



*Frecuencias de riego en sistema hidropónico en el desarrollo del cultivo de
acelga*

*Irrigation frequencies in hydroponic systems in the development of chard
cultivation*

*Frequências de rega em sistema hidropónico no desenvolvimento do cultivo da
acelga*

Cristhian Josué Solórzano-Ocaña ^I

csolorzan2@utmachala.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0005-2235-4875>

Karen Brigitte Rubio-Molina ^{II}

krubio2@utmachala.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0002-9787-6844>

Irán Rodríguez-Delgado ^{III}

irodriguez@utmachala.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-6453-2108>

Salomón Barrezueta-Unda ^{IV}

sabarrezueta@utmachala.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0003-4147-9284>

Rigoberto Miguel Garcia-Batista ^V

rmgarcia@utmachala.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0003-2403-0135>

Correspondencia: csolorzan2@utmachala.edu.ec

Ciencias Técnicas y Aplicadas

Artículo de Investigación

* **Recibido:** 23 de noviembre de 2024 * **Aceptado:** 18 de diciembre de 2024 * **Publicado:** 09 de enero de 2025

- I. Universidad Técnica de Machala, Ecuador.
- II. Universidad Técnica de Machala, Ecuador.
- III. Universidad Técnica de Machala, Ecuador.
- IV. Universidad Técnica de Machala, Ecuador.
- V. Universidad Técnica de Machala, Ecuador.

Resumen

La eficiencia y productividad en el uso del agua constituye un elemento clave en la producción de hortalizas con el uso de sistemas hidropónicos. El objetivo de la investigación fue determinar el efecto de las frecuencias de riego en parámetros morfoagronómicos del cultivo de acelga bajo sistema hidropónico. Para ello, se planificó y ejecutó un experimento con un diseño completamente al azar 3x7, donde se manipuló el factor de estudio frecuencias de riego con siete réplicas, generándose 21 unidades experimentales (tubos de PVC) con 15 plantas cada uno. La recolección de datos de número de hojas se efectuó de forma semanal y la biomasa radicular y aérea en la cosecha. Las frecuencias de riego utilizadas no influyeron en el número de hojas. La planta de acelga mostró una alta adaptabilidad a distintas frecuencias de riego, priorizando factores como la calidad de nutrientes y condiciones ambientales. La frecuencia de riego cada tres horas durante 20 minutos constituye una opción técnicamente viable y sostenible. La disponibilidad de agua en las frecuencias de riego permanente favoreció un mayor desarrollo aéreo de la acelga, probablemente debido a una mayor hidratación y eficiencia en los procesos fisiológicos. El riego de agua cada tres horas durante 20 minutos puede considerarse una alternativa sostenible en escenarios donde el ahorro de agua y energía sea prioritario. La biomasa radicular de las plantas de acelga obtenida en las distintas frecuencias de riego fue similar estadísticamente, debido al uso de esponjas como soporte de plantas, las cuales posibilitan su hidratación.

Palabras clave: manejo agronómico; recursos hídricos, parámetros morfoagronómicos, hortalizas de hoja.

Abstract

Efficiency and productivity in the use of water is a key element in the production of vegetables using hydroponic systems. The objective of the research was to determine the effect of irrigation frequencies on morpho-agronomic parameters of chard cultivation under a hydroponic system. To do so, an experiment was planned and executed with a completely randomized 3x7 design, where the study factor of irrigation frequencies was manipulated with seven replicas, generating 21 experimental units (PVC pipes) with 15 plants each. Data collection on the number of leaves was carried out weekly and the root and aerial biomass at harvest. The irrigation frequencies used did not influence the number of leaves. The chard plant showed a high adaptability to different irrigation frequencies, prioritizing factors such as nutrient quality and environmental conditions.

The irrigation frequency every three hours for 20 minutes is a technically viable and sustainable option. The availability of water at permanent irrigation frequencies favored greater aerial development of chard, probably due to greater hydration and efficiency in physiological processes. Water irrigation every three hours for 20 minutes can be considered a sustainable alternative in scenarios where water and energy savings are a priority. The root biomass of chard plants obtained at different irrigation frequencies was statistically similar, due to the use of sponges as plant support, which enable their hydration.

Keywords: agronomic management; water resources, morpho-agronomic parameters, leafy vegetables.

Resumo

A eficiência e a produtividade no uso da água são elementos-chave na produção de hortícolas com recurso a sistemas hidropónicos. O objetivo da investigação foi determinar o efeito das frequências de rega nos parâmetros morfoagronómicos do cultivo de acelgas em sistema hidropónico. Para tal, foi planeada e executada uma experiência com um delineamento inteiramente casualizado 3x7, onde o fator de estudo das frequências de rega foi manipulado com sete réplicas, gerando 21 unidades experimentais (tubos de PVC) com 15 plantas cada. A recolha de dados sobre o número de folhas foi realizada semanalmente e biomassa de raízes e aérea à colheita. As frequências de rega utilizadas não influenciaram o número de folhas. A planta de acelga apresentou uma elevada adaptabilidade a diferentes frequências de rega, dando prioridade a fatores como a qualidade dos nutrientes e as condições ambientais. A frequência de rega de três em três horas durante 20 minutos é uma opção tecnicamente viável e sustentável. A disponibilidade de água em frequências de rega permanentes favoreceu um maior desenvolvimento aéreo da acelga, provavelmente devido à maior hidratação e eficiência nos processos fisiológicos. A rega de três em três horas durante 20 minutos pode ser considerada uma alternativa sustentável em cenários onde a poupança de água e energia é uma prioridade. A biomassa radicular das plantas de acelga obtida nas diferentes frequências de rega foi estatisticamente semelhante, devido à utilização de esponjas como suporte da planta, que possibilitam a sua hidratação.

