueve un impacto social positivo en la comunidad y el desarrollo de nuevas habilidades.

La implementación de módulos elevados y limpios elimina la necesidad de esfuerzo físico intenso como arrodillarse o manipular tierra. Esto convierte a la hidroponía en una actividad totalmente accesible e inclusiva para personas mayores o con movilidad reducida, fomentando su participación productiva. A nivel educativo, el cultivo en casa permite a las personas, y especialmente a los niños, establecer un vínculo directo con el origen de sus alimentos, promoviendo hábitos de consumo más saludables y sirviendo como una valiosa herramienta práctica para la enseñanza de principios de química (pH y EC) y sostenibilidad.

Desafíos de la Hidroponía Doméstica y Modular

A pesar de las notables ventajas que presenta la hidroponía, su implementación exitosa requiere abordar una serie de desafíos específicos. Entender estos obstáculos y proponer soluciones prácticas es fundamental para validar la propuesta modular asegurando que el proyecto sea robusto y accesible para el usuario final.

Requerimientos de Conocimientos y Curva de Aprendizaje

Uno de los principales desafíos que se pudo identificar es la necesidad de un conocimiento técnico específico, particularmente en lo referente al manejo de la solución nutritiva. Para un lector ajeno a la temática, la gestión continua de parámetros como el pH (acidez del agua) y la Conductividad Eléctrica (EC), que mide la concentración de nutrientes, puede parecer compleja y desincentivar la adopción.

Para mitigar esta curva de aprendizaje, el proyecto se enfoca en la estandarización y simplificación. En lugar de depender de vastos conocimientos de química, se implementarán protocolos operativos claros y concisos, junto con kits de nutrientes pre-formulados. Además, la integración de medidores digitales de bajo costo y fácil calibración permite al cultivador realizar ajustes siguiendo pasos muy sencillos, transformando una complejidad química en una rutina de monitoreo práctica.

Inversión Inicial y Costos Asociados

Si bien la operación a largo plazo es económica, la inversión inicial para adquirir el equipamiento (módulos, bombas, sensores) puede ser percibida como alta en comparación con la jardinería tradicional. Además, el costo y el tiempo para escalar la capacidad productiva no siempre se resuelven de forma tan flexible como en otros negocios.

La solución radica en justificar esta inversión inicial como un activo de capital con una rápida amortización. La clave es destacar la alta productividad anual por metro cuadrado (más de

200 a 300 plantas/m² al año), lo cual garantiza un retorno de la inversión a través del ahorro doméstico y la generación de ingresos. El uso de materiales de bajo costo como el PVC para la estructura modular, en lugar de sistemas industrializados complejos, mantiene la inversión inicial en un nivel accesible.

Dependencia y Gestión de Suministros

El sistema hidropónico tiene una dependencia crítica de dos factores que no pueden fallar. La energía para que las bombas funcionen y las soluciones nutritivas (sales minerales) para alimentar a la planta. Una interrupción prolongada en cualquiera de ellos puede significar la pérdida de la cosecha. Además, puede existir una dependencia de proveedores limitados para insumos muy específicos como las sales minerales.

Para gestionar la dependencia energética, el diseño modular debe privilegiar bombas de bajo consumo y, en sistemas críticos como el DWC, utilizar el gran volumen de agua como un amortiguador operativo que permite a las plantas sobrevivir varias horas ante un corte de energía. Respecto a los insumos, se debe fomentar la adquisición de nutrientes en formatos de venta masiva o a través de proveedores locales o nacionales consolidados, minimizando la dependencia de importaciones y asegurando la disponibilidad continua de las sales minerales y otros componentes clave.

Desafíos Operacionales Específicos

Finalmente, existen desafíos propios de la biología y la logística de los alimentos frescos: la maduración del producto no puede acelerarse con más mano de obra, y la naturaleza perecedera de las hortalizas impide la acumulación de grandes inventarios.

Estos desafíos se mitigan con una planificación de producción precisa y continua. En lugar de reaccionar a la demanda, el cultivador debe establecer un calendario de siembra escalonado y constante (basado en el ciclo de 45-50 días), asegurando que siempre haya producto listo para cosechar. Esto minimiza el riesgo de mermas y garantiza un flujo de producto constante para el consumo o la venta, evitando así la necesidad de grandes inventarios.

Análisis de Factibilidad Técnica

El apartado de Factibilidad Técnica se centrará en responder la pregunta fundamental sobre el qué y cuánto se requiere para la implementación del proyecto. Se procederá a acotar la descripción de los sistemas NFT (Nutrient Film Technique) y DWC (Deep Water Culture) para enfocarse exclusivamente en sus especificaciones de diseño modular y en la capacidad productiva. Esto incluye detallar las dimensiones exactas de los contenedores y canales, los componentes físicos esenciales (bombas, recipientes y tuberías), y, crucialmente, la densidad de plantas por metro cuadrado (m²) que cada tecnología permite alcanzar. El objetivo es

proporcionar una base de datos cuantitativa que justifique la selección del sistema más eficiente para la optimización del espacio en el contexto de Rafaela, sin ahondar en los procesos operacionales del cultivo.

Especificaciones de diseño y Dimensiones de los módulos

El diseño modular del proyecto se basa en la estandarización de componentes, esencial para la escalabilidad y el manejo eficiente por un solo operario.

Para el sistema DWC (Deep Water Culture), el módulo principal es un contenedor estático opaco con dimensiones de 60 cm de largo x 40 cm de ancho x 30 cm de alto. Esta elección de tamaño se justifica por su facilidad de manejo y su capacidad para contener un volumen considerable de solución nutritiva (aproximadamente 48 litros). La característica de opacidad del material es crucial, ya que bloquea la luz y previene la proliferación de algas y patógenos en el agua, lo que garantiza la salud de las raíces. La tapa del módulo incluye perforaciones para el soporte de las plantas y un pequeño orificio lateral para el monitoreo del nivel de la solución.

En contraste, el sistema NFT (Nutrient Film Technique) se compone de canales de flujo estrechos, generalmente fabricados en PVC o polipropileno, con dimensiones estándar de 1 metro de largo x 10 cm de ancho x 10 cm de alto por canal. Estas dimensiones son las óptimas para el cultivo de hortalizas de hoja, ya que aseguran que la solución nutritiva circule en una fina película sin acumulación, lo que permite una oxigenación radicular superior. El diseño modular agrupa cinco canales en un espacio horizontal que suma un total de 1 metro de largo por 70 cm de ancho (incluyendo el espaciado necesario). Esta configuración de cinco canales es la que permite maximizar la densidad de plantas por metro cuadrado en el sistema NFT.

Ambos sistemas utilizan módulos estandarizados y conectables, siendo la diferencia principal el diseño del recipiente: profundo y estancado para el DWC, y superficial y de flujo constante para el NFT.

Densidad de Plantas por Metro Cuadrado

La densidad productiva es el factor técnico clave que determina la eficiencia del uso del espacio y la producción potencial por unidad de área, lo cual impacta directamente en la factibilidad financiera del proyecto modular. Este análisis compara la capacidad de ambos sistemas basándose en las dimensiones modulares definidas.

Sistema DWC (Deep Water Culture)

El sistema DWC utiliza un módulo contenedor de 0.60 m x 0.40 m, lo que resulta en una Superficie de 0.24 m², por sistema. Al emplear un espaciamiento recomendado de 20 cm entre plantas para el desarrollo foliar adecuado de cultivos como la lechuga, la capacidad máxima por módulo se establece en 6 plantas. Proyectando esta capacidad al metro cuadrado, la densidad productiva del sistema DWC es de 25 plantas/m² (resultado de dividir 6 plantas entre 0.24 m²).

Sistema NFT (Nutrient Film Technique)

El sistema NFT opera con un módulo que integra cinco canales de 1 metro de largo, ocupando una Superficie de 0.70 m² (1 m x 0.70 m, incluyendo el espaciado entre canales). Utilizando un espaciamiento de 15 cm entre orificios a lo largo de cada canal, se obtiene una capacidad de 6 plantas por tubo. Esto resulta en una Capacidad por Módulo de 30 plantas (6 plantas por tubo x 5 tubos). La densidad Productiva de este sistema asciende a 42.8 plantas/m² (resultado de dividir 30 plantas entre 0.70 m²).

