

Ciudadanos.

José Antonio Legua Cárdenas

Jaqueline Victoria Aroni Mejia

Fanny Del Pilar Lomparte Ramos

Virginia Marianela Aroni Mejía

Angel Hugo Campos Díaz

María Cleofé Saucedo López

Presente. -

CARTA DE ACEPTACIÓN DE ARTÍCULO

Saludos cordiales;

Por medio de la presente me dirijo a ustedes en mi calidad de Editor de la **Revista de Investigación en Ciencias Agronómicas y Veterinarias ALFA** con el propósito de notificarles que su artículo titulado: **“Optimización del espesor de película nutritiva del sistema hidropónico NFT sobre el rendimiento del rabanito”**, ha sido aceptado para ser publicado en la **Revista ALFA** en el volumen 9, número 27, correspondiente al último cuatrimestre del año publicado en septiembre de 2025, con ISSN: 2664-0902, registrada en las siguientes bases de datos y repositorios: SCIELO, Latindex Catálogo 2.0, EuroPub, AMELICA, AURA, PERIÓDICA, MIAR, Dialnet entre otros.

Constancia que se expide a los veinticinco días del mes de agosto de dos mil veinticinco.

Msc. Alcides Wilfredo Carpio
Editor de la **Revista de Investigación en
Ciencias Agronómicas y Veterinarias
ALFA**



Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión. Lima, Perú

Optimización del espesor de película nutritiva del sistema hidropónico NFT sobre el rendimiento del rabanito

Optimization of nutrient film thickness of the NFT hydroponic system on radish yield

Otimização da espessura da película de nutrientes do sistema hidropônico NFT no rendimento do rabanete

José Antonio Legua Cárdenas
jlegua@unjfsc.edu.pe
<https://orcid.org/0000-0002-4978-4980>

Jaqueline Victoria Aroni Mejia
jaroni@unjfsc.edu.pe
<https://orcid.org/0000-0002-6806-9552>

Fanny Del Pilar Lomparte Ramos
flomparte@unjfscedu.pe
<https://orcid.org/0000-0003-4221-5627>

Virginia Marianela Aroni Mejía
varoni@unjfsc.edu.pe
<https://orcid.org/0009-0003-2868-5267>

Angel Hugo Campos Díaz
acampos@unjfscedu.pe
<https://orcid.org/0000-0003-3306-6412>

María Cleofé Saucedo López
msaucedo@unjfscedu.pe
<https://orcid.org/0000-0001-6075-2288>

Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión. Lima, Perú

RESUMEN

La hidroponía en invernadero representa una alternativa clave y sostenible dentro de la agricultura orgánica, ya que contribuye significativamente a la conservación del agua y fomenta la producción de hortalizas saludables. En este contexto, la Técnica de Película Nutritiva (NFT) se destaca como un sistema hidropónico diseñado para optimizar el consumo de agua y nutrientes, consolidándose como una herramienta valiosa para la agricultura sostenible y la obtención de alimentos saludables. El suministro de nutrientes en los sistemas hidropónicos NFT busca simplificar la gestión para que los agricultores mantengan las cantidades de nutrientes ajustadas a las necesidades de las plantas, promoviendo un uso racional de los recursos. Aunque los sistemas de Técnica de Película Nutritiva (NFT) varían en tamaño, complejidad y composición, estos ofrecen una excelente vía para cultivar de manera sostenible y ecológica. Para validar esto, en un estudio se utilizaron 12 tubos de PVC, asignando tres tubos a cada nivel de espesor de la película de solución nutritiva. Se trasplantaron 7 almácigos en cada tubo, resultando en un total de 84 plántulas en el módulo hidropónico. Se observó que los cultivos cosechados en el módulo hidropónico piramidal, bajo condiciones de invernadero, exhibieron características físicas superiores, incluyendo altura, peso del fruto y desarrollo radicular, específicamente en el grupo P4. Los análisis foliares confirmaron una tendencia positiva en los niveles de macro y micronutrientes en las pruebas P3 y P4, lo que indica que el espesor ideal de la lámina de solución nutritiva se ubica entre los rangos evaluados en dichas pruebas. En consecuencia, la hidroponía en invernadero representa un método de producción eficiente que conserva el agua, prescinde del suelo y elimina el uso de plaguicidas.

