

COST ASSESSMENT FOR IMPLEMENTING VERTICAL HYDROPONIC CULTIVATION IN RADISH (*RAPHANUS SATIVUS*) PRODUCTION – FAMILY VERTICAL FARMING

Rondán-Sanabria Gerby Giovanna, PhD.¹; Castillo Peñaloza Diego Orlando, Bachiller¹; Velásquez Choque Melani Brigitte, Bachiller¹; Velarde Allazo Edwar Andrés, MSc.¹

¹Universidad Tecnológica del Perú, Arequipa-Perú. C16238@utp.edu.pe, 1636759@utp.edu.pe, u17213203@utp.edu.pe, evelarde@utp.edu.pe

Abstract – Family vertical farming represents an innovative approach to food cultivation, utilizing stacked layers or shelves within buildings or homes to make the most of limited space. This method allows for enhanced control over agrochemical usage and the efficient utilization of resources like water, nutrients, and energy, ultimately resulting in a substantial decrease in operational expenses. From this standpoint, the objective of this study was to evaluate the expenses associated with setting up a hydroponic system on both extensive and limited scales as an innovative cultivation method devoid of pesticide use. To achieve this goal, a prototype of a vertical hydroponic system spanning around 1m² was built, yielding a harvest of 240 elongated radishes with an average weight of 15g. Meanwhile, the leaves showcased an average leaf area of 160 cm². While the results were satisfactory, the necessity for improving bulb development is recognized. This prototype had an initial cost of \$246.55. However, when projecting this investment to a larger scale for an area of 25 m², it was estimated that a total of 12,000 radishes could be obtained in a single harvest, as demonstrated in the prototype. The economic results support the viability of the project, as the Net Present Value (NPV) is \$21,725.03, the Internal Rate of Return (IRR) is 78%, and the cost-benefit ratio is 3.44

Keywords – Hydroponic system, family farming, Raphanus sativus, profitability, financial indicators

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LEIRD).
ISSN, ISBN: (to be inserted by LEIRD).
DO NOT REMOVE

EVALUACIÓN DE COSTOS PARA IMPLEMENTAR UN CULTIVO HIDROPÓNICO VERTICAL EN LA PRODUCCIÓN DE RÁBANOS (*RAPHANUS SATIVUS*) AGRICULTURA VERTICAL FAMILIAR.

Rondán-Sanabria Gerby Giovanna, PhD.¹; Castillo Peñaloza Diego Orlando, Bachiller¹; Velásquez Choque Melani Brigitte, Bachiller¹; Velarde Allazo Edwar Andrés, MSc.¹

¹Universidad Tecnológica del Perú, Arequipa-Perú. C16238@utp.edu.pe, 1636759@utp.edu.pe, u17213203@utp.edu.pe, evelarde@utp.edu.pe

Resumen – La agricultura vertical familiar podría ser un enfoque innovador para cultivar alimentos, en pilas superpuestas o en estantes dentro de edificios o viviendas, ocupando pequeños espacios. Facilitando un mayor control sobre el uso de agroquímicos y la optimización de recursos como agua, nutrientes y energía, conduciendo a una reducción significativa de los costos operativos. Desde esta perspectiva, el objetivo de este estudio fue evaluar los costos para la construcción de un sistema hidropónico a gran y pequeña escala como una nueva forma de cultivo sin uso de pesticidas. Para ello, se construyó un prototipo de un sistema hidropónico vertical de aproximadamente 1m², lo cual resultó en la obtención de un total de 240 rabanitos con bulbos alargados, cuyo peso medio alcanzó los 15 g, mientras que las hojas presentaron un área foliar promedio de 160 cm². Si bien, los resultados fueron satisfactorios, se reconoce la necesidad de mejorar el desarrollo de los bulbos. Este prototipo tuvo un costo inicial de \$246,55. Sin embargo, al proyectar esta inversión a una escala más para una superficie de 25 m², se estimó que se podrían obtener un total de 12,000 rabanitos en una sola cosecha, según lo demostrado en el prototipo. Los resultados económicos respaldan la viabilidad del proyecto, ya que el Valor Presente Neto (VPN) es de \$ 21,725.03, además la Tasa Interna de Retorno (TIR) es de 78%, y el índice de costo beneficio es de 3,44.

Palabras clave – Sistema hidropónico, agricultura familiar, *Raphanus sativus*, rentabilidad, indicadores financieros

I. INTRODUCCIÓN

La agricultura sostenible se caracteriza por la aplicación de estrategias agrícolas con el objetivo de una mejor producción de alimentos mejorando la calidad ambiental de los recursos [1], con este tipo de agricultura las personas pueden mejorar su calidad de vida y no dañando el medio ambiente [2]. La agricultura vertical se enfoca en la aplicación de estas estrategias al igual la aplicación de la tecnología avanzada en la producción de alimentos, este tipo de agricultura no necesita suelo para que la planta se desarrolle y cuenta con un enfoque moderno y sostenible.