Palavras-chave: manejo agronómico; recursos hídricos, parâmetros morfoagronómicos, vegetais de folha.

Introducción

La agricultura moderna enfrenta diversos desafíos, entre los cuales se destacan el cambio climático, la escasez de recursos hídricos y la necesidad de producir alimentos de manera sostenible (FAO, 2020). A medida que la población mundial crece, la demanda de alimentos incrementa y ejerce presión adicional sobre los sistemas agrícolas tradicionales. Además, la agricultura convencional enfrenta problemas como la degradación del suelo, la contaminación del agua y la pérdida de biodiversidad (Altieri, 2018).

Los sistemas hidropónicos son poco conocidos en el ámbito agrícola y presentan una rica y variada historia que se remonta a 600 a. C. Su adopción es limitada debido a la abundancia de recursos naturales en el suelo, especialmente en regiones con alta biodiversidad y climas favorables, como Ecuador. No obstante, el uso indiscriminado y poco técnico del suelo genera problemas que pueden llevar a la desertificación de más del 40% de las áreas cultivadas actualmente, según el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC). Esto implica que los suelos requieren procesos de remediación ambiental para recuperar su fertilidad y utilidad (Suarez et al., 2024).

La hidroponía es considerada una técnica revolucionaria en el campo de la agricultura, ha ganado terreno como una alternativa viable y eficiente para cultivar plantas sin depender del suelo. Este método innovador optimiza el uso del agua, los nutrientes y los recursos esenciales para el crecimiento saludable de las plantas. Entre los sistemas hidropónicos más destacados se encuentra el sistema de película nutritiva NFT (Nutrient Film Technique), que proporciona un entorno controlado y favorable para el desarrollo de las plantas y ofrece una solución adaptada a las necesidades de la agricultura moderna (Iberdrola, s.f.).

La implementación de sistemas hidropónicos se ha vuelto cada vez más común en la agricultura, lo que permite cultivar plantas en soluciones nutritivas sin requerir suelo y optimiza el uso de agua y nutrientes (Resh, 2016). Estos sistemas ofrecen una alternativa eficiente y sostenible, especialmente en regiones donde la tierra cultivable es limitada o los recursos hídricos son escasos (Savvas & Gruda, 2018). Al eliminar la dependencia del suelo, los sistemas hidropónicos reducen significativamente el uso de pesticidas y herbicidas, lo que minimiza el impacto ambiental (van Os, 2017).

Entre los cultivos hidropónicos, la acelga (*Beta vulgaris subsp. vulgaris*) se destaca por sus beneficios nutricionales y su capacidad de adaptación a diferentes condiciones climáticas. Es rica en vitaminas A, C y K, así como en minerales como el magnesio, hierro y potasio, lo que la

convierte en un alimento altamente nutritivo y beneficioso para la salud (USDA, 2021). Además, presenta una alta capacidad de crecimiento en sistemas hidropónicos, lo que la hace ideal para estudios que buscan optimizar las condiciones de cultivo y maximizar la producción (Tesi et al., 2020).

La frecuencia de riego en sistemas hidropónicos es un factor crucial que influye significativamente en el crecimiento y desarrollo de los cultivos. Un manejo adecuado del riego mejora la absorción de nutrientes y el rendimiento de las plantas; por otro lado, una frecuencia inadecuada puede provocar problemas como la falta de oxigenación en las raíces o el desperdicio de agua y nutrientes (Jones, 2016).

El manejo adecuado de la frecuencia de riego en sistemas hidropónicos no solo optimiza el crecimiento de las plantas, sino que también es fundamental para la eficiencia en el uso del agua. En estos sistemas, al no haber suelo que actúe como reservorio, el riego debe ser preciso y constante para evitar tanto la deshidratación de las raíces como el uso excesivo de agua. Según diversos estudios, ajustar la frecuencia del riego a las necesidades específicas de la planta y a las condiciones ambientales puede reducir el consumo de agua hasta en un 30 % en comparación con los métodos de riego tradicionales (Fernández & Martínez, 2020).

La adecuada frecuencia de riego no solo mejora el crecimiento de los cultivos, sino que también optimiza el uso de energía en sistemas hidropónicos. En muchas instalaciones, el riego es automatizado, y ajustar la frecuencia de acuerdo con las necesidades específicas del cultivo puede reducir el tiempo de operación de bombas y otros equipos de irrigación. Según estudios de (Kacira et al., 2016), una gestión eficiente del riego en invernaderos hidropónicos puede disminuir el consumo de energía en un 15-20 %, ya que se evitan ciclos de riego innecesarios que incrementan el uso de maquinaria y energía eléctrica.

La correcta frecuencia de riego no solo ahorra energía, sino que también favorece la sostenibilidad del sistema de producción. (Martínez et al., 2020) señalan que la integración de estrategias de riego basadas en sensores y monitoreo en tiempo real puede optimizar el consumo de recursos, reduciendo tanto la demanda de agua como la energía asociada al bombeo y procesamiento de la misma. Esto es esencial para lograr una producción eficiente y ambientalmente responsable en sistemas hidropónicos.