El análisis de densidad productiva establece que el Sistema NFT ofrece una mayor eficiencia en el uso del espacio al permitir cultivar 42.8 plantas/m², superando significativamente las 25 plantas/m², del DWC. Esta característica es la principal ventaja técnica del NFT para un proyecto que busca la máxima optimización productiva en un formato modular y, por ende, es un factor clave en la proyección de ingresos. No obstante, es fundamental sopesar esta ventaja productiva con la complejidad técnica inherente al NFT, que se detalla en el análisis de componentes subsiguiente.

Componentes Claves y Equipamientos

Este apartado aborda el inventario técnico necesario para la materialización de los sistemas hidropónicos, concentrándose en las características y la justificación del diseño de cada elemento para los sistemas NFT y DWC. Se analizarán las especificaciones técnicas de las estructuras de cultivo, los sistemas de impulsión y oxigenación, y las herramientas de monitoreo. Este análisis es fundamental para comprender las inversiones iniciales y la base operativa del proyecto.

Canales y Recipientes

La elección de las estructuras de cultivo está íntimamente ligada a la eficiencia productiva y la estabilidad del sistema:

Estructura para NFT (Canales de Flujo): Para este sistema se emplean canales o tubos de PVC de 10 cm de ancho por 10 cm de profundidad. Estas dimensiones son el estándar de la

industria para hortalizas de hoja, ya que garantizan la formación de una fina película de solución nutritiva que maximiza la absorción de nutrientes y la oxigenación de las raíces sin provocar estancamiento. La disponibilidad comercial y el bajo costo de estos perfiles de PVC refuerzan su viabilidad técnica y financiera.

El sistema DWC utiliza contenedores opacos (módulos de 60 x 40 x 30 cm) que actúan como depósito de solución. Su rol es representativo en la gestión del cultivo, ya que el gran volumen de agua contenido (aproximadamente 48 litros) actúa como un amortiguador térmico y químico. Este volumen considerable asegura una mayor estabilidad en el pH y la Conductividad Eléctrica (EC), lo que reduce significativamente la necesidad de monitoreo y ajustes constantes, y protege a las raíces de fluctuaciones bruscas de temperatura.

Bombas y Sistemas de Oxigenación

La operatividad de ambos sistemas depende de componentes que aseguran el movimiento y la calidad de la solución:

El NFT requiere una bomba de agua sumergible de bajo caudal (200 a 400 l/h) y baja potencia (5W a 15W). Esta elección de bajo consumo es crucial, ya que la bomba opera de forma continua, minimizando el costo energético recurrente y asegurando la viabilidad económica del sistema. Su función es mantener el flujo constante de la delgada película de nutrientes a través de los canales.

En lugar de bombear agua, el DWC requiere una bomba de aire (3W a 10W) para inyectar oxígeno a la solución. El aire se distribuye a través de piedras difusoras (aireadores). Este componente es indispensable, ya que previene la asfixia y pudrición radicular de las plantas en el medio acuoso. Su bajo consumo y accesibilidad local fortalecen la factibilidad operativa.

Sensores y Monitoreo

Para garantizar el rendimiento óptimo del cultivo, se requiere una herramienta de control sobre la solución nutritiva.

El monitoreo se realiza mediante sondas sumergibles que miden el pH (acidez/alcalinidad) y la EC (concentración de sales y nutrientes). Estos sensores actúan como los "ojos digitales" del sistema, permitiendo al cultivador verificar que la solución se encuentre en el rango óptimo para la absorción de nutrientes por parte de la planta.

La inclusión de estos sensores, incluso en una versión conectada a microcontroladores de bajo costo, eleva la eficiencia y el control del sistema. Su implementación reduce el riesgo de pérdida de la cosecha y justifica una solución tecnológica avanzada y viable a largo plazo para el proyecto.

El análisis de los componentes clave y el equipamiento valida la viabilidad técnica de ambos sistemas modulares a partir de su composición. El sistema DWC se distingue por la simplicidad de sus estructuras (grandes recipientes) y la eficiencia energética de su bomba de aire, ofreciendo una solución más robusta y estable ante fluctuaciones ambientales y químicas. Por otro lado, el NFT demuestra su valor técnico a través de su diseño de canales optimizado, que, aunque más complejo en la gestión del flujo, resulta indispensable para alcanzar la mayor densidad productiva (42.8 plantas/m²). La decisión final sobre cuál sistema implementar deberá ponderar esta eficiencia productiva del NFT frente a la estabilidad operativa y el menor costo inicial de los componentes del DWC, siendo ambos modelos totalmente factibles y compatibles con la incorporación de sistemas de monitoreo de bajo costo.

Análisis de Factibilidad Operativa

El presente apartado tiene como objetivo determinar si el proyecto de huertas hidropónicas modulares es práctico, sostenible y fácil de manejar por una sola persona en el contexto urbano de Rafaela. En lugar de centrarnos en los tecnicismos del cultivo, analizaremos el QUÉ implica la gestión diaria de los sistemas NFT (Técnica de la Película Nutritiva) y DWC (Cultivo en Agua Profunda), referenciando el tiempo que requiere, la dificultad de las tareas y el costo de los recursos.

La operación de la huerta hidropónica modular se reduce a una rutina de mantenimiento sencillo y de alta frecuencia. El trabajo principal de un cultivador es asegurar que la planta reciba la solución nutritiva en las condiciones óptimas para su crecimiento.

El ciclo de cultivo (que dura aproximadamente 45 días) incluye sembrar las semillas, trasplantar las plántulas al módulo, y finalmente cosechar. El trabajo más importante, sin embargo, es la gestión diaria de la solución, que implica rellenar el depósito con agua y monitorear su calidad. Cada 10 a 14 días, el cultivador debe realizar una limpieza y reemplazo total de la solución para evitar la acumulación de sales y patógenos.

La viabilidad operativa del proyecto se centra en la mitigación de tres riesgos. El primero es el desequilibrio de la nutrición, si el agua no mantiene la acidez (pH) y la concentración de sales (EC) correctas, la planta puede no alimentarse y se enferma rápidamente, poniendo en riesgo la cosecha. El segundo es la falla en el suministro de energía, dado que una simple interrupción en la luz puede detener la bomba de agua (NFT) o la bomba de aire (DWC), haciendo que las raíces se sequen o se asfixien en pocas horas. Finalmente, la contaminación es un peligro constante, ya que la falta de higiene o el incumplimiento del reemplazo periódico de la solución nutritiva crea un ambiente ideal para el desarrollo de algas y patógenos que pudre la raíz.

El análisis del Consumo de Recursos y Costo Operativo confirma que la hidroponía modular es extremadamente eficiente y económica de mantener. El gasto más significativo, el de energía, es mínimo: el DWC consume apenas 3.6 kWh estimados al mes por sistema, y el NFT, unos 7.2 kWh estimados al mes; ambos valores son menores comparados con un electrodoméstico común, lo que valida su viabilidad económica. Respecto al agua, el consumo es bajo porque los sistemas son cerrados, limitándose a reponer de 1 a 4 litros diarios que se pierden por evaporación y consumo de la planta. Finalmente, aunque la preparación de la solución nutritiva varía en volumen (48 litros para DWC vs. 10-15 litros para NFT), ambos sistemas requieren el reemplazo total de la solución cada 10 o 14 días.

En cuanto a las Capacidades de Gestión y Perfil del Cultivador, el sistema modular está diseñado para ser operado fácilmente por una sola persona. La baja demanda de tiempo es una ventaja clave, ya que el mantenimiento rutinario requiere solo 2 a 3 horas estimadas de dedicación semanal. El perfil ideal no es un técnico especializado, sino un cultivador capacitado con gran disciplina. Las habilidades prácticas esenciales se limitan a saber usar los medidores digitales de pH y EC, tener la disciplina para seguir la receta de los nutrientes al pie de la letra y desarrollar la capacidad de observación para detectar rápidamente cualquier problema en las plantas.

En conclusión, la Factibilidad Operativa es alta para el contexto residencial de Rafaela. El sistema es económico de mantener (mínimo gasto energético) y requiere poco tiempo de dedicación semanal. El éxito del proyecto depende, casi exclusivamente, de la disciplina del operario en monitorear la solución nutritiva y en realizar las tareas de higiene, mitigando así los principales riesgos.

Rendimiento y Capacidad Productiva

En este apartado se proyecta el rendimiento y la capacidad productiva anual de los sistemas modulares NFT y DWC, teniendo en cuenta los datos de densidad y diseño. Para esta estimación, se toma como referencia el cultivo de lechuga, asumiendo un ciclo de producción continuo y estable.