La hidroponía y la aeroponía son tipos de agricultura vertical sostenible [3]. En este tipo de cultivo no requiere el uso de pesticidas y se optimizan mejor los recursos naturales [4]. La hidroponía mencionada anteriormente no requiere el uso del suelo para la producción de alimentos, el único recurso natural que se requiere es el agua combinada con una solución nutritiva para el crecimiento de las plantas [5]. Unas de las ventajas más importantes de la hidroponía es la reutilización del agua optimizando mejor el uso de este, además no necesita la aplicación de pesticidas, puesto que se evita las plagas y enfermedades que podrían contraer las plantas [6].

Richardson y Arlotta [7] plantaron seis cultivares de tomate Cherry en un sistema hidropónico y acuapónico, este estudio lo realizaron para analizar la mejor producción de tomate y su comercialidad, el tipo de tomate Cherry Terenzo y Tumber destacaron, obtuvieron una mayor masa de fruto a base de una solución nutritiva N, P, K, concluyendo que el cultivo en el sistema hidropónico es más eficaz que el acuapónico, los resultados en cuanto al contenido mineral no fueron altos ni tampoco bajos [7].

Al igual, Khan *et. al.* [8] Cultivaron tomates Cherry (*Solanum Lycopersicum*) en un sistema hidropónico vertical, en la cual utilizaron fibra de coco y lana de roca como sustratos, además de 1300 ppm de CO₂ y agua destilada. Los autores monitorearon el crecimiento y calidad del tomate Cherry en 9 cultivares, obtuvieron un tamaño mayor en el fruto, al igual que el peso del fruto y el rendimiento del fruto del cultivo Beefsteak [8]. Por otro lado, Fernández *et. al.* [9] cultivaron en tres sistemas hidropónicos para analizar la calidad y también el rendimiento nutricional que puede obtener el tomate *Lycopersicon Esculentum Mill. Var. Moscatel RZ* usando fibra de coco, el pH del cultivo estuvo entre 6 ± 0,3 en cuanto a la capacidad eléctrica 2 ± 0,2 mScm⁻¹, la temperatura del cultivo en la mañana fue de 26 ± 5°C y por la noche fue de 21 ± 5°C, dando resultados como un mayor contenido de proteínas y lípidos, un 51.9% de textura, y en cuanto al sabor, un mejor sabor de tomates en este sistema [9].

Kerckhoff H. y Zhang L. [10] cultivaron rabanos en

tres cultivares, con el propósito de analizar las características obtenidas por la planta, aplicaron K, NO₃ y NH₄, concluyendo que estos nutrientes resultaron mejor de la solución Hoagland y Arnon [10]. En otro estudio realizado Hosseini et. al. [11] cultivaron lechugas, aplicaron soluciones nutritivas de Hoagland y Arnon dando resultados como la diferencia entre hojas, los pesos de las hojas y las raíces de las plantas [11].

Cada uno de estos estudios previos ha demostrado un impacto significativo en la mejora de la calidad y nutrientes, así como en el aumento de la masa de los frutos y otros aspectos de los cultivos. No obstante, un elemento crítico que hasta ahora ha quedado en segundo plano es la evaluación de costos asociados con la construcción de estos sistemas innovadores. Por lo tanto, este estudio cobra un valor especial al centrarse en un análisis exhaustivo de los costos involucrados en la adopción de esta tecnología en la agricultura familiar

II. MATERIALES Y MÉTODOS

A. Área de estudio

Este estudio se llevó a cabo en la ciudad de Arequipa - Perú, la ciudad cuenta con una temperatura máxima de 22°C y mínima de 11°C, presenta un clima fresco en las mañanas y alta radiación solar.

En el mes de octubre la ciudad de Arequipa presenta la temperatura más alta en comparación con los demás meses, en los meses de enero a marzo [12].

B. Diseño del prototipo de hidroponía vertical

Inicialmente, se llevó a cabo la construcción de la estructura utilizando un estante metálico, que adoptó una forma piramidal con un ángulo de inclinación de 75°. La altura de la estructura alcanzó los 1.5 metros, con la capacidad de alojar 4 tuberías por cada lado. Sus dimensiones comprendieron un largo de 1.65 metros y un ancho de 0.65 metros. Para la composición de las tuberías, se optó por tubos de PVC de 4 pulgadas de longitud, cada uno de 1 metro. En estos tubos se realizaron 10 orificios de 5 cm de diámetro, separados a una distancia de 4 cm entre sí. Las tuberías de 4 pulgadas se unieron con los tubos de 2 pulgadas, empleando además una reducción de 4 pulgadas a 2 pulgadas para establecer la conexión. Esto permitió que los tubos fueran alimentados con agua y que el agua pudiera recircular por todo el sistema de tuberías hasta llegar al contenedor de agua. Para lograr este proceso, se empleó una bomba de agua que proporcionó la fuerza necesaria para impulsar el flujo.