El objetivo de la investigación fue determinar el efecto de las frecuencias de riego (permanente, frecuencia de riego cada dos horas durante 15 minutos y frecuencia de riego cada tres horas durante

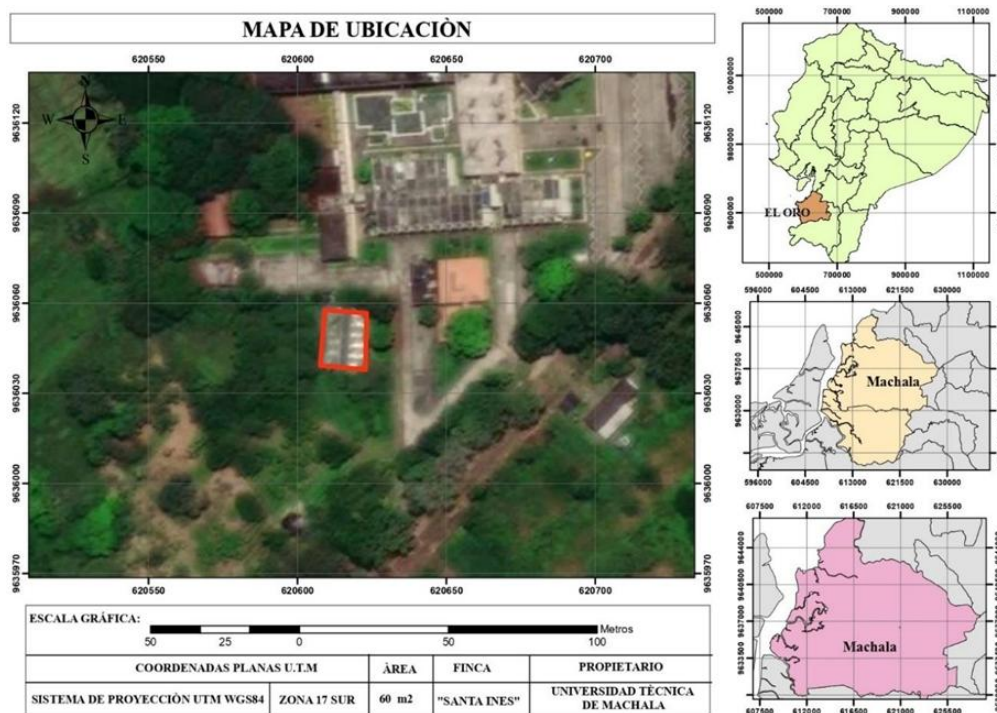
30 minutos) en parámetros morfoagronómicos (número de hojas, biomasa aérea y biomasa radicular) del cultivo de acelga bajo sistema hidropónico.

Materiales y métodos

Ubicación del área de estudio

El estudio se llevó a cabo en el invernadero ubicado dentro de La Granja "Santa Inés", perteneciente a la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Técnica de Machala ubicada en el km 5,5 Parroquia El Cambio, Cantón Machala, 79° 54'51,06" de longitud oeste y 03°17'31,06" de latitud sur, a 6 msnm, con una humedad relativa de 80% (Fig. 1).

Figura 1: Mapa de ubicación espacial del área experimental.



Fuente: Elaboración propia

Diseño experimental

Para el desarrollo del estudio se realizó un diseño completamente al azar (DCA 3x7) donde el factor de estudio fue las frecuencias de riego, conformado por tres tratamientos (Tabla 1) distribuidos de forma completamente al azar y replicado siete veces generándose 21 unidades experimentales (Tubos PVC de tres metros de largo con diámetro de 110 mm).

Tabla 1: Tratamientos objeto de estudio y especificaciones de cada uno.

Tratamientos	Identificación	Características
T ₁ (Testigo)	A	Frecuencia de riego permanente
T ₂	B	Frecuencia de riego es cada dos horas durante 15 minutos
T ₃	C	Frecuencia de riego es cada tres horas durante 20 minutos

Fuente: Elaboración propia.

El T₁ es el tratamiento control, y los tratamientos T₂ y T₃ se tomaron como referencia del estudio de Pacheco (2020), donde se evaluaron frecuencias similares en un sistema NFT (Técnica de película nutritiva) en el cultivo de acelga.

Las unidades muestrales están representadas por cada planta, se contaron 21 unidades experimentales (Tubos PVC) y en cada una existen 12 unidades muestrales (plantas de acelga), por lo tanto, en el experimento hubo un total de 252 de unidades de estudio.

Manejo del ensayo

Preparación del sistema hidropónico

La preparación del sistema hidropónico comenzó con la mezcla de 10 litros de agua con un litro de cloro. Posteriormente, se llenó el sistema y se dejó circular la solución durante 20 minutos. Luego de este proceso, se vació la solución con cloro y se enjuagó varias veces con agua limpia. Finalmente, se dejó secar completamente para reducir el riesgo de que quedaran residuos de cloro que pudieran dañar a las plantas utilizadas durante el experimento (McKeil, 2023).

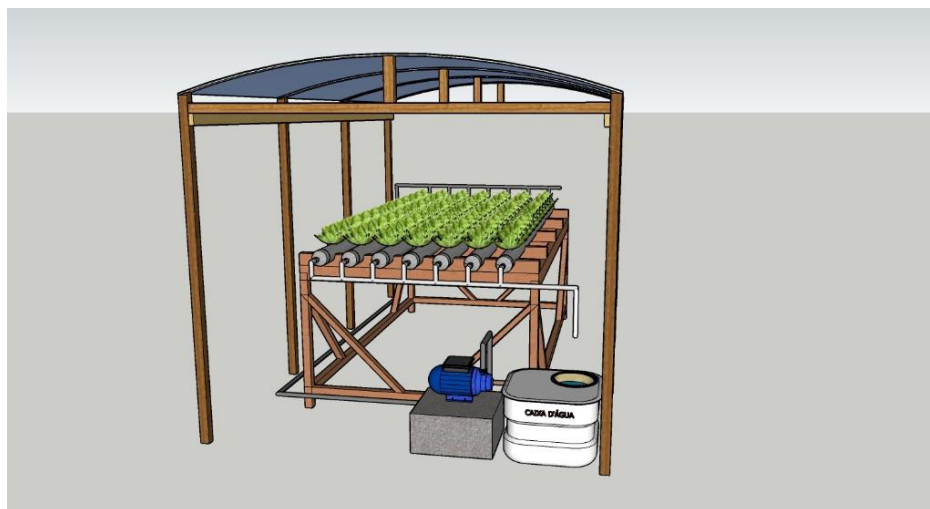
Para el sistema hidropónico, se configuraron tres tratamientos con diferentes esquemas de irrigación. En el tratamiento 1, la bomba de agua (Bomba Paolo de 1/2 HP) estuvo encendida de manera continua durante todo el experimento. En este tratamiento no se utilizó un temporizador, lo que permitió una circulación constante de la solución nutritiva a lo largo de todo el proceso experimental, asegurando que las raíces de las plantas estuvieran en contacto permanente con el flujo de nutrientes y agua. Esta configuración fue diseñada para mantener condiciones de saturación continua en las raíces.