Palabras clave: Rabanito; hidroponía; Espesor de película

ABSTRACT

Greenhouse hydroponics represents a key and sustainable alternative within organic agriculture, as it contributes significantly to water conservation and promotes the production of healthy vegetables. In this context, the Nutrient Film Technique (NFT) stands out as a hydroponic system designed to optimize water and nutrient consumption, consolidating itself as a valuable tool for sustainable agriculture and healthy food production. Nutrient supply in NFT hydroponic systems seeks to simplify management for farmers to keep nutrient amounts adjusted to plant needs, promoting a rational use of resources. Although Nutrient Film Technique (NFT) systems vary in size, complexity and composition, they offer an excellent avenue to grow crops in a sustainable and environmentally friendly manner. To validate this, a study used 12 PVC tubes, assigning three tubes to each level of nutrient solution film thickness. Seven seedlings were transplanted into each tube, resulting in a total of 84 seedlings in the hydroponic module. It was observed that crops harvested in the pyramidal hydroponic module, under greenhouse conditions, exhibited superior physical characteristics, including height, fruit weight and root development, specifically in the P4 group. Foliar analysis confirmed a positive trend in macro and micronutrient levels in the P3 and P4 trials, indicating that the ideal thickness of the nutrient solution sheet is between the ranges evaluated in these trials. Consequently, greenhouse hydroponics represents an efficient production method that conserves water, dispenses with soil and eliminates the use of pesticides.

Key words: Radish; Hydroponics; Film thickness

RESUMO

A hidroponia em estufas representa uma alternativa importante e sustentável na agricultura orgânica, pois contribui significativamente para a conservação da água e promove a produção de vegetais saudáveis. Nesse contexto, a Nutrient Film Technique (NFT) destaca-se como um sistema hidropônico projetado para otimizar o consumo de água e nutrientes, estabelecendo-se como uma ferramenta valiosa para a agricultura sustentável e a produção de alimentos saudáveis. O fornecimento de nutrientes nos sistemas hidropônicos NFT visa simplificar o gerenciamento para que os agricultores mantenham as quantidades de nutrientes ajustadas às necessidades das plantas, promovendo o uso racional dos recursos. Embora os sistemas Nutrient Film Technique (NFT) variem em tamanho, complexidade e composição, eles oferecem uma excelente maneira de cultivar de forma sustentável e ecológica. Para validar isso, 12 tubos de PVC foram usados em um estudo, atribuindo três tubos a cada nível de espessura do filme de nutrientes. Sete mudas foram transplantadas para cada tubo, resultando em um total de 84 mudas no módulo hidropônico. Observou-se que as culturas colhidas no módulo hidropônico piramidal em condições de estufa apresentaram características físicas superiores, incluindo altura, peso dos frutos e desenvolvimento das raízes, especificamente no grupo P4. As análises foliares confirmaram uma tendência positiva nos níveis de macro e micronutrientes nos ensaios P3 e P4, indicando que a espessura ideal da película da solução nutritiva está entre as faixas avaliadas nesses ensaios. Consequentemente, a hidroponia em estufa representa um método de produção eficiente que conserva a água, dispensa o solo e elimina o uso de pesticidas.