C. Condiciones del cultivo

El experimento se desarrolló entre los meses de mayo y junio del 2023, se utilizó la variedad de rábano Champions, inicialmente se plantó 4 semillas en cada vaso desechable añadiéndoles el Plug-mix #8, este sustrato está compuesto por perlita, turba rubia y NPK (nitrógeno, fósforo y potasio), se realizó un riego diario, para mantener húmedo el cultivo en el sustrato, lo cual es crucial para la germinación de la semilla (fig. 1A).

Después de transcurrir 10 días, se trasplanto las plántulas al sistema hidropónico en pequeños maceteros hidropónicos, los cuales se colocaron en cada orificio del tubo PVC (Fig. 1B y C). De esta manera las plantas pudieron absorber los nutrientes del compuesto nutritivo AB. El componente A contenía, superfosfato triple de calcio, nitrato de potasio y nitrato de amonio, en cuanto a B, micronutrientes como molibdeno, zinc, cloro, manganeso, cobre, boro y hierro, macronutrientes como sulfato de magnesio. La temperatura osciló entre 10°C a los 23.5°C, en cuanto al pH, se ajustó entre 5.5 y 7 y la conductividad eléctrica 3130-4658 uS/cm o 1651-2422 ppm. Además, se comparó con un control, cultivado de modo convencional (Fig. 2A-B).



Fig. 1. A) Plántulas de rábano germinados en Plug-Mix #8 al aire libre y en sombra. B) Estructura hidropónica vertical y C) Plántula de rábano insertados en los vasos hidropónicos.

Durante el periodo de desarrollo de la planta se realizó un monitoreo de los parámetros indicados anteriormente para tener una buena producción de rabanitos.

D. Supuestos de costos y análisis económico.

Para llevar a cabo el análisis de costos del sistema hidropónico, se comenzó con la identificación de los costos relacionados con cada componente del sistema. Durante esta etapa, se profundizó en los costos unitarios, así como en los aspectos fijos y variables de los gastos. Posteriormente, se procedió a realizar una proyección a gran escala utilizando indicadores financieros del Valor Actual Neto (VAN - ecuación 2) y la Tasa Interna de Retorno (TIR - ecuación 1). El propósito principal de esta metodología fue evaluar la viabilidad del proyecto y determinar el período en el cual se comenzarán a generar beneficios. Esto, a su vez, permitirá cubrir la inversión inicial o el capital requerido para la implementación exitosa del proyecto.

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

$$VAN = \sum_j^n = 1 \frac{Fn_j}{(1+i)^j} - I_0 \quad (2)$$

Dónde: F_n es el flujo de caja en el periodo n ; n es el número de periodos, i es el valor de la inversión inicial

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A. Producción de rábanos en sistema hidropónico vertical

El cultivo de rábanos para este estudio se realizó durante el período de otoño en los meses de mayo y junio de 2023, cuando las temperaturas oscilaron entre 7 y 15°C. Una vez plantadas las semillas, el proceso de germinación y trasplante fue de 10 días. La duración total del cultivo de rábanos en el sistema hidropónico fue de 40 días. Durante todo este proceso, se observó varios hallazgos: una vez que las plántulas fueron introducidas en el sistema hidropónico, se evidenció un rápido crecimiento del área foliar (Figura 2A), esto podría estar relacionada con un posible exceso de nitratos o amonio en la solución nutritiva, lo que, a su vez podría perjudicar el desarrollo de los bulbos. La formación de los bulbos se observó en el día 25, y en algunos casos se detectaron grietas en las paredes de los bulbos. Las cuales podrían ser causadas por diversos factores, fluctuaciones en el riego que causaron estrés en las plantas, niveles inadecuados de humedad en el ambiente o un desequilibrio en la solución nutritiva [17]. Es relevante mencionar que el cultivo se llevó a cabo durante la estación más fría de la ciudad de Arequipa, ocasionando cambios abruptos en el entorno del cultivo, posiblemente provocando estrés en los rábanos. A pesar de estos desafíos ambientales, se logró obtener tres rábanos por canasta, los cuales presentaron apariencia y textura característica de esta hortaliza, mostrando ser viable la producción en las condiciones realizadas (Figuras 2B- C). El ciclo de cultivo se completó en 40 días desde el inicio del proceso. Se observó que los bulbos cultivados en el sistema hidropónico presentaron una forma alargada, acompañada de raíces más extensa. A diferencia, el cultivo convencional produjo bulbos más compactos y raíces más pequeñas. Esta disparidad en el crecimiento podría ser atribuida a la resistencia que enfrentan ambos métodos de cultivo. El cultivo en suelo, las plantas enfrentan resistencia, pudiendo ralentizar y resultar en bulbos más compactos a diferencia del cultivo hidropónico, no hay resistencia y crecen libremente desarrollando bulbos de mayor longitud (con una altura que osciló entre 3.5 y 4.5 cm y un ancho de 3.2 a 2.7 cm). Como también, el área foliar en el cultivo hidropónico alcanzó una extensión de 160 cm² ver Figura 2^a