En el T₂ se ajustó un temporizador para activar la bomba durante 15 minutos cada 2 horas, lo cual garantizó un riego intermitente, con 15 minutos de irrigación seguidos de un intervalo sin riego de 1 hora y 45 minutos, lo que permitió una dosificación controlada de la solución nutritiva.

En el T₃ el temporizador se configuró para ciclos de 20 minutos de funcionamiento cada 3 horas. Esto proporcionó un riego espaciado, con 20 minutos de circulación de la solución seguidos de 2 horas y 40 minutos sin riego, permitiendo una mayor oxigenación entre los ciclos de riego.

En todos los tratamientos se utilizaron las bombas Paolo de 1/2 HP que fueron conectadas a los temporizadores correspondientes para automatizar los ciclos de irrigación, manteniendo la consistencia del suministro de nutrientes y reduciendo la necesidad de intervención manual. El T₁ al tener la bomba encendida de forma continua, proporcionó un control comparativo respecto a los T₂ y T₃, donde la irrigación fue cíclica (Fig.2).

Figura 2: Esquema del sistema hidropónico instalado.



Fuente: Elaboración propia.

Preparación del semillero

Se seleccionó el tipo de semilla de acelga que se utilizó durante el experimento. Posteriormente, se empleó fibra de coco como sustrato para facilitar su germinación y emergencia de plántulas. Las bandejas germinadoras se mantuvieron dentro del invernadero para garantizar condiciones óptimas, lo que favoreció el crecimiento de las plántulas hasta que alcanzaron el estado de tres hojas verdaderas. Una vez en esta etapa, se procedió a trasplantarlas al sistema hidropónico (Claudia, 2023).

Solución nutritiva

Una solución nutritiva fue preparada de manera uniforme para todos los tratamientos, compuesta por agua con nutrientes disueltos, proporcionados a través de fertilizantes comerciales, en las cantidades y proporciones necesarias para satisfacer los requerimientos de las plantas en su desarrollo. Esta mezcla contenía macronutrientes esenciales como nitrógeno, fósforo y potasio, y micronutrientes como hierro, zinc y boro. La formulación de la solución, como se indica en estudios previos, varió en función de la especie vegetal y su fase de desarrollo. De acuerdo con Fabela et al. (2006), citado por Callisaya (2020), los cultivos sin suelo requerían un suministro continuo de nutrientes mediante estas soluciones, garantizando que las plantas tuvieran acceso a los elementos esenciales para su crecimiento óptimo (INCA, 2013; Callisaya, 2020).

Para la preparación de la solución nutritiva destinada al cultivo de acelga en el sistema hidropónico, se utilizó un fertilizante comercial que recomendaba agregar 5 ml de solución por cada litro de agua. Dado que el volumen de agua requerido en el sistema fue de 100 litros para cada tratamiento, la cantidad de solución nutritiva se ajustó proporcionalmente. En este caso, se multiplicaron los 5 ml de solución por litro por los 100 litros de capacidad del tanque, obteniendo un total de 500 ml de solución nutritiva, la cual se disolvió en el agua.

Una vez añadidos los 500 ml de la solución madre, se mezcló cuidadosamente para asegurar que los nutrientes estuvieran bien distribuidos en toda la solución, garantizando así que las plantas de acelga recibieran los nutrientes esenciales de manera uniforme. Este procedimiento se repitió cada 12 días para asegurar que las plantas tuvieran acceso a las concentraciones adecuadas de nutrientes, lo que resultaba esencial para su crecimiento óptimo. Este proceso garantizó que los macronutrientes y micronutrientes necesarios para el desarrollo óptimo de las acelgas estuvieran disponibles en las concentraciones correctas durante todo el ciclo de crecimiento, contribuyendo a un rendimiento óptimo de las plantas (Fabela et al., 2006; Callisaya, 2020).

VARIABLES A MEDIR Y RECOLECCIÓN DE DATOS

Las variables medidas durante el experimento fueron tres. El número de hojas, se evaluó semanalmente a partir de que las plantas alcanzaron la tercera hoja verdadera, en un total de 50 plantas seleccionadas por tratamiento. Biomasa aérea y Biomasa radicular, fueron medidas mediante un muestreo destructivo realizado al momento de la cosecha. Estas últimas se

cuantificaron utilizando una balanza digital de alta precisión, lo que permitió obtener el peso seco de las partes aéreas y radicales, garantizándose así la precisión en los datos obtenidos para cada variable.

La cosecha se llevó a cabo a los 49 días, cuando el área foliar alcanzó un promedio de 25 cm de longitud y 15 cm de ancho, lo cual, constituye el indicador de que las plantas alcanzaron su desarrollo completo y el momento óptimo para cosecha (DripWorks, 2024; Epic Gardening, 2024). Este criterio permitió asegurar que las plantas fueran recogidas en el punto adecuado de madurez, maximizando tanto el rendimiento como la calidad del producto, así como, la validez del estudio y la precisión del experimento.