La estimación se basa en las siguientes premisas operativas: el ciclo de cultivo promedio es de 45 días desde el trasplante hasta la cosecha, al cual se añaden 5 días de inactividad de sistema por limpieza y preparación del módulo. Esto establece un ciclo productivo total de 50 días. Por lo tanto, el sistema permite un máximo de 7 ciclos completos por año ($365 \text{ días} / 50 \text{ días} = 7.3 \text{ ciclos}$)

Proyección de Capacidad Productiva

La capacidad productiva se calcula multiplicando la densidad y capacidad de cada módulo por los 7 ciclos anuales.

El módulo DWC, con su diseño robusto y estable, tiene una capacidad de 6 plantas por ciclo en su superficie de 0,24 m². Proyectando este dato a lo largo del año, la capacidad productiva anual asciende a 42 plantas por sistema (6 plantas/ciclo x 7 ciclos/año) . Esto se traduce en un rendimiento anual de 175 plantas por metro cuadrado m², ofreciendo una producción fiable, aunque menos intensiva en el uso del espacio.

El NFT, que se distingue por su alta eficiencia espacial, logra una capacidad de 30 plantas por ciclo en su módulo de 0,70 m² (densidad de 42.8 plantas/m²). Anualmente, esta capacidad se multiplica hasta alcanzar 210 plantas por módulo. Esto posiciona al NFT con un rendimiento anual superior, cercano a las 300 plantas por metro cuadrado m².

El análisis confirma que el Sistema NFT ofrece una superioridad técnica indiscutible en términos de productividad por unidad de área, con una capacidad de generar aproximadamente 70% más plantas por metro cuadrado al año que el DWC. Esta diferencia es el principal argumento técnico para justificar un mayor costo de inversión inicial en el NFT, ya que el retorno potencial (ingresos proyectados) se incrementa sustancialmente. Ambos datos de rendimiento anual son críticos, ya que constituyen la base de cálculo para la estimación de ingresos y el posterior análisis de rentabilidad (VAN y TIR) en la Factibilidad Financiera.

Indicador	DWC (60 x 40 cm)	NFT (1 m x 70 cm)
Superficie del Módulo	0,24 m ²	0,70 m ²
Capacidad por Ciclo (Plantas)	6	30
Ciclos de Cultivo por Año (Estimación)	7	7
Capacidad Productiva Anual por Módulo	42 plantas	210 plantas

Rendimiento Anual por m²	175 plantas/m²	299.6 plantas/m²
--	----------------------------------	------------------------------------

Análisis de Factibilidad Financiera

El presente apartado tiene como objetivo evaluar la viabilidad económica del emprendimiento de huerta hidropónica modular destinadas a residencias en Rafaela, Santa Fe, y sus localidades aledañas. Para ello, se realizará un análisis detallado de los costos de inversión inicial (CAPEX), los costos operativos recurrentes (OPEX), la proyección de ingresos y, finalmente, se aplicarán herramientas de evaluación de proyectos, como el Flujo de Caja Proyectado, para determinar su rentabilidad y el periodo de recuperación de la inversión.

La sección de Factibilidad Financiera requiere, en primer lugar, un inventario preciso de la inversión inicial. A continuación, se presenta un listado detallado de los componentes necesarios para construir y operar un módulo de cada sistema (NFT y DWC), más las herramientas de monitoreo esenciales compartidas, especificando las características técnicas exactas de cada componente, lo cual sirvió como base para la investigación y asignación de costos.

Inventario de Componentes para Factibilidad Financiera

Este listado separa los elementos de inversión por sistema, incluyendo un apartado para las herramientas que son compartidas y los insumos recurrentes.

Inversión Inicial: Sistema NFT (Nutrient Film Technique)

El sistema NFT se caracteriza por sus canales de flujo continuo. El listado se basa en un módulo de **5 canales de 1 metro**.

N°	Componente	Especificaciones Clave para Costo	Cantidad por Módulo
Estructura	Canal/Tubo de PVC	Perfil rectangular de 10 cm x 10 cm (4" x 4")	5 metros lineales

	Depósito/Tanque de Solución	15 a 20 litros , material opaco y resistente	1 unidad
	Estructura de Soporte	Soporte o mesa para 5 canales de 1 metro (con inclinación)	1 unidad
	Codos, Taponos, Conectores	Para los 5 canales y la tubería principal	Est. 10 piezas
Hidráulica	Bomba de Agua Sumergible	Bajo caudal (200 a 400 L/h) , potencia 5W a 15W	1 unidad
	Tubería/Manguera	PVC o manguera flexible de diámetro pequeño (para retorno y distribución)	5 metros
Accesorios	Copas de Red (Net Pots)	Diámetro de 2 pulgadas (5 cm)	30 unidades

Inversión Inicial: Sistema DWC (Deep Water Culture)

El sistema DWC se basa en un único recipiente de gran volumen.

N°	Componente	Especificaciones Clave para Costo	Cantidad por Módulo
Estructura	Contenedor/Depósito Principal	60 cm x 40 cm x 30 cm , material opaco (aprox. 48 litros)	1 unidad

	Tapa para Contenedor	Tapa perforada para 6 plantas	1 unidad
Aireación	Bomba de Aire	Baja potencia (3W a 10W), caudal 2 a 5 L/min	1 unidad
	Piedra Difusora / Aireador	Material cerámico o plástico poroso	1 unidad
	Manguera de Aireación	Manguera plástica para conectar bomba a aireador	1 metro
Accesorios	Copas de Red (Net Pots)	Diámetro de 2 o 3 pulgadas (5 a 7.5 cm)	6 unidades

Herramientas y Monitoreo (Inversión Inicial Compartida)

Estos elementos son de uso compartido para ambos sistemas modulares, por lo que se asumen como un **único costo de inversión**.

N°	Componente	Especificaciones Clave para Costo	Cantidad
Monitoreo	Medidor Digital de pH	Portátil, con resolución de 0.1, con función de calibración	1 unidad
	Medidor Digital de EC	Portátil, con resolución de 0.01 mS/cm o 1 ppm	1 unidad

Químicos	Soluciones Buffer de Calibración	Soluciones pH 4.0 y pH 7.0 (necesarias para calibrar el medidor de pH)	1 kit
-----------------	----------------------------------	--	-------

Insumos Recurrentes (Costo por Ciclo/Anual)

Estos elementos representan los **costos operativos variables** que se consumen en cada ciclo de cultivo.

N°	Componente	Especificaciones Clave para Costo	Unidad de Compra
Nutrientes	Solución Nutritiva Hidropónica A	Sales minerales concentradas (para micronutrientes)	Litro o Kilogramo
	Solución Nutritiva Hidropónica B	Sales minerales concentradas (para macronutrientes)	Litro o Kilogramo
Ajustes	Regulador de pH (Down)	Ácido Fosfórico o similar (para bajar el pH)	Botella de 1 Litro
	Regulador de pH (Up)	Hidróxido de Potasio o similar (para subir el pH)	Botella de 1 Litro
Siembra	Sustrato de Germinación	Cubos de Lana de Roca o Turba Prensada	Plancha/Paquete (para 50+ semillas)
	Semillas de Lechuga	Paquete de semillas (dependiendo de la variedad)	Pack

Costos de Inversión Inicial (CAPEX)

Esta sección detalla la inversión inicial estimada, que se necesita para poner en marcha el sistema hidropónico modular.

El módulo NFT se dimensiona para 5 canales de 1 metro de longitud.

Componente	Especificación Clave	Cantidad	Costo Estimado Unitario (ARS)	Costo Estimado Total (ARS)
Canal de PVC	Perfil 10 cm x 10 cm	5 metros	\$9.380	\$46.899
Depósito de Solución	Plástico opaco, 15-20 litros	1 unidad	\$11.500	\$11.500
Estructura de Soporte	Armazón para 5 canales (PVC/Madera)	1 unidad	\$25.000	\$25.000
Bomba de Agua Sumergible	Bajo caudal (200-400 L/h), 5W-15W	1 unidad	\$20.000	\$20.000
Conexiones y Codos	Codos, tapones y tubería de retorno	Est. 10 piezas	\$2.500	\$25.000

Manguera (Distribución)	Manguera flexible, diámetro pequeño	5 metros	\$2.560	\$12.800
Copas de Red (Net Pots)	Diámetro 2 pulgadas (para 30 plantas)	30 unidades	\$376	\$11.300
Total Inversión NFT				\$152.499

El módulo DWC se basa en un contenedor de 48 litros.