Fig. 2. A) Cultivo de rabanitos después de los 39 días de desarrollo en el sistema hidropónico. B-C) Cultivo convencional de rabanitos

B. Análisis de costos a menor y mayor escala

En la Tabla 1 se detallan los costos de los materiales e insumos necesarios para la implementación de un sistema hidropónico a nivel de laboratorio. Con base en el costo total invertido de \$246.55, se puede afirmar que se logró un cultivo exitoso al obtener 240 rábanos en un área de 1 m². La eficiencia espacial, una de las ventajas distintivas de la agricultura vertical, permitió obtener rendimientos significativos en espacios reducidos. Esta inversión puede considerarse de bajo costo, lo cual se refleja en los resultados de los indicadores financieros (ver Tabla 1).

Por otro lado, en otros estudios se reportaron costos totales de \$170 dólares para un área de 6 m² con una producción de 60 lechugas. Además, se encontraron investigaciones donde se utilizó un enfoque basado en la acuaponía, obteniendo un costo total de \$822 dólares para un área de 8 m² [13] [14]. Para la construcción del prototipo, se pudo aprovechar de la mejor manera la altura a fin de obtener una mayor producción de rabanitos. Este costo total equivalente para un área de 1m² fue proyectado a una escala más amplia con el fin de evaluar su rentabilidad. Para lograr esto, se consideró una superficie total de 25 m² y una altura de 3 metros. En este escenario de construcción ampliada, se necesitarán 50 veces la cantidad de materiales mencionados en la Tabla 2 para llevar a cabo la implementación.

También es esencial comprender los costos asociados a cada unidad de cultivo hidropónico, que incluye las plántulas germinadas, esponjas, 5 litros de sustrato y la solución nutritiva AB. Esto resulta en un costo variable total de \$11.52. Posteriormente, se requiere conocer el precio al cual se comercializan los rabanitos en la localidad de Arequipa. Conforme al mercado local, el precio de venta por un manojo de rabanitos (conteniendo entre 8 y 10 plantas) es de \$1.36 (Tabla 3).

TABLA 1
Costos de materiales empleados para la implementación del sistema hidropónico vertical en un área de 1m²

Componentes	Cantidad	Costo unitario (\$/.)	Costo Total (\$/.)
Costo fijo			
Luz (Bomba 370w)	14.5 h	0.8112 KW/h	\$ 1.35
Agua (Tanque)	100 litros	0.31 \$ /m ³	\$ 1.35
COSTO FIJO TOTAL			\$ 2.71
Costo variable			
Soporte Metal	1 unidad	\$ 18.94	\$ 18.94
PVC tubo 4"	3 unidades	\$ 6.77	\$ 20.30
PVC tubo 2"	1 unidad	\$ 3.25	\$ 3.25
PVC tubo 1"	1 unidad	\$ 9.47	\$ 9.47
PVC codo 1"	6 unidades	\$ 1.22	\$ 7.31
PVC codo 2"	14 unidad	\$ 0.54	\$ 7.58
PVC universal 1"	1 unidad	\$ 1.62	\$ 1.62
PVC reducción 4 - 2"	14 unidades	\$ 1.62	\$ 22.73
Metal Abrazadera	16 unidades	\$ 0.68	\$ 10.83
PVC tapa	2 unidades	\$ 0.81	\$ 1.62
PVC T 4"	1 unidad	\$ 1.22	\$ 1.22
Válvula check	1 unidad	\$ 15.70	\$ 15.70
Tanque de agua	1 unidad	\$ 11.37	\$ 11.37
Timer digital	1 unidad	\$ 23.00	\$ 23.00
Ph medidor	1 unidad	\$ 23.00	\$ 23.00
Bomba de agua	1 unidad	\$ 21.65	\$ 21.65
Medidor de CE	1 unidad	\$ 23.00	\$ 23.00
5 litros Sustrato	1 paquete	\$ 2.30	\$ 2.30
Semillas	1 paquete	\$ 1.35	\$ 1.35
Mac. Hidropónica	1 unidad	\$ 9.74	\$ 9.74
Espanja	2 unidades	\$ 0.81	\$ 1.62
Solución Nutritiva AB	1 litro	\$ 6.22	\$ 6.22
Costo variable total			\$ 243.84
Costo total			\$ 246.55