Procedimiento estadístico

Para conocer si se presentan o no diferencias estadísticas entre las frecuencias de riego (permanente, frecuencia de riego cada dos horas durante 15 minutos y frecuencia de riego cada tres horas durante 30 minutos) en función del número de hojas (segmentada por semanas), biomasa aérea y biomasa radicular se efectuó análisis de varianza (ANOVA) de un factor intergrupos, previo cumplimiento de los supuestos del modelo paramétrico de independencia de observaciones, normalidad de datos y homogeneidad de varianzas. De presentarse diferencias estadísticas significativas entre las frecuencias de riego se realizaron pruebas de rangos y comparaciones múltiples de Tukey. El procesamiento estadístico de los datos obtenidos en el estudio se realizó con el software estadístico SPSS versión de prueba para Windows con una confiabilidad en la estimación del 95% ($\alpha=0,05$).

Resultados

Número de hojas

En la prueba estadística realizada se obtuvo un p-valor mayor a 0,05 en cada momento de medición (cinco semanas), por ello, no existe evidencia estadística suficiente para indicar que las frecuencias de riego evaluadas (permanente, frecuencia de riego cada dos horas durante 15 minutos y frecuencia de riego cada tres horas durante 30 minutos) influyen en el número de hojas de acelga (Tabla 2).

Tabla 2: Resultados del ANOVA de un factor intergrupos donde se contrasta el efecto de las frecuencias de riego en función del número de hojas de acelga en las cinco semanas de medición.

Semanas de medición	Fuentes de variabilidad	de Suma de cuadrados	de Grados de libertad	de Cuadrados medios	F	p-valor
S1 (27/06/24)	Entre Tratamientos	0,280	2	0,140	1,172	0,313
	Intra tratamientos	17,560	147	0,119		
	Total	17,040	149			
S2 (04/07/24)	Entre Tratamientos	1,013	2	0,507	1,177	0,311
	Intra tratamientos	63,280	147	0,430		
	Total	64,293	149			
S3 (11/07/24)	Entre Tratamientos	1,013	2	0,507	1,177	0,311
	Intra tratamientos	63,280	147	0,430		
	Total	64,293	149			
S4 (17/07/24)	Entre Tratamientos	1,013	2	0,507	1,177	0,311
	Intra tratamientos	63,280	147	0,430		
	Total	64,293	149			
S5 (24/07/24)	Entre Tratamientos	0,160	2	0,080	0,257	0,774
	Intra tratamientos	45,840	147	0,312		
	Total	46,000	149			

Interpretación del fenómeno estudiado

Este comportamiento puede atribuirse a que, independientemente del régimen de riego, las plantas tuvieron acceso suficiente a agua y nutrientes para sostener su desarrollo foliar, gracias a la uniformidad del sistema hidropónico utilizado. Además, el uso de esponjas como sustrato pudo contribuir a mantener una hidratación constante, evitando fluctuaciones que pudieran haber afectado la producción de hojas.

Resultados de las pruebas Post hoc, donde se realizan las comparaciones múltiples entre las frecuencias de riego en relación con el número de hojas de la planta de acelga en cada momento de medición. (Tabla 3).

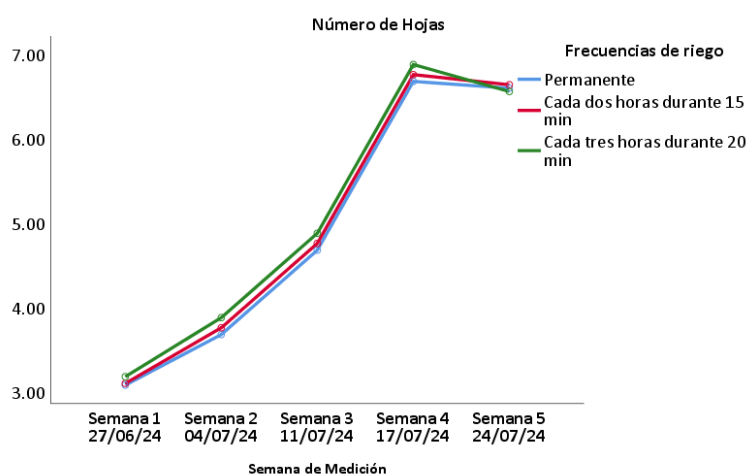
Tabla 3: Resultados de las pruebas Post hoc, donde se realizan las comparaciones múltiples entre las frecuencias de riego en relación con el número de hojas de la planta de acelga en cada momento de medición.

Semana de medición	Media general	Frecuencias de riego objeto de estudio (número de hojas)		
		Permanente	Cada dos horas durante 15 minutos	Cada tres horas durante 20 minutos
S1 (27/06/24)	3,12	3,08a	3,10a	3,18a
S2 (04/07/24)	3,77	3,68a	3,76a	3,88a
S3 (11/07/24)	4,77	4,68a	4,76a	4,88a

S4 (17/07/24)	6,77	6,68a	6,76a	6,88a
S5 (24/07/24)	6,6	6,56a	6,60a	6,64a

El comportamiento del número de hojas de la planta de acelga en las frecuencias de riego objeto de estudio durante el tiempo de duración del experimento muestra un incremento hasta la semana 4, momento a partir del cual, se muestra una estabilidad, evidenciándose que el crecimiento después de la cuarta semana se detiene (Fig. 3).

Figura 3: Comportamiento del número de hojas de la planta de acelga en las frecuencias de riego objeto de estudio durante el tiempo de duración del experimento.



Fuente: Elaboración propia.