Palavras-chave: Rabanete; Hidroponia; Espessura da película

INTRODUCCIÓN

Actualmente, la salud se ve amenazada por la contaminación presente en algunos alimentos que consumimos a diario. La situación es especialmente grave con las hortalizas, debido al uso excesivo e irresponsable de plaguicidas en los cultivos, así como a la contaminación del suelo y del agua de riego. A esto se le suma la creciente escasez de agua. Una solución sostenible y estratégica para esta problemática es la hidroponía orgánica desarrollada en invernaderos. Este método no solo contribuye a la conservación del agua, sino que también promueve el cultivo de hortalizas saludables. La agricultura orgánica posee un alto potencial para contribuir al desarrollo sostenible; no obstante, advierten que aún existe una limitada comprensión integral sobre sus impactos en relación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (1). Para garantizar la producción sostenible de alimentos, es esencial adoptar técnicas de cultivo que maximicen la eficiencia de los recursos, en particular en el uso del agua y los nutrientes. La Técnica de Película Nutritiva (NFT) es uno de estos sistemas hidropónicos, diseñado para optimizar el uso del agua y los nutrientes, lo que la convierte en una herramienta valiosa para la agricultura sostenible (2). El sistema de control de nutrientes hidropónicos NFT busca facilitar a los agricultores el mantenimiento de la cantidad de nutrientes según las necesidades de las plantas (3). Los sistemas hidropónicos de técnica de película nutritiva (NFT) pueden variar en tamaño, complejidad y composición. Sin embargo, este tipo de sistemas de producción puede ser una excelente manera de cultivar (4).

Este experimento busca determinar el espesor de película ideal de la solución nutriente para cultivar rabanitos. Para ello, se están probando diferentes grosores con el fin de ver cómo cada uno afecta el rendimiento de la cosecha de rabanitos (*Raphanus sativus*). En los sistemas NFT, mantener una profundidad de agua poco profunda, generalmente de tan solo uno o dos milímetros, es clave para una distribución eficaz de nutrientes y oxigenación. Esta profundidad permite que las raíces absorban la humedad y evita la saturación. Y aunque algunos diseños pueden contener unos pocos centímetros de agua, nunca conviene que el agua llene todo el canal (5). Con la técnica NFT se integró una delgada lámina de solución nutritiva de aproximadamente un centímetro que circule por un tubo con perforaciones en su parte superior de tal magnitud que las plantas puedan ser insertadas (6). También es importante mantener un

importante flujo de recirculación de la solución nutritiva, con frecuencia para mantener la provisión de solución nutritiva en concentración similar y proveer de oxígeno suficiente al cultivo (7,8).

Otro aspecto importante a considerar en relación a la solución nutritiva es la Conductividad Eléctrica. Esta se define como la cantidad de nutrientes disueltos en la solución. Se requiere monitorear con regularidad y ajustar de ser necesario la conductividad eléctrica de la solución hidropónica, lo cual se define a la cantidad de sales disueltas en el agua (9).

En este contexto, se necesita sugerir opciones que sean viables, sostenibles y prescindir o reducir la dependencia de los plaguicidas y de uso de grandes cantidades de agua para riego. Entre las alternativas de la agricultura orgánica destaca la hidroponía realizada en condiciones de invernadero, cuya eficiencia y rendimiento ha sido demostrada por la comunidad científica. El interés en consumir alimentos saludables y la creciente preocupación ambiental han llevado a buscar sistemas de producción limpios y sostenibles, entre ellos la agricultura orgánica (10-12). El propósito de esta investigación es determinar cómo el espesor ideal de la película nutritiva influye en el rendimiento del cultivo de rabanitos. Además, este estudio busca promover las técnicas hidropónicas en invernadero como una solución viable para satisfacer la demanda de alimentos saludables.

MATERIALES Y METODOS

Ubicación y condición climática

Las pruebas experimentales se realizaron en un módulo hidropónico piramidal en el invernadero de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, en Huacho, Huaura, Lima, Perú, durante el ciclo agrícola de verano a mediados del mes de marzo de 2025. El campo experimental está en las coordenadas $-10.9248'$ de latitud y $-77.5746'$ de longitud, a 50 m.s.n.m., con temperaturas de $22.3-23.1^{\circ}\text{C}$, precipitación media máxima de 40 mm/día e irradiación solar de cielo despejado Ebn de 844.6 Wm^{-2} (13).

Población y muestra

Se inició el experimento con 250 plántulas de rabanito Crimson Giant, distribuidas en cinco bandejas de 50 celdas cada una. De este total, se escogieron cuidadosamente 80 plántulas que presentaban las características físicas más deseables. El propósito de esta selección fue minimizar la variación genética y otros factores desconocidos que pudieran afectar la precisión del análisis estadístico. Estas 80 plántulas seleccionadas fueron posteriormente trasplantadas al módulo hidropónico para llevar a cabo la experimentación.