Realizando un cálculo basado en la cantidad de bulbos de rabanito producido en el sistema hidropónico (240 en total), y si cada manojo contiene 10 bulbos, se obtendrían 24 racimos listos para la venta. Si dividimos el costo variable total entre el costo por racimo o manojo, el costo de producción resultante sería de \$0.48. Este valor se considera bastante bajo en términos de costo de producción, además es muy importante considerar en Tabla 3)

Con los datos presentados hasta este punto, será posible emplear tanto la inversión como la vida útil, así como también evaluar la producción anual, los costos variables, el precio de venta y, por último, los costos fijos para el primer año. Estos elementos se utilizaron para llevar a cabo el cálculo de diversos indicadores financieros, tales como la Tasa Interna de Retorno, el Valor Presente Neto y el Valor Actual Neto, cuyos cálculos están registrados en la Tabla 3.

TABLA 2
Cálculo de costos para un área de 25m² de sistemas hidropónicos

Componentes	Cantidad	Costo 50 veces (\$/.)
Costos fijos		
Luz (Bomba 370w)	14.5 h	\$ 67.75
Agua (Tanque)	100 litros	\$ 67.75
COSTO FIJO TOTAL		\$ 135.50
Costos variables		
Soporte Metal	50 unidad	\$ 948.51
PVC tubo 4"	150 unidades	\$ 1,016.26
PVC tubo 2"	50 unidades	\$ 162.60
PVC tubo 1"	50 unidades	\$ 474.25
PVC codo 1"	300 unidades	\$ 365.85
PVC codo 2"	700 unidades	\$ 379.40
PVC universal 1"	50 unidades	\$ 81.30
PVC reducción 4 - 2"	700 unidades	\$ 1,138.21
Metal Abrazadera	800 unidades	\$ 542.01
PVC tapa	100 unidades	\$ 81.30
PVC T 4"	50 unidades	\$ 60.98
Válvula check	50 unidades	\$ 785.91
Tanque de agua	50 unidades	\$ 569.11
Bomba de agua	50 unidades	\$ 1,084.01
5 litros Sustrato	50 paquetes	\$ 115.18
Semillas	50 paquetes	\$ 67.75
Mac. Hidropónica	50 unidades	\$ 487.80
Espanja	100 unidades	\$ 81.30
Solución Nutritiva AB	50 litros	\$ 311.65
Costo variable total		\$ 8,753.39
Costo total		\$ 8,888.89

En la tabla 3 se muestra la tasa de oportunidad aplicada en el Perú, la cual se establece en un 8%, de acuerdo con la información proporcionada por el MEF (Ministerio de Economía y Finanzas). Se ha proyectado una vida útil de 5 años, considerando la duración prevista de la bomba de agua empleada en el sistema de recirculación.

Con el propósito de mantener un impacto positivo en los cálculos de los indicadores de viabilidad financiera, se ha incluido un incremento anual del 5% tanto en el precio de venta como en los costos variables, estableciéndolo como valor mínimo. Además, se prevé un aumento anual de los costos fijos del 1,25%, basado en los datos proporcionados por el INEI [15

Estos datos son esenciales para llevar a cabo un análisis financiero adecuado y evaluar la rentabilidad y sustentabilidad del proyecto a lo largo del tiempo. Además, este cultivo puede ser más sostenible en términos de recursos, pudiendo gestionar los residuos y se minimizará el impacto ambiental.

TABLA 3
CÁLCULO DEL VAN, VPN, TIR Y COSTO BENEFICIO

PROYECTO PRODUCCION DE RÁBANOS	
Inversión	\$ 8,888.89
Vida útil del proyecto (años)	5
Producción anual (unidad)	12000
Precio venta \$/unidad (PVU)	\$ 1.36
Incremento al año	5%
Costos variables \$/unidad	\$ 0.48
Incremento al año	5%
Costos Fijos del 1er año	\$ 1,355.01
Incremento al año	1.25%
Impuesto a la renta	30%
Indicadores de Bondad Financiera	
Tasa de descuento	8%
TIR	78%
VPN	\$ 21,725.03
VAN	\$ 21,725.03
Costo/Beneficio	3.44