Biomasa aérea por planta

El ANOVA de un factor intergrupos (p-valor=0,010) evidencia que se presenta un efecto significativo de las frecuencias de riego evaluadas en la biomasa aérea de la planta acelga (Tabla 4).

Tabla 4: Resultados del ANOVA de un factor intergrupos donde se contrasta el efecto de las frecuencias de riego en función de la biomasa aérea de la planta de acelga en las cinco semanas de medición.

Fuentes de variación	Suma de cuadrados	gl	Cuadrados medios	F	p-valor
Entre tratamientos (varianza del modelo)	5540,122	2	2770,061	4,803	0,010
Intra tratamientos (varianza residual)	84775,613	147	576,705		
Total	90315,735	149			

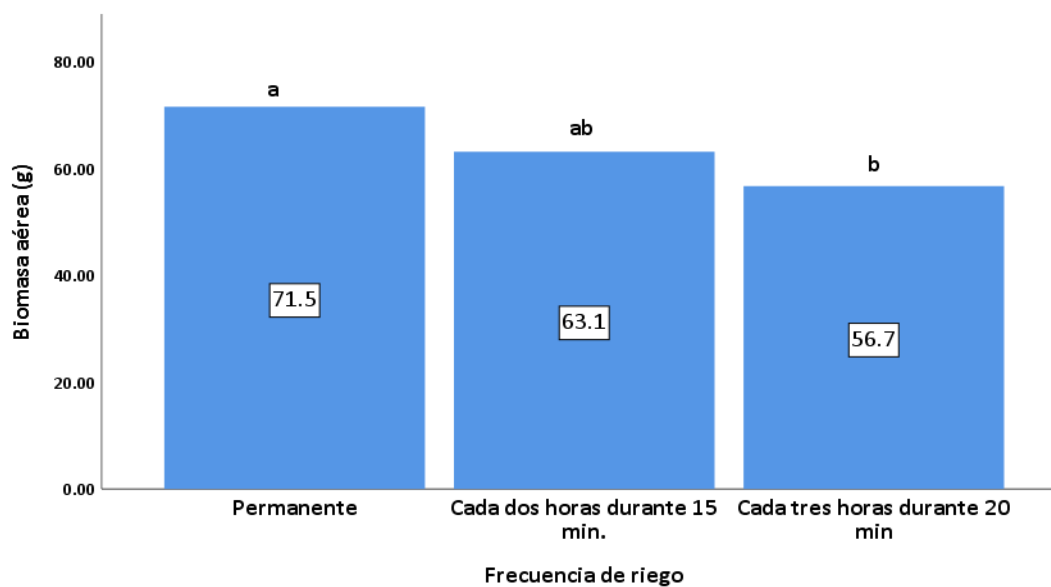
Fuente: Elaboración propia.

La utilización de la frecuencia de riego permanente alcanzó el mayor valor de biomasa aérea por planta (71,5 g) diferente estadísticamente a lo obtenido cuando se utilizó la frecuencia cada tres horas durante 20 minutos (56,7 g por planta), sin embargo, ambos no presentan diferencias con la frecuencia cada dos horas durante 15 minutos.

Interpretación del fenómeno estudiado

Este comportamiento puede explicarse por la mayor disponibilidad de agua en el entorno radicular, que favoreció procesos fisiológicos como la fotosíntesis y el transporte eficiente de nutrientes hacia los órganos aéreos, maximizando así la acumulación de biomasa.

Figura 4: Efecto de las frecuencias de riego objeto de estudio en la biomasa aérea de plantas de acelga.



Fuente: Elaboración propia.

*Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas entre las frecuencias de riego en función de la biomasa aérea para un $p\text{-valor} \leq 0,05$ (según prueba de Tukey).

Biomasa radicular por planta

Resultados del ANOVA de un factor intergrupos donde se contrasta el efecto de las frecuencias de riego en función de la biomasa radicular de la planta de acelga en las cinco semanas de medición (Tabla 5).

Tabla 6: Resultados del ANOVA de un factor intergrupos donde se contrasta el efecto de las frecuencias de riego en función de la biomasa radicular de la planta de acelga.

Fuentes de variación	Suma de cuadrados	de gl	Cuadrados medios	F	p-valor
Entre tratamientos (varianza del modelo)	18,677	2	9,339	0,761	0,469
Intra tratamientos (varianza residual)	1804,426	147	12,275		
Total	1823,103	149			

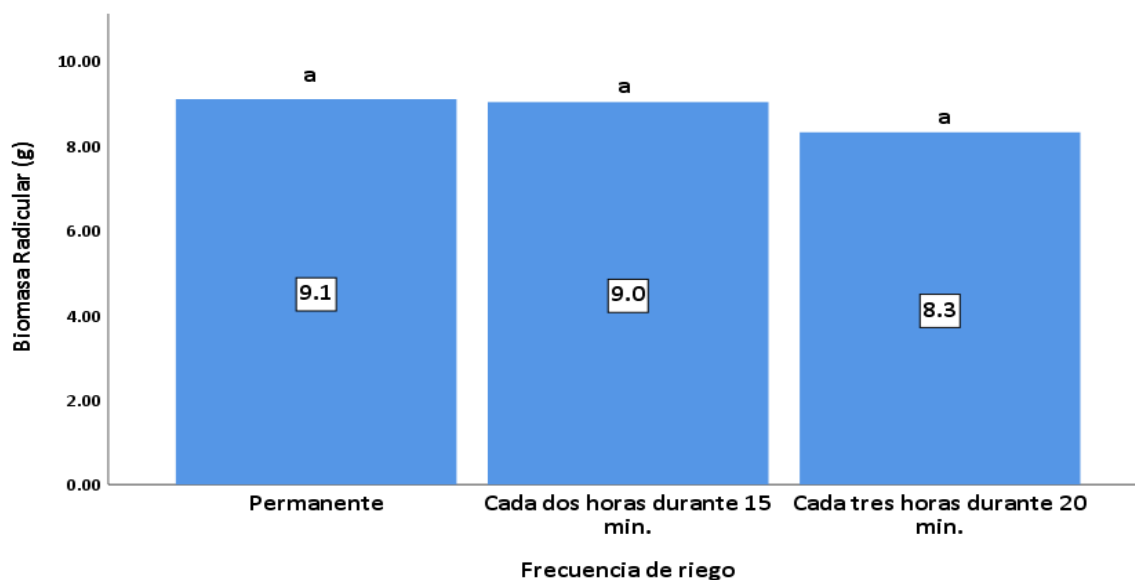
Fuente: Elaboración propia.