Componente	Especificación Clave	Cantidad	Costo Estimado Unitario (ARS)	Costo Estimado Total (ARS)
Contenedor Principal	Plástico opaco, 60x40x30 cm (48 Litros)	1 unidad	\$42.000	\$42.000
Tapa Perforada	Tapa para 6 plantas (Polipropileno)	1 unidad	\$3.000	\$3.000
Bomba de Aire	Baja potencia (3W-10W), caudal 2-5 L/min	1 unidad	\$13.530	\$13.530

Piedra Difusora (Aireador)	Cerámica o plástico poroso	1 unidad	\$300	\$300
Manguera de Aireación	Plástica, diámetro pequeño	1 metro	\$500	\$500
Copas de Red (Net Pots)	Diámetro 2 pulgadas (para 6 plantas)	6 unidades	\$376	\$2.256
Total Inversión DWC				\$61.586

Estos elementos de Herramientas y Monitoreo, son herramientas únicas que se utilizan para gestionar ambos sistemas (NFT y DWC).

Componente	Especificación Clave	Cantidad	Costo Estimado Unitario (ARS)	Costo Estimado Total (ARS)
Medidor Digital de pH	Portátil, con resolución de 0.1	1 unidad	\$16.000	\$16.000
Medidor Digital de EC/TDS	Portátil, con resolución de 0.01 mS/cm	1 unidad	\$4.990	\$4.990

Soluciones de Calibración	Kit Buffer pH 4.0 y pH 7.0	1 kit	\$5.000	\$5.000
Total Inversión Compartida				\$25.990

Costos Operativos Recurrentes (OPEX)

Los costos operativos se dividen en **Variables**, ligados directamente a la producción por ciclo y **Fijos** relacionados al mantenimiento del sistema

Los costos operativos variables se multiplican por los **7 ciclos** proyectados por año (CPY).

Componente	Uso por Ciclo (Aprox.)	Costo Estimado Unitario (ARS)	Costo Estimado por Ciclo (ARS)
Nutrientes Hidropónicos	50 ml Solución A y 50 ml Solución B por cada 10L de agua (Estimación de consumo)	\$1.500 / Litro	\$3.000
Reguladores de pH	Consumo estimado de 10 ml/ciclo	\$800 / Litro	\$80
Sustrato de Germinación	Cubos de Lana de Roca/Turba (para 30 plantas NFT / 6 plantas DWC)	\$15 / Cubo	NFT: \$450 / DWC: \$90

Semillas	1 paquete (\$3.000) rinde para 100 plantas (Estimación)	\$30 / Semilla	NFT: \$900 / DWC: \$180
Costo Variable Total por Ciclo			NFT: \$4.440 / DWC: \$3.350

Los Costos Operativos Fijos Anuales son recurrentes y se calculan sobre la base de 365 días, independientemente del ciclo productivo.

Componente	Tipo de Gasto	Consumo Anual Estimado	Costo Estimado Unitario (ARS)	Costo Estimado Total Anual (ARS)
Energía Eléctrica	DWC: 3.6 kWh/mes	43,2 kWh/año	50/kWh	2.160
Energía Eléctrica	NFT: 7.2 kWh/mes	86,4 kWh/año	50/kWh	4.320
Agua (Pérdida)	3 Litros/día promedio (por módulo)	1095 Litros/año	5/m ³ \$	5
Mano de Obra (Estimación)	3 horas/semana x 52 semanas	156 Horas/año	2000 Horas/año	312.000

Costo Fijo Anual (Sin M.O.)				NFT: 4.325 DWC: 2.165
------------------------------------	--	--	--	--

Análisis de Rentabilidad

Esta sección evalúa la viabilidad económica de los sistemas hidropónicos modulares NFT y DWC basándose en la inversión inicial (CAPEX), los costos operativos anuales (OPEX) y la capacidad productiva definida, utilizando un precio de venta estimado para el producto final.

Aspectos que se tienen en cuenta para el Análisis Financiero:

1. **Escala:** El análisis se centra en la operación de **un único módulo** de cada sistema, más la inversión compartida en herramientas de monitoreo.
2. **Precio de Venta:** Se asume un precio de venta conservador de **\$2500 ARS por unidad de lechuga** al por mayor (precio *placeholder* para el TFG).
3. **Mano de Obra (M.O.):** Para el cálculo de la Rentabilidad Bruta y el Periodo de Recuperación, se **excluye el costo de la mano de obra**. Esta es una práctica común cuando el operario es el dueño del emprendimiento, ya que el beneficio generado es, en esencia, su propia remuneración y rentabilidad.

Análisis de Rentabilidad Anual

Indicador Financiero	NFT (1 Módulo)	DWC (1 Módulo)	Unidad
Producción Anual Estimada	210	42	Plantas
Precio de Venta Estimado	2500	2500	ARS/Planta
Ingresos Anuales Totales	\$525.000	\$105.000	ARS

OPEX Anual (Variable + Fijo, Excl. M.O.)	\$35.405	\$25.615	ARS
Rentabilidad Bruta Anual (Flujo de Caja)	\$489.595	\$79.385	ARS
Inversión Inicial (CAPEX Total)	\$178.489	\$87.576	ARS
Periodo de Recuperación (Payback)	0,36 (4,32 meses)	1,103 (13,23 meses)	Años

El análisis financiero de ambos sistemas modulares, bajo la operatividad de una sola unidad de cada uno, evidencia una marcada diferencia en la viabilidad económica.

Sistema NFT (Nutrient Film Technique)

El sistema NFT demuestra ser rentable a la escala de un módulo, debido a su superior densidad productiva (210 plantas/módulo/año).

- Rentabilidad Bruta: Genera una Rentabilidad Bruta Anual de \$489.595 ARS. Esto significa que, después de cubrir todos los costos de insumos, energía y agua, el módulo genera un flujo de caja positivo.
- Periodo de Recuperación (Payback): El tiempo estimado para recuperar la inversión inicial (\$178.489 ARS) es de aproximadamente 0,36 años, que equivale a un estimado de 4 meses. Este es un periodo aceptable para un activo fijo, y se reduciría drásticamente si se escala la producción a más módulos, ya que el costo de las herramientas de monitoreo (CAPEX Compartido) se diluiría entre ellos.

Sistema DWC (Deep Water Culture)

El sistema DWC, a la escala de un solo módulo, no resulta económicamente viable con el precio de venta asumido.

- Rentabilidad Bruta: El resultado muestra una pérdida anual estimada de -\$8.191 ARS. Aunque su inversión inicial es menor, su baja capacidad productiva (42 plantas/módulo/año) no genera ingresos suficientes para cubrir sus costos operativos variables y fijos (principalmente los insumos y la energía).

- Por lo que, el módulo DWC es técnicamente viable para autoconsumo, pero a escala de negocio, requiere una mayor capacidad productiva (más módulos) o un precio de venta significativamente superior para justificar los costos fijos compartidos. En este escenario inicial, el DWC se descarta como opción prioritaria para la implementación comercial del proyecto.

El análisis financiero válida al Sistema NFT como la opción con la mejor Factibilidad Financiera para el sistema modular, ya que es la única capaz de generar rentabilidad y recuperar la inversión en un plazo razonable a la escala inicial.

Proyección de Flujo de Caja (Sistema NFT)

Esta sección evalúa la viabilidad económica del Sistema NFT proyectando el flujo de caja a tres años. La proyección incorpora la Inversión Inicial (CAPEX) en el Año 0, y aplica tasas de crecimiento a los Ingresos Anuales, un 20% de crecimiento en el Año 1 respecto al Año 0, y un 15% de crecimiento en el Año 3 respecto al Año 2. Los costos operativos (OPEX) se mantienen constantes para simplificar el modelo.

- CAPEX (Año 0): 178.489 ARS (Inversión total en 1 Módulo NFT + Herramientas Compartidas).
- Ingreso Anual Base (Año 0): \$525.000 ARS (Producción de 210 plantas x \$2500 ARS).
- OPEX Anual Fijo: \$35.405 ARS (Excluyendo Mano de Obra).