TIR: Tasa Interna de Retorno; VPN: Valor Presente Neto; VAN: Valor Actual neto

C. Indicadores de Bondad Financiera

En la Tabla 3, se destaca que el indicador TIR exhibe un valor del 78%, indicando la solidez de la rentabilidad del proyecto al superar la tasa de oportunidad. De manera adicional, el VAN arroja un valor positivo de \$21,725.03, lo que respalda la noción de que la inversión realizada generará beneficios y confirma la viabilidad del proyecto. Además, la relación COSTO/BENEFICIO se establece en 3.44, sugiriendo una rentabilidad del proyecto evaluado al ser superior a 1. En comparación con otros cultivos hidropónicos, como la producción de hortalizas mediante un sistema hidropónico de 2475 m², con una inversión total de \$89,653.66, el VAN alcanza los \$177,845.74.

Esto demuestra que el proyecto es económicamente viable y tiene el potencial de generar utilidades por encima del costo de capital. Además, la TIR calculada se sitúa en 30.45%, corroborando la viabilidad y aceptación del proyecto. Asimismo, se logra un costo- beneficio de 2.13, indicando la viabilidad del proyecto, y se estima que la inversión se recuperará en 5.24 años, considerando una vida útil del proyecto de 12 años [16].

D. Comparación de costos de producción del SH con el convencional.

Los datos presentados en la Tabla 4 demuestran un cálculo de costo total para un cultivo convencional, calculado en \$116.53 por m², logrando una cosecha de 120 rabanitos.

Esta estimación resultó de un cultivo convencional que emplea 4 macetas, cada una con dimensiones de 1 metro de longitud y 0.25 metros de ancho.

TABLA 4
Cálculo de costos para un cultivo convencional de rábanos

Componentes	Cantidad	Costo por unidad (\$)	Costo Total (\$)
Costos fijos			
Luz (Servicio)	0 h	0.8112 Kw/h	\$ -
Agua (Servicio)	720 litros	0.31 \$/m ³	\$ 1.35
COSTO FIJO TOTAL			\$ 1.35
Costos variables			
Maceta Hidropónica	4 unidades	\$ 12.20	\$ 48.78
Abono Inorgánico	4 sacos	\$ 8.13	\$ 32.52
Tierra	4sacos	\$ 1.36	\$ 5.42
Semilla	1 paquete	\$ 1.36	\$ 1.36
Abono Orgánico (Lumus)	1 saco	\$ 8.13	\$ 8.13
Pesticida	1 litro	\$ 18.97	\$ 18.97
COSTO VARIABLE TOTAL			\$ 115.18
COSTO TOTAL			\$ 116.53

Posteriormente, se realizó una proyección de la producción de rabanitos a mayor escala, abarcando un área de 50 m². Para tal propósito, se identificaron los costos de inversión, resultando en un costo variable total de \$ 5,758.81 y un costo total de \$5,826.56. Al calcular el costo variable por metro cuadrado para este método de cultivo convencional, que incluye el costo de abono orgánico (\$5.42), las semillas (\$1.36) y los pesticidas, el total asciende a \$12.20 (tabla 4). Otro dato relevante es el costo de producción por manojo mediante este enfoque. Dado que se obtienen 120 rabanitos por metro cuadrado, se generan 12 manojos, resultando en un costo de producción de \$1.02 por manojo (tabla 5). Este valor es superior al del sistema hidropónico

Se observa en la tabla 5, los cálculos de los indicadores financieros y se obtiene un TIR del 15%. Este resultado indica una rentabilidad en el proyecto, debido a que la tasa de descuento es menor al TIR. Además, el valor actual neto del proyecto (VAN) también muestra rentabilidad en el proyecto, debido a que su valor es mayor a 1. La relación de costo-beneficio indica rentabilidad, sin embargo, es mínima debido a que por cada dólar invertido en el proyecto este recibirá 1.21, tal como se muestra en esta tabla. En resumen, los indicadores financieros indican que el proyecto es rentable según la TIR y el VAN, pero el indicador de costo-beneficio sugiere que el proyecto no puede ser óptimo en términos de rentabilidad. Es importante analizar detalladamente cada indicador para tomar decisiones informadas sobre la viabilidad y eficacia del proyecto.