Diseño del módulo hidropónico NFT

El módulo hidropónico piramidal que se usó en el experimento tiene las siguientes características:

Canales de Cultivo: Cada uno de los dos lados de la pirámide cuenta con 6 tubos de PVC de 3 pulg. Estos tubos tienen perforaciones circulares de 6.4 cm de diámetro, espaciadas cada 20 cm.

Dimensiones: El módulo mide 1.50 x 1.50 m.

Capacidad: Puede albergar hasta 84 plantas.

Componentes Adicionales: Incluye un tanque colector de PVC, una bomba periférica (MEBA QB60, 0.5 HP), un temporizador (Type:MS-TD) y soportes de madera.

Instrumentos de Medición: Para medir la altura de las plantas se utiliza una regla de acero graduada en milímetros. El peso total por planta (en gramos) se determina con una balanza de precisión (Ohaus, Parsippany, New Jersey, EUA).

Para plantas de hoja verde y hortalizas de raíz, los tubos circulares de 7.6 cm de diámetro son los más adecuados. Para hortalizas de fruto más grandes, se necesitan tubos de cultivo de 11 cm de diámetro (14). Los temporizadores automatizan el flujo de la solución nutritiva, lo que aumenta la eficiencia del sistema y el consumo energético. Son especialmente útiles en sistemas grandes o para cultivadores que desean una proporción más precisa de solución nutritiva y oxigenación. El tiempo de encendido y apagado dependerá de su configuración

específica (y es un proceso de prueba y error), pero asegúrese de que el temporizador sea compatible con su bomba y pueda soportar la carga eléctrica (15).

El módulo hidropónico utiliza una bomba que impulsa la solución nutritiva a través de los tubos y la devuelve al tanque de alimentación, creando un sistema de recirculación. El caudal total de la bomba es de 125 mL/s, lo que asegura un flujo de 20.4 mL/s de solución hidropónica en cada tubo. Este sistema se activa 5 veces al día durante 3 minutos en cada ocasión, gracias a un temporizador programado en el propio módulo. Como resultado de este trabajo se tiene que el diseño del sistema de suministro debe contar con una recirculación de nutrientes mínima de 1 L/min y máxima de nutrientes de 4 L/min, siendo capaz de evitar el estancamiento de agua que provocaría la falta de oxigenación (16).

Se experimentó con cuatro espesores diferentes de película de solución nutritiva dentro de los tubos de PVC. Después de 30 días, los rabanitos se cosecharon y se agruparon según el espesor de la película con la que fueron cultivados. Cada uno de los cuatro espesores de película quedó representado por tres canales de cultivo.

Manejo de los experimentos

El experimento se llevó a cabo utilizando 12 tubos de PVC en total. Estos tubos se dividieron en cuatro grupos, con 3 tubos asignados a cada uno de los cuatro rangos de espesor de la película de solución nutritiva. En cada uno de estos tubos se trasplantaron 7 plántulas de rabanito. Esto significa que un total de 84 plántulas fueron trasplantadas al módulo hidropónico para la experimentación. Los rangos específicos de espesor de la solución nutritiva utilizados se detallan en la tabla 1.

Tabla 1. Rango de tamaño del espesor de película de la solución nutriente para 4 pruebas experimentales: P1, P2, P3 y P4

		Rango de tamaño de espesor de la película nutritiva (cm)´			
		1.5 – 2.5	2.6 -3.5	3.6 – 4.5	4.6 – 5.5
Prueba		P1	P2	P3	P4
Número	de	4	13	32	35
cultivos	según				
espesor					

Para el análisis de los datos, se empleó el software estadístico INFOSTAT. Con este programa, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) con un nivel de significancia del 5%. El objetivo de este análisis fue determinar cómo el espesor de la película de solución nutriente afectó las características físicas de los rabanitos

RESULTADOS

El agua utilizada para regar los rabanitos en este experimento, como se detalla en la Tabla 2, (17) tiene un pH casi neutro. Además, su concentración de sodio no representa ningún riesgo para el crecimiento de las plantas. Esta agua, clasificada como tipo C4-S3, se considera apta para riego, aunque requiere precauciones, según la clasificación presentada en la Tabla 2.