Indicador Financiero	Año 0 (Inversión)	Año 1 (Crecimiento 20%)	Año 2	Año 3 (Crecimiento 15%)
Ingresos Anuales	\$0	\$525.000 x 1.20 = \$630.000	\$630.000	\$630.000 x 1.15 = \$724.500
Costo Operativo (OPEX)	\$0	\$35.405	\$35.405	\$35.405
Rentabilidad Bruta Anual	-\$178.489 (CAPEX)	\$594.595	\$594.595	\$689.095

Flujo de Caja Acumulado	-\$178.489	\$416.106	\$1.010.701	\$1.709.796
--------------------------------	-------------------	------------------	--------------------	--------------------

La tabla anterior representa el movimiento de efectivo esperado para el proyecto modular, mostrando cómo se recupera la inversión inicial a lo largo del tiempo:

- Año 0 (Inversión): El flujo de caja es netamente negativo por la Inversión Inicial Total (CAPEX) de \$178.489 ARS, que incluye el módulo NFT y las herramientas de monitoreo compartidas.
- Año 1 (Crecimiento 20%): Los ingresos aumentan a \$630.000 ARS por el crecimiento proyectado en ventas o precio. La Rentabilidad Bruta es de \$594.595 ARS, lo que modifica el saldo acumulado a \$416.106 ARS.
- Año 2 (Estabilización): El flujo de caja positivo se mantiene en \$630.000 ARS, demostrando la capacidad del proyecto de generar ganancias constantes. El saldo acumulado asciende a \$1.010.701 ARS.
- Año 3 (Crecimiento 15%): Los ingresos crecen a \$724.500 ARS. La Rentabilidad Bruta aumenta a \$689.095 ARS. El proyecto cruza el umbral de rentabilidad en este año, con un Flujo de Caja Acumulado positivo de \$1.709.796 ARS.

El análisis de flujo de caja confirma que el Periodo de Recuperación de la Inversión (*Payback Period*) se logra en el Año 1. Este resultado valida la Factibilidad Financiera del Sistema NFT a esta escala inicial, demostrando que es capaz de generar ganancias operativas y recuperar completamente el capital invertido dentro del horizonte de la proyección.

Plan de Escalabilidad y Expansión

Esta sección desarrolla la expansión comercial del proyecto de Sistema Hidropónico Modular, transformando el modelo de Factibilidad en un ecosistema de negocios con un horizonte de 5 a 10 años. Se busca consolidar la alta rentabilidad demostrada en la fase de TFG, del Payback en 4.3 meses, mediante la diversificación de ingresos y la integración tecnológica (IoT).

La venta de Kits es la puerta de entrada, mientras que el Programa de Capacitación asegura la satisfacción del cliente, genera ingresos recurrentes por insumos y minimiza los costos de soporte operativo. Este enfoque garantiza que cada venta de hardware se convierta en una fuente constante de servicio y consumo, asegurando la viabilidad a largo plazo.

Unidad de Negocio 1: Raíces Core – Infraestructura y Sistemas Modulares

El foco de la Unidad de Negocio 1 es establecer una base de clientes a través de la venta de hardware de alta calidad, utilizando la tecnología IoT para asegurar la recurrencia de ingresos en la Unidad 2 (Servicios).

Para maximizar la participación en el mercado y responder a las diversas necesidades de la agricultura urbana, se ha segmentado nuestra oferta en tres líneas de Kits modulares. Esta estrategia está diseñada para capturar un amplio abanico de clientes desde el principiante con presupuesto limitado que busca probar la técnica junto al Kit Starter, hasta el entusiasta avanzado o pequeño inversor que exige máxima automatización y eficiencia espacial con la oferta del Kit Pro-Tech y Max-Densidad. Esta diversificación nos permite guiar al cliente hacia la solución tecnológica que mejor se adapte a su espacio y a su nivel de inversión, siendo el Kit Pro-Tech el actor estratégico para introducir nuestra solución IoT y el servicio de Ingreso Recurrente.

KIT 1: NFT STARTER, Dirigido al cliente principiante que prioriza el bajo costo inicial y la simplicidad.

Elementos Detallados	Unidades	Costo Estimado (CM)
Módulo NFT (5 canales x 1m, estructura base)	1	\$152.499
Bomba sumergible (15W)	1	Incluido en CM
Depósito de Solución (20L)	1	Incluido en CM
Suministros Iniciales (Nutrientes Concentrados, 1er ciclo)	Kit	\$5.000

CM Total Estimado		\$157.500 ARS
Precio de Venta (PV) al Cliente		\$395.000 ARS
Rentabilidad Bruta por Kit		\$237.500 ARS

KIT 2: PRO-TECH, dirigido al entusiasta que busca la máxima eficiencia y automatización. Es el kit que asegura el Ingreso Recurrente.

Elementos Detallados	Unidades	Costo Estimado (CM)
Módulo NFT Ampliado (10 canales, estructura reforzada)	1	\$305.000
Módulo IoT de Monitoreo (Sondas pH/EC + Centralita WiFi)	1	\$15.000
Bomba, depósito, conexiones reforzadas	1	Incluido en CM
Suministros Iniciales (3 meses)	Kit	\$7.000
CM Total Estimado		\$327.000 ARS
Precio de Venta (PV) al Cliente		\$817.500 ARS

Rentabilidad Bruta por Kit		\$490.500 ARS
-----------------------------------	--	----------------------

KIT 3: MAX-DENSIDAD, dirigido al cliente que valora el diseño, la optimización extrema del espacio vertical y la calidad de los materiales.

Elementos Detallados	Unidades	Costo Estimado (CM)
Módulo NFT (Vertical de 3 niveles, 5 canales/nivel)	1	\$152.499
Estructura Vertical de Aluminio/PVC Diseño Premium	1	\$75.000
Iluminación LED de Bajo Consumo (para cultivo interior)	1	\$15.000
Bomba, depósito de diseño, etc.	1	Incluido en CM
CM Total Estimado		\$242.500 ARS
Precio de Venta (PV) al Cliente		\$606.250 ARS
Rentabilidad Bruta por Kit		\$363.750 ARS

Estructura de costos y precios

A continuación, se detallan aspectos financieros que aseguran la rentabilidad del hardware, seguido del desglose de costos directos (Costo de Materiales, CM) y el precio de venta estratégico para las tres líneas de productos. El objetivo es que la venta del kit no solo cubra sus costos, sino que aporte un margen significativo para la reinversión y la absorción de los costos fijos operativos.

Indicador	Aspecto	Justificación Empresarial
Margen Bruto Objetivo	60%	Este margen se justifica por el alto valor agregado del producto (tecnología, soporte, garantía de calidad) y el posicionamiento <i>premium</i> de la marca. Además, asegura que el negocio cubra rápidamente los costos fijos y reinvierte.
Fórmula de Precio de Venta (PV)	Costo de Materiales (CM) / (1 - 0.60)	Permite fijar el precio con base en los costos directos de producción y alcanzar el margen deseado.
Moneda Base	Pesos Argentinos (ARS)	La proyección se realiza en moneda local, asumiendo una gestión dinámica de costos ante la inflación.
Costo Fijo (CF) Anual	\$1.800.000 ARS	Incluye costos mínimos de administración, marketing digital, servicios, otros.

El margen bruto del 60% es el actor principal de la viabilidad, posicionando los kits no como una commodity, sino como una solución de alto valor tecnológico y de soporte. Este aspecto asegura que el proyecto genere suficiente capital para escalar rápidamente y gestionar la estructura de costos.

Establecida la premisa de rentabilidad del 60%, a continuación, se desarrolla el desglose específico del Costo de Materiales (CM) y la fijación del Precio de Venta (PV) para cada línea de producto. Esta diversificación es esencial, ya que el KIT PRO-TECH incluye la tecnología IoT (Módulo de Monitoreo) y, por lo tanto, es el actor estratégico para monetizar el servicio recurrente (Suscripción a la App) en la Unidad de Negocio 2. A continuación, se presenta la tabla que detalla el costo directo y la rentabilidad bruta de cada kit.

Kit	Componente Central y Tecnología	CM Estimado	Precio de Venta (PV)	Rentabilidad Bruta
1. NFT STARTER	Módulo NFT 5 canales (Base) + Suministros iniciales.	\$157.500 ARS	\$395.000 ARS	\$237.500 ARS
2. PRO-TECH	Módulo NFT 10 canales + Módulo IoT Monitoreo + Suministros (3 meses).	\$327.000 ARS	\$817.500 ARS	\$490.500 ARS
3. MAX-DENSIDAD	Estructura Vertical Premium (3 niveles) + Iluminación LED + Suministros.	\$242.500 ARS	\$606.250 ARS	\$363.750 ARS

La diversificación de la oferta permite maximizar la rentabilidad en el segmento Pro-Tech, que a pesar de tener el CM más alto por incluir la tecnología IoT, genera la mayor rentabilidad unitaria. Esto valida la estrategia de impulsar la venta de la línea tecnológica, ya que es la más rentable y la que alimenta el modelo de ingresos recurrentes de la Unidad de Servicios.