La utilización de la frecuencia de riego permanente alcanzó el mayor valor de biomasa radicular por planta (9,1 g) sin diferencias estadísticas a lo obtenido cuando se utilizó la frecuencia cada tres horas durante 20 minutos (9,0 g por planta) y a la frecuencia cada dos horas durante 15 minutos (8,3 g).

Interpretación del fenómeno estudiado

Este fenómeno puede atribuirse al uso de esponjas como sustrato, las cuales, gracias a su alta capacidad de retención hídrica, mantuvieron niveles constantes de humedad en la rizósfera. Este equilibrio hídrico en la zona radicular minimizó la influencia de las variaciones en el suministro de agua, proporcionando condiciones óptimas para el desarrollo del sistema radicular, independientemente del régimen de riego aplicado.

Figura 5: Efecto de las frecuencias de riego objeto de estudio en la biomasa radicular de plantas de acelga.



Fuente: Elaboración propia.

*Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas entre las frecuencias de riego en función de la biomasa radicular para un $p\text{-valor} \leq 0,05$ (según prueba de Tukey).

Discusión

El presente estudio evaluó los efectos de diferentes frecuencias de riego sobre tres variables clave en el cultivo hidropónico de acelga: número de hojas, biomasa aérea y biomasa radicular. Los resultados obtenidos demostraron comportamientos diferenciados entre estas variables, dependiendo de las características del riego y las condiciones del sistema, evidenciando tanto similitudes como diferencias significativas.

El análisis estadístico reveló que no existieron diferencias significativas en el número de hojas entre los tratamientos, lo que sugiere que la frecuencia de riego no fue un factor determinante en esta variable. Estudios previos, como el de Ruiz-Velazco et al. (2024), indicaron que la disponibilidad mínima de agua en sistemas hidropónicos permite un desarrollo foliar constante, siempre que las condiciones de nutrientes y luminosidad sean óptimas. Este fenómeno puede explicarse por la alta capacidad adaptativa de la acelga, que regula su desarrollo foliar en función de recursos básicos y homogéneos. Este resultado respalda la viabilidad del T₃ (riego cada tres

horas durante 20 minutos), ya que ofrece los mismos resultados en esta variable, con un menor consumo de agua y energía.

La biomasa aérea sí mostró diferencias significativas, siendo el Tratamiento con riego permanente el que obtuvo el mayor valor promedio (71,5 g), seguido por el T₂ y el T₃. Esto sugiere que la disponibilidad constante de agua optimizó los procesos fisiológicos, como la fotosíntesis y la translocación de nutrientes, lo que incrementó la producción de materia verde. Resultados similares fueron reportados por Villacrés (2019), quienes observaron que frecuencias de riego más frecuentes favorecen un mayor desarrollo aéreo debido a la constante disponibilidad de agua en la zona radicular. No obstante, aunque el T₃ mostró un menor rendimiento en esta variable, podría considerarse una alternativa eficiente en sistemas que priorizan el ahorro de recursos, especialmente en regiones con restricciones hídricas.

En cuanto a la biomasa radicular, no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos, lo que podría atribuirse al uso de esponjas como soporte. Estas esponjas, al mantener una humedad constante alrededor de las raíces, habrían minimizado las diferencias entre tratamientos, como también lo reportaron Massa et al. (2022), en sus estudios sobre sistemas hidropónicos. Este comportamiento sugiere que, en sistemas con materiales altamente absorbentes, la frecuencia de riego tiene un impacto reducido sobre el desarrollo radicular, permitiendo el uso de estrategias de riego menos intensivas sin comprometer esta variable.

El estudio reafirma que los sistemas hidropónicos pueden ser diseñados para optimizar el balance entre productividad y sostenibilidad. Mientras que la biomasa aérea mostró dependencia de la frecuencia de riego, el número de hojas y la biomasa radicular evidenciaron una mayor estabilidad, probablemente debido a las condiciones homogéneas generadas por el sistema. Esto refuerza la viabilidad de tratamientos menos intensivos, como el T₃, en escenarios donde el ahorro de agua y energía sea prioritario, sin comprometer de forma significativa el rendimiento del cultivo.

Conclusiones

La variable número de hojas de acelga no presentó diferencias significativas entre los tratamientos, lo que indicó que la frecuencia de riego no afectó esta variable, siempre que se garantice un suministro adecuado de agua. Los hallazgos evidencian que la acelga mostró una alta adaptabilidad a distintas frecuencias de riego, priorizando factores como la calidad de los nutrientes y las condiciones ambientales. Comercialmente, esto aseguró una producción uniforme y de calidad,

independientemente del tratamiento aplicado. La frecuencia de riego cada tres horas durante 20 minutos constituye una opción técnicamente viable y sostenible, ya que permitió ahorrar agua y energía sin comprometer la cantidad de hojas producidas, garantizando rentabilidad y eficiencia en sistemas hidropónicos.