Tabla 2. Análisis químico del agua de riego de la UNJFSC

Ensayo	Unidad	Resultados
pH	Unidad pH	7.0
Conductividad eléctrica	uS/cm	3970.0
Ca ²⁺	meq/L	10.36
Mg ²⁺	meq/L	3.78
Na+	meq/L	25.10
K+	meq/L	0.38
Suma de Cationes	meq/L	39.61
CO ₃ ²⁻	meq/L	0.00
HCO ₃ ⁻	meq/L	3.24
Cl-	meq/L	32.30
NO ₃ ⁻	meq/L	3.56
SO ₄ ²⁻	meq/L	0.60
Suma de Aniones	meq/L	39.70
SAR	S.U.	9.44
Clasificación	S.U.	C4-S3
Análisis de Microelementos		
Fierro (Fe)	mg/L	0.016
Zinc (Zn)	mg/L	0.011
Cobre (Cu)	mg/L	0.001
Manganeso (Mn)	mg/L	0.001

Fuente: INIA

Análisis estadístico con el Software INFOSTAT

En la Tabla 3, se muestra el resultado del análisis estadístico realizado con el software Infostat, donde se determinó la significancia estadística de las mediciones de altura, peso de frutos y raíces que se contrastaron con el rendimiento obtenido de cada una de las pruebas P1, P2, P3 y P4.

Tabla 3. Evaluación estadística de las características físicas de altura, peso de fruto y raíces del rabanito de acuerdo al espesor de película de solución nutritiva utilizado por hidroponía en condiciones de invernadero.

Análisis de la varianza					
Variable	N	R2	R2 Aj	CV	
Rendimiento (t/ha)	85	1.00	1.00	1.1E-04	
TCuadro de análisis de la varianza (SC tipo I)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	17502.39	83	210.87	333637611551.27	<0.0001
ALTURA(cm)	14754.09	47	0313.92	496672820791.88	<0.0001
PESO DE RABANITO (g)	2748.30	36	76.34	120786088376.04	<0.0001
Error	6. 3E-10	1	6. 3E-10		
Total	17502.39	84			

Nota: C.V.: Coeficiente de variación

El resultado de análisis foliar (18) de los cultivos de rabanitos se muestran en la Tabla 4. El análisis foliar de los cultivos de rábano evidencia un desbalance nutricional marcado por la presencia de excesos en varios elementos y una acumulación significativa de sales. En el caso de los macronutrientes, se observa que el potasio alcanza valores superiores al rango normal en la mayoría de los tratamientos, con excepción de P3, donde aparece una deficiencia importante. El nitrógeno también supera los valores de referencia en todas las muestras, lo que indica un crecimiento vegetativo excesivo que podría comprometer la calidad del bulbo. En contraste, el fósforo y el magnesio mantienen una adecuada disponibilidad dentro de los intervalos considerados óptimos, mientras que el calcio se encuentra levemente elevado y el azufre presenta concentraciones altas sin valores comparativos claros, lo que sugiere una tendencia a la acumulación.

Respecto a los micronutrientes, el hierro sobrepasa los límites establecidos en la mayoría de las muestras, lo que podría afectar la absorción de otros elementos como zinc y manganeso. El manganeso y el cobre se mantienen en niveles adecuados, mientras que el zinc presenta excesos en algunos tratamientos y el boro alcanza concentraciones elevadas que, de acuerdo con referencias generales para hortalizas, podrían ser indicativas de toxicidad. El molibdeno, aunque no cuenta con rangos de referencia en la tabla, se encuentra en valores que no evidencian riesgo inmediato.

El aspecto más crítico se relaciona con los elementos considerados fitotóxicos. Tanto los cloruros como el sodio muestran concentraciones extremadamente altas, muy por encima de lo que la literatura reconoce como tolerable, lo que genera un evidente estrés salino. Esta condición puede traducirse en clorosis, necrosis foliar, reducción en la absorción de agua y nutrientes, y, en consecuencia, un deterioro significativo en el desarrollo y rendimiento del rábano. En conjunto, los resultados sugieren que la composición y manejo de la solución nutritiva no solo determinan la disponibilidad desigual de nutrientes, sino que también están favoreciendo la acumulación de sales en niveles que representan un riesgo para la fisiología y productividad del cultivo.