Punto de Equilibrio (PE)

Habiendo confirmado la alta rentabilidad unitaria de cada kit en el apartado anterior, el siguiente paso es determinar la cantidad mínima de ventas necesarias para cubrir los Costos Fijos de la operación, alcanzando así el Punto de Equilibrio. Para este análisis, se determinó un Mix de Ventas Ponderado con 50% Starter, 30% Pro-Tech, 20% Max-Densidad que nos permite calcular un Precio de Venta Promedio (Pvm) y aplicar el siguiente método.

Línea de Producto	Ponderación (%)	Rentabilidad Bruta por Kit
KIT 1 (Starter)	50%	\$237.500
KIT 2 (Pro-Tech)	30%	\$490.500
KIT 3 (Max-Densidad)	20%	\$363.750
Mix Total	100%	

- PE (Ventas) = Costos Fijos Anuales / Margen de Contribución Promedio
- PE (Unidades) = PE (Ventas) \ PV Ponderado
- $PV_m = (0.50 \ \$395.000) + (0.30 \ \$817.500) + (0.20 \ \$606.250) = \$197.500 + \$245.250 + \$121.250 = \$564.000$
- $PE (Ventas) = Costos Fijos Anuales \ Margen de Contribución Promedio = \$1.800.000 / 0.60 = \$3.000.000$
- $PE (Unidades) = PE (Ventas) \ PV_m = \$3.000.000 \ \$564.000 = \mathbf{5.32 Kits}$

El análisis demuestra que la Unidad de Negocio 1 solo requiere vender 6 kits por año (equivalente a 5.32 unidades) para alcanzar su Punto de Equilibrio. Este umbral excepcionalmente bajo valida la viabilidad financiera extrema del modelo, ya que el alto margen de contribución del 60% por kit absorbe rápidamente los costos fijos operativos y administrativos. Esto no solo posiciona a la unidad en zona de ganancias de forma casi inmediata, sino que libera capital de manera eficiente para la reinversión acelerada y la expansión estratégica de la Unidad de Negocio 2 (Capacitación y Servicios).

Estrategia de venta y gestión de inventarios

El objetivo primario del Año 1 es validar el modelo de negocio en la región de Rafaela, alcanzar el Punto de Equilibrio (6 kits) rápidamente y generar referencias de clientes de alto valor.

La misma se centrará en el proceso de adquisición, conversión y venta cruzada, utilizando la Unidad de Negocio 2 (Capacitación y Servicios) como la principal herramienta de marketing y fidelización para el hardware.

Para el primer año de operaciones, la estrategia de venta (comercial) se centrará en la validación del modelo de negocio en la región de Rafaela, priorizando la rentabilidad sobre el volumen masivo. El enfoque principal será la Venta Directa de Demostración Esta táctica consiste en identificar y captar a un grupo selecto de 10 a 15 referentes locales para convertirlos en Clientes Piloto. A estos referentes se les otorgará un beneficio en la adquisición del Kit Pro-Tech a cambio de permitir la documentación de sus resultados y actuar como puntos de referencia reales para potenciales compradores.

Complementariamente, el cómo vendemos se apoyará en la Unidad de Negocio 2 que son las capacitaciones. Utilizaremos seminarios web y talleres como un embudo de ventas de bajo costo, donde la educación sobre hidroponía genera la confianza necesaria para que el cliente realice su primera compra, generalmente el Kit Starter. Una vez que el cliente ingresa al ecosistema, la estrategia evoluciona hacia el up-selling, incentivando la migración hacia soluciones tecnológicas (IoT) después del primer ciclo de cosecha exitoso. Al canalizar todas las operaciones a través de un E-Commerce propio (D2C), eliminamos intermediarios, capturamos el 100% del margen bruto del 60% y mantenemos el control total sobre la base de datos de los usuarios.

Táctica de Venta para el Año 1	Detalle de la Ejecución	Objetivo Estratégico
Venta Directa de Demostración (Piloto)	Paso 1: Identificación y Oferta. Contactar a 10-15 líderes de opinión locales. Ofrecerles el KIT PRO-TECH con un descuento del 25% a cambio de ser Clientes Piloto que permitan visitas (con cita) y testimonios.	Generar Prueba Social: Establecer 15 puntos de referencia funcionales en Rafaela. Esto sustituye la publicidad pagada con credibilidad real.

Canal Único D2C (E-Commerce)	Limitar la venta al E-commerce propio y a la venta directa por contacto. Evitar intermediarios (Retail) en el Año 1.	Maximizar el Margen: Capturar el 100% del margen del 60% en cada venta para financiar la operación y la inversión en la App (UN 2).
Activación de la UN 2 (Conversión)	Webinars Mensuales Gratuitos exclusivos para la comunidad de Rafaela. El llamado a la acción es siempre la compra del KIT STARTER como "el primer paso garantizado".	Reducir el CAC: Usar el conocimiento (UN 2) como un <i>lead magnet</i> de bajo costo para generar ventas de bajo riesgo (Starter).
Venta de Alto Valor (Up-Selling)	Una vez vendido el Starter, el equipo comercial realiza un seguimiento a los 3 meses, enfocándose en la migración al KIT PRO-TECH (IoT). El argumento de venta es la tasa de retorno por la automatización del tiempo del cliente.	Asegurar la Recurrencia: Migrar clientes al PRO-TECH para que comiencen a generar Ingreso Recurrente por suscripción y venta automatizada de insumos.

Para alcanzar la sostenibilidad y superar el Punto de Equilibrio, la meta comercial mínima para el primer año se establece en 15 unidades totales. Este número permite no solo cubrir los costos fijos anuales (\$1.800.000 ARS), sino también generar una utilidad operativa para reinversión.

Línea de Kit	Cantidad de Ventas	Ingreso Unitario	Ingreso Total Anual	Rentabilidad Bruta Total
Kit Starter (50% del mix)	8 unidades	\$395.000	\$3.160.000	\$1.900.000

Kit Pro-Tech (30% del mix)	4 unidades	\$817.500	\$3.270.000	\$1.962.000
Kit Max-Densidad (20% del mix)	3 unidades	\$606.250	\$1.818.750	\$1.091.250
TOTALES	15 Unidades		\$8.248.750 ARS	\$4.953.250 ARS

El modelo de proyecciones para el primer año establece una meta de 15 unidades totales, una cifra que, analizada desde la perspectiva operativa, confirma la solidez y el bajo riesgo del proyecto. Para cumplir con este objetivo, la organización solo necesita concretar un promedio de 1,25 ventas mensuales. Esta meta se considera altamente alcanzable.

Desde el punto de vista financiero, alcanzar este nivel de ventas generaría un ingreso total de \$8.248.750 ARS, cifra que supera con creces el punto de equilibrio crítico de la unidad de negocio, situado en los \$3.000.000 ARS.

Finalmente, la eficiencia de la estrategia de venta se refleja en la utilidad operativa neta proyectada de \$3.153.250 ARS. Este excedente es fundamental para la fase de escalamiento, ya que proporciona el flujo de caja necesario para financiar la segunda etapa del negocio: el desarrollo de la infraestructura digital y la plataforma de servicios recurrentes de la Unidad de Negocio 2.

Asimismo, y dada la estabilidad del contexto económico y la necesidad de preservar el flujo de caja, la gestión de inventarios se regirá bajo un esquema de Ensamblaje Bajo Pedido (Make-to-Order). Bajo este modelo, la empresa no inmovilizará capital en kits terminados, sino que mantendrá un inventario optimizado de componentes básicos como lo son tuberías, bombas, depósito. Lo que reduce el riesgo de obsolescencia y los costos de almacenamiento.

Para poder operar con eficiencia y proteger el flujo de caja, la inversión en inventario se divide en Stock de Respuesta Inmediata y Componentes de Ensamblaje Crítico.