TABLA 5

Tabla de indicadores de bondad financiera para cultivo en suelo

PROYECTO CULTIVO DE RÁBANOS	
Inversión	\$ 5,826.56
Vida útil del proyecto	10
Producción anual (unidad)	6600
Precio venta \$/unidad (PVU)	\$ 1.36
Incremento al año	5%
Costos variables \$/unidad	\$ 1.02
Incremento al año	5%
Costos Fijos del 1er año	\$ 677.51
Incremento al año	1.25%
Impuesto a la renta	18%
Indicadores de Bondad Financiera	
Tasa de descuento	8%
TIR	15%
VPN	\$ 1,196.67
VAN	\$ 1,196.67
Costo/Beneficio	1.21

TIR: Tasa Interna de Retorno; VPN: Valor Presente Neto; VAN: Valor Actual neto

Se realizó la comparación entre ambos tipos de cultivos, convencional e hidropónico, extrayendo los datos plasmados en la tabla 6. En el cálculo de producción a gran escala, se consideraron un área de 25 m² para la hidroponía y 50 m² para el cultivo en suelo. Obteniendo como producción 12,000 y 6,000 unidades de rabanitos respectivamente, siendo el doble en el sistema hidropónico debido al aprovechamiento vertical del espacio. Al analizar la relación costo-beneficio, se obtiene un valor de 3.44 y 1.21 respectivamente.

Estos indicadores reflejan que el sistema hidropónico vertical presenta una mayor rentabilidad en el proyecto a gran escala en comparación con el sistema convencional. Todos estos datos y resultados se encuentran detallados en la tabla 6. Es importante destacar que el sistema hidropónico vertical se muestra como una opción más ventajosa y rentable en términos de producción y eficiencia económica en este análisis comparativo.

De una manera general, se observa que los costos iniciales de inversión para establecer un sistema hidropónico de cultivo de rábanos pueden parecer elevados en comparación con el método de cultivo en suelo. Pero, a largo plazo, esta inversión se traduce en una mayor rentabilidad. Esta ventaja se deriva de la capacidad del sistema hidropónico para aprovechar la verticalidad, lo que permite duplicar o incluso triplicar la producción en relación con los métodos tradicionales de cultivo en el suelo.

TABLA 6

Comparación de producción a gran escala de datos entre hidroponía y cultivo en suelo

	Sistema hidropónico	Sistema convencional
Área por usar	25 m ²	50 m ²
Rábanos (50 Sistemas)	12000	6000
Rábanos por cultivo (1m ²)	240	120
Cantidad por racimo	10	10
PV racimo	\$ 1.36	\$ 1.36
Racimos en un cultivo	24	12
Costo variable para un cultivo (1m ²)	\$ 11.52	\$ 12.20
Costo de producción	\$ 0.48	\$ 1.02
TIR	78%	15%
VAN	\$ 21,725.03	\$ 1,196.67
VPN	\$ 21,725.03	\$ 1,196.67
Costo / Beneficio	3.44	1.21

TIR: Tasa Interna de Retorno; VPN: Valor Presente Neto; VAN: Valor Actual neto

IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El prototipo del sistema hidropónico ha demostrado ser exitosa, dado que se consiguió el cultivo de 240 rabanitos, los bulbos resultaron más alargados que los convencionales y, en ocasiones, se observaron en algunos bulbos grietas en sus paredes. Presentó un área foliar mayor, en comparación con el cultivo convencional. Para la proyección de costos a gran escala, se consideró un escenario con un área de 25 m², con la capacidad de generar 12,000 manojos de rabanitos.

Esta expansión demuestra de manera concluyente la viabilidad económica del proyecto. Los indicadores financieros reflejan un Valor Actual Neto (VAN) de \$21,725.03, lo que sustenta la viabilidad del proyecto. Una Tasa Interna de Retorno (TIR) del 78% confirma la idoneidad del proyecto, mientras que el índice de costo-beneficio de 3.44 sugiere que el proyecto será rentable en relación con nuestra inversión: por cada dólar invertido, se espera un retorno de 3.44 dólares en la producción de rábanos hidropónicos.

La introducción de un sistema hidropónico vertical en la producción de rábanos emerge como una alternativa prometedora. Esto no solo demuestra su viabilidad económica, sino también su capacidad para potenciar el rendimiento de la cosecha en comparación con los métodos convencionales. Sin embargo, se recomienda realizar estudios adicionales en esta planta para mejorar y regular la dosificación de nutrientes NPK en la solución nutritiva, con el fin de garantizar un desarrollo óptimo de los bulbos. Además, la automatización sería una medida recomendable,

para lo cual se podría aprovechar la energía sostenible.

AGRADECIMIENTOS

Queremos expresar nuestro sincero agradecimiento a la Universidad Tecnológica del Perú por brindarnos la oportunidad de utilizar sus instalaciones para llevar a cabo este estudio. Asimismo a nuestros asesores, quienes nos brindaron una constante orientación a lo largo de este proceso.