Tabla 4. Análisis foliar del cultivo rábano de acuerdo al espesor de película de la solución nutritiva.

Macro nutrientes (%)	P1	P2	P3	P4	Valores normales
Potasio	7.18	7.31	0.83	8.27	2.00 – 6.00
Nitrógeno total	6.5	6.1	6.7	6.5	4.75 -5.50
Fósforo	0.553	0.560	0.651	0.769	0.45-1.10
Calcio	2.19	1.99	2.03	2.05	0.50-1.50
Magnesio	0.703	0.680	0.606	0.725	0.25 – 1.00
Azufre	2.95	2.98	2.58	3.12	
Micro nutrientes (mg/Kg)					
Hierro	143	123	145	171	60.0 – 140
Manganeso	229	207	233	220	26.0 - 360
Cobre	11.9	9.77	11.0	7.55	5.00 – 15.0
Zinc	88.8	71.4	130	114	10.0 - 80.0
Molibdeno	1.87	2.49	1.49	0.99	
Boro	121	109	103	112	
Elementos Fitotóxicos (mg/Kg)					
Cloruros	6013	6211	6196	6029	JBÑPK
Sodio	24625	21097	20601	25000	

Fuente: AGQ

DISCUSIÓN

Características físicas del cultivo de rabanito experimentado en el módulo hidropónico

Realizado el análisis de varianza con el software INFOSTAT, se aprecia que la altura; peso de los frutos y raíces del cultivo de rabanito registran mayores valores que los resultantes en las pruebas P3, P2 y P1, hecho que también se refleja en el rendimiento cuando se contrasta con el espesor de la solución nutritiva, donde las muestras de cultivo de a prueba P4, tienen un mayor rendimiento que las demás muestras de las otras pruebas experimentales ensayadas en el módulo hidropónico. Por lo que se interpreta que con los espesores seleccionados en P4 y P3 se tiene un mejor desarrollo vegetativo del cultivo rabanito.

El análisis de varianza, efectuado con el software INFOSTAT, reveló que la altura, el peso de los frutos y las raíces del rabanito son superiores en la prueba P4 en comparación con las pruebas P3, P2 y P1. Esta diferencia también se observa en el rendimiento general del cultivo al relacionarlo con el espesor de la solución nutritiva: las muestras de la prueba P4 mostraron un rendimiento significativamente mayor que las de las otras pruebas realizadas en el módulo hidropónico.

Este estudio busca entender cómo diferentes espesores de la película nutritiva afectan el rendimiento de los rabanitos. Durante el experimento, se ajustó el flujo total que entra a los 12 tubos del módulo hidropónico piramidal, logrando un flujo de 125 mL/s por cada tubo con un sistema de retorno al tanque principal.

Este flujo influye directamente en el contenido de oxígeno dentro de los tubos, donde se probaron cuatro espesores de solución nutritiva. Por ejemplo, altos niveles de oxígeno disuelto pueden contrarrestar los efectos negativos del exceso de agua y la falta de oxígeno (hipoxia) al mantener las raíces sanas y promover la formación de aerénquima, lo que ayuda a transportar oxígeno dentro de las raíces (19). Por el contrario, bajos niveles de oxígeno en la zona de las raíces pueden comprometer el rendimiento de las plantas y sus raíces, además de aumentar el riesgo de enfermedades (20, 21)

Análisis de concentración de nutrientes foliar del cultivo rabanito

Al analizar los resultados de la tabla 54 que detalla la concentración de macro y micronutrientes en las pruebas experimentales P1, P2, P3 y P4, se observan tendencias claras. La concentración de potasio, fósforo y magnesio aumentó progresivamente desde la prueba P1, alcanzando sus niveles más altos en la prueba P4. Cabe destacar que las concentraciones de fósforo y magnesio se mantuvieron dentro de los rangos normales.