La disponibilidad constante de agua en la frecuencia de riego permanente favoreció un mayor desarrollo aéreo de la acelga, probablemente debido a una mayor hidratación y eficiencia en los procesos fisiológicos, como la fotosíntesis. Por otro lado, el riego de agua cada tres horas durante 20 minutos, aunque menos eficiente en términos de biomasa aérea, puede considerarse una alternativa sostenible en escenarios donde el ahorro de agua y energía sea prioritario, ya que reduce significativamente el consumo del recurso hídrico. Sin embargo, esta disminución en biomasa podría limitar su aplicación en contextos donde se busque maximizar el rendimiento del cultivo.

La biomasa radicular de las plantas de acelga obtenida en las distintas frecuencias de riego objeto de estudio; no presentó diferencias estadísticas significativas, lo cual podría explicarse por el uso de esponjas como soporte de las plantas, las cuales posiblemente mantuvieron un nivel constante de humedad en las raíces, independientemente de la frecuencia de riego aplicada. Esta condición habría reducido el impacto de las variaciones en el suministro de agua sobre el desarrollo del sistema radicular, garantizando una hidratación adecuada para todas las plantas. Estos resultados sugieren que, en sistemas hidropónicos donde se utilizan materiales altamente absorbentes, como las esponjas, el desarrollo radicular puede no ser tan sensible a la frecuencia de riego. Por lo tanto, las decisiones sobre la frecuencia de riego podrían priorizar el ahorro de recursos, como agua y energía, sin comprometer significativamente el crecimiento radicular del cultivo de acelga.

Referencias

1. Altieri, M. A. (2018). *Agroecology: The science of sustainable agriculture*. CRC Press.
2. FAO. (2020). *The State of Food and Agriculture 2020. Overcoming Water Challenges in Agriculture*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
3. Fernández, J., & Martínez, P. (2020). Eficiencia hídrica en la agricultura hidropónica: técnicas y avances. *Journal of Irrigation Science*, 37(4), 245-259. <https://doi.org/10.1007/s00271-020-00674-9>
4. Iberdrola. (s.f.). *Hidroponía: Qué es y Ventajas de este Sistema de Cultivo*, <https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/que-es-hidroponia-y-ventajas>

5. Jones, J. B. (2016). *Hydroponics: A Practical Guide for the Soilless Grower*. CRC Press.
6. Kacira, M., Sabeh, N. C., & Kiniry, J. R. (2016). "Energy efficiency in greenhouse production systems: Overview and future prospects." *Biosystems Engineering*, 148, 52-69. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2016.04.014>
7. Martínez-Hernández, G., Amo-Setién, F., & Gómez-López, V. M. (2020). "Innovative irrigation strategies for hydroponic systems: Optimization of water and energy use." *Journal of Cleaner Production*, 274, 122825. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122825>
8. Resh, H. M. (2016). *Hydroponic Food Production: A Definitive Guidebook for the Advanced Home Gardener and the Commercial Hydroponic Grower*. CRC Press.
9. Savvas, D., & Gruda, N. (2018). Application of soilless culture technologies in the modern greenhouse industry—A review. *European Journal of Horticultural Science*, 83(5), 280-293.
10. Suarez et al. (2024). Diseño de una línea de producción para la fabricación de máquinas de cultivo hidropónico implementando tecnologías de la industria 4.0 con énfasis en la escalabilidad de los productos y sostenibilidad de la operación de manufactura, <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/27509/1/UPS-GT004999.pdf>
11. Tesi, R., Lenzi, A., & Venturi, F. (2020). Nutrient Solutions and Irrigation Management in Soilless Cultivation Systems. *Agronomy*, 10(12), 1838.
12. USDA. (2021). *FoodData Central*. United States Department of Agriculture.
13. van Os, E. A. (2017). New developments in recirculation systems in Dutch greenhouse horticulture. *Acta Horticulturae*, 1170, 161-170.
14. Claudia. (2023). *Hydroponic Horizons*. Obtenido de <https://hydroponichorizons.com/how-to-use-coco-coir-for-hydroponics/>
15. Hydro, H. (2023). *Happy Hydro*. Obtenido de <https://www.happyhydro.com/>
16. Hyjo. (2023). *Hyjo*. Obtenido de <https://www.hyjo.co.uk/>
17. McKeil, J. (2023). *Happy Hydro*. Obtenido de <https://www.happyhydro.com>
18. Callisaya, L. (2020). Efecto de las soluciones nutritivas en cultivos hidropónicos de hortalizas en invernadero. Repositorio Institucional.
19. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA). (2013). *Guía técnica para la formulación de soluciones nutritivas*.

20. Fabela, J., et al. (2006), citado en Callisaya, L. (2020). Efecto de las soluciones nutritivas en cultivos hidropónicos de hortalizas en invernadero. Repositorio Institucional.
21. DripWorks. (2024). Swiss Chard Growing Guide. <https://www.dripworks.com>
22. Epic Gardening. (2024). Growing Swiss Chard: Leafy Greens and Stems. <https://www.epicgardening.com>
23. Ruiz-Velazco, J. M., et al. (2024). "Producción de acelga (*Beta vulgaris* var. *cicla* L.) en sistemas hidropónicos y acuapónicos." *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 11(1): e3866.
24. Villacrés Chávez, H. I. (2019). "Evaluación de tres soluciones nutritivas en la producción de acelga (*Beta vulgaris* L.) var FORDHOOK GIANT, en hidroponía a raíz flotante en invernadero." Tesis de grado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
25. Massa, D., Mattson, N. S., & Lieth, J. H. (2022). "Root zone moisture control in hydroponics: Effects on plant growth and water use efficiency." *Horticultural Science Journal*, 58(3), 188-195.

© 2025 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).