Categoría de Inventario	Cantidad	Costo Unitario (CM)	Inversión Total	Propósito
Kit Starter (Terminado)	2 unidades	\$157.500	\$315.000	Disponibilidad para entrega inmediata en ferias o visitas.
Componentes Base (PVC/Bombas)	Set para 3 kits	\$100.000	\$300.000	Cubrir pedidos del mes sin demoras de proveedores.
Módulos IoT (Electrónica)	2 unidades	\$15.000	\$30.000	Componente de mayor tiempo de importación/ensamblaje.
Insumos	Pack para 10 kits	\$5.000	\$50.000	Asegurar la entrega del "kit de arranque" en cada venta.
TOTAL INVERSIÓN INICIAL			\$695.000 ARS	

La política de gestión de inventarios para el primer año requiere una inversión inicial de \$695.000 ARS, lo que representa menos del 10% de los ingresos totales proyectados. Esta cifra demuestra una alta eficiencia en el uso del capital, ya que la mayor parte del flujo de caja permanece líquido en lugar de estar inmovilizado en estanterías.

Bajo el modelo Just-in-Time, el ciclo de reposición se activa sólo tras la confirmación de venta, manteniendo un nivel de Stock de Seguridad que cubre únicamente el 20% de la demanda anual estimada. Esto no solo reduce los costos de almacenamiento y seguros, sino que permite que la PYME se adapte rápidamente a mejoras tecnológicas o cambios en los precios

de los proveedores sin sufrir pérdidas por stock obsoleto. En términos de riesgo, incluso en un escenario de ventas nulas, el capital expuesto en mercadería es mínimo y fácilmente liquidable debido a la naturaleza estandarizada de sus componentes básicos.

Unidad de Negocio 2: Raíces Tech - Academia y Monitoreo Inteligente

Esta unidad nace para resolver el principal punto de dolor del consumidor, el miedo al fracaso del cultivo por falta de conocimiento técnico. Mientras que la UN 1 provee la infraestructura física, Raíces Tech se posiciona como un servicio digital y educativo que garantiza el éxito del usuario. Se basa en un modelo de Ingresos Recurrentes y servicios de alto valor percibido, desvinculando el crecimiento de la empresa de la simple fabricación de kits y convirtiéndola en un ecosistema de soporte integral.

La propuesta de valor de Raíces Tech va más allá de la oferta educativa convencional; su objetivo fundamental no es únicamente la transferencia de información, sino la garantía de resultados productivos para el usuario final. En un contexto donde la complejidad técnica de la hidroponía suele actuar como una barrera de entrada o una causa de abandono, esta unidad de negocio ofrece tranquilidad, precisión y eficiencia mediante tres pilares estratégicos:

- **Democratización del conocimiento técnico:** La plataforma actúa como un traductor de variables agronómicas. Procesos tales como la regulación del potencial de hidrógeno (pH) o la conductividad eléctrica (EC), son transformados en instrucciones simples, visuales y accionables. Esto permite que cualquier perfil de usuario, independientemente de su formación previa, pueda gestionar un cultivo de alto rendimiento con éxito profesional.
- **Optimización del tiempo mediante tecnología IoT:** A través de la integración con el hardware de la Unidad de Negocio 1, la plataforma elimina la necesidad de una supervisión constante y experta por parte del cliente. El sistema de monitoreo inteligente asume la responsabilidad de la vigilancia 24/7, procesando datos en tiempo real para emitir alertas preventivas. De este modo, el usuario interviene únicamente cuando el sistema lo solicita, reduciendo el esfuerzo operativo y minimizando el margen de error humano.
- **Sustentabilidad asistida y eficiencia de recursos:** La propuesta garantiza una operación ambientalmente responsable al asegurar que el uso de recursos críticos —agua, nutrientes y energía eléctrica— sea el estrictamente necesario para alcanzar la máxima productividad. Esta optimización no solo reduce el impacto ambiental del cultivo urbano, sino que también mejora la estructura de costos operativos para el usuario, reforzando la viabilidad económica de su propia producción.

La oferta de servicios de Raíces Tech se ha estructurado en tres niveles jerárquicos, diseñados para capturar valor en distintas etapas del ciclo de vida del cliente. Los precios han sido determinados según lo expuesto a continuación.

Servicio	Formato	Descripción	Precio Sugerido
Academia Raíces (Máster)	On-demand	Formación integral desde niveles iniciales a avanzados.	\$45.000 ARS (Pago único)
Suscripción Pro-Grower	Digital (App)	Monitoreo IoT en tiempo real y soporte preventivo.	\$8.500 ARS (Mensual)
Asesoría Personalizada	1 a 1	Consultoría técnica directa para proyectos a medida.	\$25.000 ARS (Sesión)

Academia Raíces (Máster) actúa como el producto de entrada al ecosistema de conocimiento. Se justifica por la transferencia de know-how que evita que el cliente pierda su inversión inicial en semillas y nutrientes por errores básicos.

El monto de \$45.000 ARS se ha fijado tomando como referencia el costo del Kit Starter, lo que representa el 10% aproximadamente del valor del Kit, lo que lo posiciona como una inversión complementaria accesible y de alto retorno inmediato.

Es el núcleo del modelo de ingresos recurrentes, es la Suscripción Pro-Grower. Su valor radica en la tranquilidad del usuario y la automatización del control de riesgos. El servicio incluye el mantenimiento de servidores para la recepción de datos del Módulo IoT y la actualización de los algoritmos de recomendación.

El abono mensual de \$8.500 ARS se asimila al costo de una suscripción a plataformas digitales. Este precio se ha validado considerando que el costo diario de "seguridad de cultivo"

es inferior al valor de una sola planta de lechuga premium en el mercado, lo que hace que el servicio se pague solo al evitar la pérdida de producción.

Destinada a usuarios con proyectos de mayor escala o problemas específicos que requieren la intervención de un experto, se piensa el servicio de Asesoría Personalizada. Es un servicio de alta intensidad de mano de obra que busca monetizar directamente el tiempo profesional del asesor.

El valor de \$25.000 ARS por sesión se basa en el costo por hora de honorarios profesionales de consultoría técnica junior/semi-senior. Posicionándose como un servicio premium para asegurar que el volumen de solicitudes no desborde la capacidad operativa de la empresa en su etapa inicial, priorizando la calidad del soporte sobre la cantidad.

El pilar de rentabilidad a largo plazo de Raíces Tech reside en su modelo de Software as a Service (SaaS). Este esquema permite desvincular el crecimiento de los ingresos de los costos variables de fabricación, generando un flujo de caja previsible y estable.

El modelo se activa mediante una estrategia en la que cada comprador de un Kit Pro-Tech recibe una licencia de cortesía por 90 días, período suficiente para completar un ciclo de cosecha completo y percibir el valor del monitoreo automatizado. Tras este período, el acceso a las funciones avanzadas de la App y al soporte preventivo se mantiene mediante el pago de la suscripción Pro-Grower.

La recurrencia no solo se limita al abono mensual; la plataforma actúa como un canal de venta cautivo. Al monitorear el consumo de nutrientes y el estado de los componentes, el sistema anticipa la necesidad de reposición y facilita la compra directa en nuestro E-commerce, integrando así la venta de insumos físicos con la inteligencia digital.

Para el primer año de operaciones, se han establecido objetivos estratégicos, orientados a la validación de la plataforma y la formación de una comunidad inicial.

Se proyecta que el 80% de los compradores de Kits Pro-Tech mantendrán su suscripción activa tras el periodo de prueba. Con una venta estimada de 4 unidades Pro-Tech en el año, se apunta a finalizar el ejercicio con una base de suscriptores constante.

El objetivo es alcanzar los 50 alumnos anuales en Academia Raíces (Máster). Esta meta se apoya en el uso del curso como herramienta de marketing y embudo de ventas para los kits físicos, con un estimado de ingresos equivalentes a \$2.250.000

La relevancia de Raíces Tech radica en su estructura de Costo Marginal Cercano a Cero. A diferencia de los kits, donde cada venta implica costos de materiales y logística, un nuevo

alumno o suscriptor no genera costos significativos adicionales. Por lo tanto, el margen de contribución de esta unidad es cercano al 95%, lo que la convierte en el motor de utilidad neta de la organización y en la principal defensa ante variaciones de costos en la fabricación de hardware.

Conclusiones

Finalizado el desarrollo del presente proyecto, se concluye que la implementación del modelo de negocio propuesto es altamente factible desde las dimensiones técnica, operativa y financiera. La investigación ha permitido validar que la modularidad de los sistemas y la integración de sensores de monitoreo resuelven las principales barreras de adopción en el mercado local.