Por otro lado, las mayores concentraciones de nitrógeno total, manganeso y molibdeno se registraron en la prueba P3. Este resultado sugiere que el espesor óptimo para la solución nutritiva se encuentra entre los valores utilizados en las pruebas P3 y P4. Es importante señalar que, según el laboratorio AGQ PERU SAC, la mayoría de las concentraciones de nutrientes analizadas están dentro de los rangos considerados normales.

CONCLUSIONES

Los rabanitos cultivados en el sistema hidropónico piramidal bajo condiciones de invernadero evidenciaron que el espesor de la película nutritiva influye directamente en su rendimiento. El tratamiento P4 registró los mejores parámetros de desarrollo, expresados en mayor altura de planta, peso de fruto y raíces, superando a los grupos P1, P2 y P3.

Los análisis foliares confirmaron un mejor balance nutricional en los tratamientos P3 y P4, donde las concentraciones de macro y micronutrientes se acercaron más a los rangos de referencia, en contraste con los excesos y deficiencias observados en otros tratamientos. Esta condición sugiere que espesores intermedios a altos de la película nutritiva favorecen una absorción más equilibrada de nutrientes y un crecimiento superior del cultivo.

En consecuencia, se determina que el espesor óptimo de la película de solución nutritiva se encuentra entre los niveles aplicados en P3 y P4, ya que en dicho rango se logra un balance favorable entre disponibilidad de nutrientes, condiciones fisiológicas de la planta y

características físicas del producto final, lo que se traduce en un mayor rendimiento del cultivo de rabanito en condiciones controladas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA

1. Pradhan P, Subedi DR, Dahal K, Hu Y, Gurung P, Pokharel S, Kafle S, Khatri B, Basyal S, Gurung M, Joshi A. Urban agriculture matters for sustainable development. *Cell Rep Sustain*. 2024 Sep 27;1(9):100217. doi: 10.1016/j.crsus.2024.100217. PMID: 39345297; PMCID: PMC11436457.
2. Palmitessa O, Signore A, Santamaria P. Avances y perspectivas futuras en sistemas hidropónicos con técnica de película nutritiva: una revisión exhaustiva y análisis bibliométrico. *Frontiers in Plant Science*. 15-2024. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1504792>
3. Nursyahid U, Helmy H, Karima I, y Setiawan TA. Sistema de control de nutrición hidropónica mediante la Técnica de Película Nutritiva (NFT) mediante el método de regresión lineal 2021. *Serie de conferencias del IOP sobre ciencia e ingeniería de materiales* 1108(1):012033. DOI:10.1088/1757-899X/1108/1/012033.
4. Mullins CA, Vallotton AS, Latimer JG, Sperry TC, Scoggins HL. (2023). Hydroponic Production of Edible Crops: Nutrient Film Technique (NFT) Systems. Virginia Cooperative Extension. SPES-463NP. https://ext.vt.edu/content/dam/pubs_ext_vt_edu/spes/spes-463/SPES-463.pdf
5. Garner McCandless J. Ponics Nutrient Film Technique (NFT): A complete system guide. 2024 Recuperado de <https://ponicslife.com/nutrient-film-technique-nft-a-complete-system-guide/>
6. Hernández Cervantes AA, Garcabada Silva G, Martínez Marín FA. Aplicación de la mecánica de fluidos en el diseño de un sistema hidropónico. *rev.digit.educ.ing* [Internet]. 25 de agosto de 2023 [citado 11 de septiembre de 2025];18(36). Disponible en: <https://educacioneningenieria.org/index.php/edi/article/view/1244>
7. Chérif M; Tirilly Y; Bélanger RR. Efecto de la concentración de oxígeno en el crecimiento vegetal, la peroxidación lipídica y la receptividad de las raíces de tomate a *Pythium F* en condiciones hidropónicas. *Eur. J. Plant Pathol*. 1997, 103, 255–264. [Google Académico] [CrossRef]
8. Galindo-Castañeda T; Lynch JP; Six J, Hartmann M. Mejora de la absorción de los recursos del suelo por las plantas mediante el aprovechamiento de las sinergias entre la arquitectura y anatomía radicular y los microorganismos asociados a ellas. *Front. Plant Sci*. 2022, 13, 827369. [Google Scholar] [CrossRef]
9. UF/IFAS EDIS. La Producción de Lechuga en Sistemas Hidropónicos a Pequeña Escala HS1433. Universidad de Florida, Servicio de Extensión Cooperativa del Instituto de Ciencias de la Alimentación y la Agricultura. 2022. Recuperado de <https://edis.ifas.ufl.edu/publication/HS1433>
10. Viteri S; Méndez M, Villamil J. Verification of alternatives for sustainable onion production (*Allium cepa L.*) in Cucaita, Boyaca. *Agronomía Colombiana*. 2012. 30:124-132. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/agrocol/article/view/17627/34965>