REFERENCIAS

- [1] J. Borja Vivero y R. de la C. Valdivia Álvarez, *Introducción a la agronomía*, 1.ª ed., vol. 1. Quito, Ecuador: Ediciones Médicas CIEZT, 2015. Accedido: 23 de octubre de 2022.
- [2] M. Jastrzębska, M. Kostrzevska, y A. Saeid, «Chapter 2 - Sustainable agriculture: A challenge for the future», en *Smart Agrochemicals for Sustainable Agriculture*, K. Chojnacka y A. Saeid, Eds., Academic Press, 2022, pp. 29-56.
- [3] C. Lu y S. Grundy, «Urban Agriculture and Vertical Farming», en *Encyclopedia of Sustainable Technologies*, M. A. Abraham, Ed., Oxford: Elsevier, 2017, pp. 393-402.
- [4] M. SharathKumar, E. Heuvelink, y L. F. M. Marcelis, «Vertical Farming: Moving from Genetic to Environmental Modification», *Trends Plant Sci.*, vol. 25, n.º 8, pp. 724-727, ago. 2020.
- [5] J. Beltrano y D. O. Giménez, *Cultivo en hidroponía*. Editorial de la Universidad Nacional de La Plata (EDULP), 2015.
- [6] M. Du, Z. Xiao, y Y. Luo, «Advances and emerging trends in cultivation substrates for growing sprouts and microgreens toward safe and sustainable agriculture», *Curr. Opin. Food Sci.*, vol. 46, p. 100863, ago. 2022.
- [7] M. L. Richardson y C. G. Arlotta, «Producing Cherry Tomatoes in Urban Agriculture», *Horticulturae*, vol. 8, n.º 4, 2022.
- [8] M. A. Khan, S. J. Butt, K. A. Khan, F. Nadeem, B. Yousaf, y H. U. Javed, «Morphological and physico-biochemical characterization of various tomato cultivars in a simplified soilless media», *Ann. Agric. Sci.*, vol. 62, n.º 2, pp. 139-143, dic. 2017.
- [9] I. Fernandes, J. M. Leça, R. Aguiar, T. Fernandes, J. C. Marques, y N. Cordeiro, «Influence of Crop System Fruit Quality, Carotenoids, Fatty Acids and Phenolic Compounds in Cherry Tomatoes», *Agric. Res.*, vol. 10, n.º 1, pp. 56-65, 2021.
- [10] H. Kerckhoffs y L. Zhang, «Application of Central Composite Design on Assessment and Optimization of Ammonium/Nitrate and Potassium for Hydroponically grown Radish (*Raphanus sativus*) », *Sci. Hortic.*, vol. 286, p. 110205, ago. 2021.
- [11] H. Hosseini, V. Mozafari, H. R. Roosta, H. Shirani, P. C. H. van de Vlasakker, y M. Farhangi, «Nutrient use in vertical farming: Optimal electrical conductivity of nutrient solution for growth of lettuce and basil in hydroponic cultivation», *Horticulturae*, vol. 7, n.º 9, 2021.
- [12] P. SENAMHI, «SENAMHI - Perú», *Tiempo / Pronóstico del Tiempo*. <https://www.senamhi.gob.pe/?p=pronostico-detalle&dp=04&localidad=0018> (accedido 18 de abril de 2023).
- [13] M. S. Gumisiriza, P. Ndakidemi, A. Nalunga, y E. R. Mbega, «Building sustainable societies through vertical soilless farming: A cost-effectiveness analysis on a small-scale non-greenhouse hydroponic system», *Sustain. Cities Soc.*, vol. 83, p. 103923, ago. 2022.
- [14] B. C. Mohapatra, N. K. Chandan, S. K. Panda, D. Majhi, y B. R. Pillai, «Design and development of a portable and streamlined nutrient film technique (NFT) aquaponic system», *Aquac. Eng.*, vol. 90, p. 102100, ago. 2020.
- [15] «Instituto Nacional de Estadística e Informática». <https://m.inei.gob.pe/prensa/noticias/precios-al-consumidor-delima-metropolitana-subieron-125-en-marzo-del-presente-ano-14331/> (accedido 10 de julio de 2023).
- [16] S. V. Souza, R. M. T. Gimenes, y E. Binotto, «Economic viability for deploying hydroponic system in emerging countries: A differentiated risk adjustment proposal», *Land Use Policy*, vol. 83, pp. 357-369, abr. 2019.
- [17] [17] K. Huub, y Z. Lei, «Application of Central Composite Design on Assessment and Optimization of Ammonium/Nitrate and Potassium for Hydroponically grown Radish (*Raphanus sativus*) », *Scientia Horticulturae*, vol. 286, pp. 110205, ago. 2021