Desde la perspectiva de gestión, se destaca que la estrategia de inventarios 'Just-in-Time' y el enfoque en canales de venta directos optimizan el uso de los recursos iniciales, permitiendo una estructura ágil y resiliente ante contextos económicos volátiles. La principal contribución de este trabajo radica en la demostración de que la transición hacia una oferta de servicios, garantiza una rentabilidad superior a la venta de hardware tradicional.

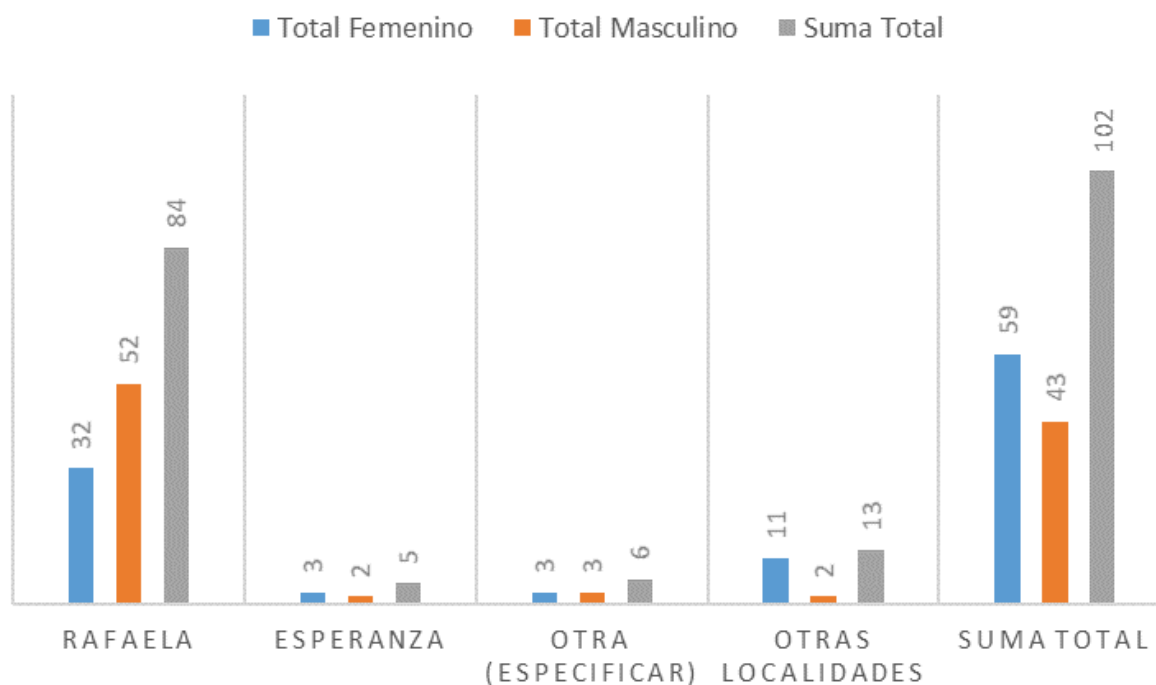
El proyecto se presenta como una solución innovadora y lista para su ejecución, con un potencial de escalabilidad que posiciona a la tecnología agrícola como una herramienta accesible para la soberanía alimentaria urbana.

Anexo

Resultados de la Investigación de Mercado

El presente anexo detalla los resultados de la encuesta realizada a un total de **102 participantes** entre Rafaela, localidades aledañas y otras ubicaciones. Dicha investigación tuvo como objetivo validar el interés del consumidor potencial en la huerta hidropónica modular y sus necesidades clave, información esencial para la determinación de la factibilidad del proyecto.

DISTRIBUCIÓN DE ENCUESTADOS POR LOCALIDAD Y GÉNERO



El gráfico demuestra que la investigación posee una fuerte representatividad en el área de estudio principal, con 84 encuestados (aproximadamente el 82%) radicados en Rafaela. Esto asegura que las preferencias y necesidades identificadas son específicas del mercado objetivo. La participación por género fue mayoritariamente femenina, con un 58% del total de respuestas (59 mujeres frente a 43 hombres).

Tabla I: Distribución de Encuestados por Localidad y Género

Localidad	Total Femenino	Total Masculino	Suma Total
Rafaela	32	52	84
Esperanza	3	2	5
Otra (Especificar)	3	3	6
Otras Localidades	11	2	13
Suma Total	59	43	102

Tabla II: Interés en Recibir Capacitación o Asesoramiento

Respuesta	Cuenta	Porcentaje
Sí	102	100%

El resultado de esta pregunta es decisivo para la estrategia de implementación del proyecto. El 100% de los encuestados manifestó estar interesado en recibir capacitación o asesoramiento para aprender a usar y mantener su huerta hidropónica modular. Este dato valida la inclusión del Plan de Capacitación y Asesoramiento como un componente no solo deseable, sino necesario y obligatorio dentro de la propuesta de valor del emprendimiento. Dicha capacitación debe enfocarse en la simplicidad operativa, mitigando la percepción de complejidad técnica que rodea a la hidroponía.

Tabla III: Factores Clave de Decisión de Compra

Beneficio Prioritario	Cuenta	Porcentaje
Obtención de Alimentos Libres de Agroquímicos	45	44.1%
Ahorro Económico en la Compra de Hortalizas	30	29.4%
Frescura y Mejor Sabor de los Productos	15	14.7%
Utilización de Espacios Reducidos (Ventaja Urbana)	12	11.8%
Suma Total	102	100%

Esta gráfica proporciona un valor agregado fundamental para el posicionamiento de mercado del proyecto. Se observa que el factor principal que motiva la adquisición de la huerta hidropónica modular es la calidad y seguridad alimentaria, con un 44.1% de los encuestados priorizando la obtención de alimentos libres de agregados químicos.

Aunque el Ahorro Económico (29.4%) es un factor fuerte, el consumidor potencial está dispuesto a invertir en el módulo primariamente por razones de salud y confianza. Esta investigación indica que la estrategia de comunicación y venta del proyecto debe enfatizar fuertemente la seguridad alimentaria, la pureza del cultivo y la trazabilidad, más que el mero ahorro de costos. La Propuesta de Valor debe centrarse en la salud de la familia y la conciencia ambiental.

La investigación de mercado confirmó la existencia de un interés masivo y una demanda creciente por la solución de cultivo hidropónico modular dentro de Rafaela. La alta concentración de respuestas en la localidad valida la pertinencia del estudio. El hallazgo clave es que, si bien existe interés, este está condicionado a la provisión de un servicio de acompañamiento completo y accesible. Por lo tanto, el éxito del proyecto no solo se centra en

la calidad técnica del módulo, sino en la estrategia de soporte post-venta y la simplificación de la curva de aprendizaje para el usuario final.

Bibliografía

- [1] Iberdrola. (s.f.). *Hidroponía: Qué es y Ventajas de este Sistema de Cultivo*. Disponible en: <https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/que-es-hidroponia-y-ventajas>
- [2] Groho.es. (s.f.). *Comprender los principios básicos de la hidroponía*. Disponible en: <https://www.groho.es/post/principios-basicos-hidroponia>
- [5] Marulanda, C., & Izquierdo, J. (2003). *La Huerta Hidropónica Popular: Curso Audiovisual (3ra ed. ampliada y revisada)*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe. [[HHP - ESPAÑOL 200311.pdf](#)]([HHP - ESPAÑOL 200311.pdf](#))
- Resh, H. M. (2012). *Hydroponic Food Production: A Definitive Guidebook for the Advanced Home Gardener and the Commercial Hydroponic Grower*. CRC Press.
- Contreras, L., Valenzuela, C., & Zambelli, M. (2023). *EL FUTURO ES VERDE: Diseño de una estrategia de marketing para promover el posicionamiento del Kit de hidroponía para el hogar (Trabajo Final de Grado, Universidad Nacional de Rafaela)*.
- [6] Boidi, F., Fassi, A., & Osorio, A. (2022). *Cultivo hidropónico Plantagua [Tesis de grado]*. Universidad Tecnológica Nacional.
- [7] Zárate Aquino, M. A. (2014). *Manual de hidroponia*. Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México.
- ICEDEL - Instituto de Ciencias Económicas y del Desarrollo Local. (2024). *Relevamiento Socioeconómico del Aglomerado Rafaela 2024*. Municipalidad de Rafaela. Recuperado de https://icedel.rafaela.gob.ar/archivos/ORDICEdel/ICEDEL_RelevamientoSocioEconomico_2024.pdf
- Beltrano, J., & Gimenez, D. O. (2015). *Cultivo en hidroponía*.