11. Murillo-Amador B; Morales-Prado L; Troyo-Diéguez E; Córdoba-Matson M; Hernández-Montiel L; Rueda-Puente E; Nieto-Garibay A. Chaging enviromental conditions and applying organic ferilizers in *Origanum vulgare* L. *Frontiers in Plant Science* 2015 6:1-15. Volumen 6 | <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00549>
12. Combatt-Cabellero EM, Polo-Santos JM, Jarma-Orosco ADJ. Rendimiento del cultivo de manihot con fertilizantes orgánicos y químicos en suelos ácidos. *Cien. Agri.* [Internet]. 7 de mayo de 2017 [citado el 11 de septiembre de 2025];14(1):57-64. Disponible en: https://revistas.uptc.edu.co/index.php/ciencia_agricultura/article/view/6088
13. NASA, National Aeronautics and Space Administration. Data Access Viewer-NASA POWER. 2023 <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>
14. Somerville C; Cohen M; Pantanella E; Stankus A, Lovatelli A. Small-scale aquaponic food production. *Integrated fish and plant farming.* Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2014. <https://www.infopesca.org/sites/default/files/complemento/paginabasica/1335//Small%20scale%20aquaponic%20food%20production%20FAO.pdf>
15. Garner McCandless J. Ponics Nutrient Film Technique (NFT): A complete system guide. 2024 Recuperado de <https://ponicslife.com/nutrient-film-technique-nft-a-complete-system-guide/>
16. Hernández Cervantes AA, Garcabada Silva G, Martínez Marín FA. Aplicación de la mecánica de fluidos en el diseño de un sistema hidropónico. *rev.digit.educ.ing* [Internet]. 25 de agosto de 2023 [citado 11 de julio de 2025];18(36). Disponible en: <https://educacioningenieria.org/index.php/edi/article/view/1244>
17. INSTITUTO NACIONAL DE INNOVACION AGRARIA-INIA. Estación experimental agraria Huaral–Donoso. Informe de ensayo N° 09211-23/AG/LABSAF/DONOSO, 2023.Lima-Perú. Código de Laboratorio: AG023-DO-23.
18. AGQ PERU SAC. Informe de ensayo: material vegetal. Acreditado IAS, Testing Laboratory TL-502. 2025.Lima-Perú. Código V-25-022063, V-25-022064, V-25-022065, V-25-022066. Lima: AGQ LABS.
19. Mullins CA, Vallotton AS, Latimer JG., Sperry TC, Scoggins HL. Hydroponic Production of Edible Crops: Nutrient Film Technique (NFT) Systems. Virginia Cooperative Extension. 2023. SPES-463NP. https://ext.vt.edu/content/dam/pubs_ext_vt_edu/spes/spes-463/SPES-463.pdf
20. Koevoets IT; Venema JH; Elzenga JTM; Testerink, C. Raíces resistentes a su entorno: Aprovechamiento de las respuestas de la arquitectura radicular al estrés abiótico para mejorar la tolerancia de los cultivos. *Front. Plant Sci.* 2016, 7, 1335. [Google Scholar].
21. Balliu A; Zheng Y; Sallaku G; Fernández JA; Gruda NS; Tuzel Y. Factores ambientales y de cultivo afectan la morfología, la arquitectura y el rendimiento de los sistemas radiculares en plantas cultivadas sin suelo. *Horticulturae* 2021, 7, 243. [Google Académico] [CrossRef]