



Efecto del agua magnetizada en el desarrollo fisiológico de quinua variedad Pata de Venado

Effect of magnetized water on physiological development of quinoa variety Pata de Venado

Nelson Bryan García Sanmartín¹

<https://orcid.org/0009-0005-4108-0590>

Giovana Paulina Parra Gallardo²

<https://orcid.org/0000-0002-8612-5992>

¹Universidad Técnica de Cotopaxi, Cotopaxi, Latacunga, Ecuador

²Universidad Técnica de Cotopaxi, Facultad de Ciencias Agropecuarias y
Recursos Naturales, Cotopaxi, Latacunga, Ecuador

nelson.garcia0854@utc.edu.ec giovana.parra@utc.edu.ec

Recibido: 2026/05/04

Aceptado: 2026/08/28

Publicado: 2026/09/21

Artículo original

Resumen

Introducción: el agua es fundamental, sin embargo, la calidad es necesaria para una óptima producción agrícola. **Objetivo:** evaluar el efecto del agua magnetizada y la condición de dureza en el desarrollo de plantas de quinua *Chenopodium quinoa* Willd, durante la etapa fenológica de crecimiento. **Método:** el estudio se desarrolló en el Campus Salache de la Universidad Técnica de Cotopaxi. Con un diseño de bloques completos al azar, de cuatro tratamientos y cinco repeticiones. Los tratamientos consistieron en agua magnetizada a intensidades de 1000, 3000 y 5000 Gauss, y un tratamiento control. **Resultados:** el análisis químico del agua de riego evidenció que el agua inicial presentó alta dureza, con valores superiores a 300 mg L⁻¹ de CaCO₃. El análisis químico del agua magnetizada evidenció modificaciones, observándose incrementos en el pH y la conductividad eléctrica, especialmente en el tratamiento de 5000 Gauss, así como una reducción en la dureza, RAS y concentraciones de minerales. El sustrato, evaluado a los 25 días, registró diferencias entre tratamientos en los contenidos residuales de minerales y pH. Las variables agronómicas mostraron

e9151

Cite este artículo como:

García Sanmartín, N.B. y Parra Gallardo, G.P. (2026). Efecto del agua magnetizada en el desarrollo fisiológico de quinua variedad Pata de Venado. *Universidad & ciencia*, 15(3), e9151.

URL: <https://revistas.unica.cu/index.php/uciencia/article/view/9151>

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.22880920>



diferencias significativas con 3000 y 5000 Gauss. **Conclusión:** los resultados indican que la irrigación con agua magnetizada favorece el desarrollo de la quinua.

Palabras clave: agua magnetizada; campos magnéticos; desarrollo agronómico; quinua

Abstract

Introduction: Water is essential, but high-quality water is necessary for optimal agricultural production. **Objective:** evaluate the effect of magnetized water and hardness conditions on the development of quinoa plants *Chenopodium quinoa Willd.*, during the phenological growth stage. **Method:** the study was developed at the Salache Experimental Campus of the Technical University of Cotopaxi, was conducted under a randomized complete block design, with four treatments and five repetitions. The treatments consisted of water magnetized at intensities of 1000, 3000 and 5000 Gauss, and a control treatment without magnetization. The net demand for irrigation was $53.61 \text{ L m}^{-2} \text{ month}^{-1}$, calculated using the Oudin methodology. **Results:** the chemical analysis of irrigation water showed that the initial water presented high hardness, with values exceeding 300 mg L^{-1} of CaCO_3 . The chemical analysis of water showed modifications associated with the use of magnetic fields, with increases in pH and electrical conductivity observed, especially in the treatment of 5000 Gauss, as well as a reduction in total hardness, RAS and concentrations of minerals, while boron showed an increase. In the substrate, evaluated at 25 days, differences were recorded between treatments in residual contents of minerals and pH. The agronomic variables showed significant, highlighting the treatments subjected to intensities of 3000 and 5000 Gauss. **Conclusion:** the results indicate that irrigation with magnetized water favors the development of quinoa.

Keywords: agronomic development; magnetized fields; magnetized water; quinoa

Introducción

La quinua se caracteriza por su alta capacidad de adaptación a diversas condiciones agroecológicas, lo que le permite desarrollarse en ambientes con



precipitaciones muy bajas y presentar resistencia a la sequía (Tabatabaei *et al.*, 2022). Además, su elevado valor nutricional la posiciona como un cultivo estratégico para la sostenibilidad alimentaria y el cumplimiento de los objetivos de desarrollo sostenible (Stanschewski *et al.*, 2021). A esto se suman sus beneficios para la salud, asociados a la presencia de compuestos fenólicos, flavonoides y glucósidos, que contribuyen a la prevención de enfermedades crónicas (Pathan y Siddiqui, 2022), razón por la cual es considerada un “superalimento” con gran potencial en distintos sistemas productivos (Angeli *et al.*, 2020).

En el contexto ecuatoriano, la producción de quinua ha mostrado relevancia, alcanzando en 2022 una superficie cosechada de 837 hectáreas y una producción de aproximadamente 884 toneladas (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2023). Asimismo, variedades desarrolladas por el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, como “Pata de Venado”, destacan por su adaptación y rendimiento en zonas altoandinas (Mazón *et al.*, 2005).

No obstante, la producción enfrenta limitaciones relacionadas con la calidad del agua de riego, especialmente en zonas como la provincia de Cotopaxi, donde se registran elevadas concentraciones de calcio, magnesio y contaminantes que afectan la absorción de nutrientes y el crecimiento vegetal (Carrión *et al.*, 2024). A esto se suma el desafío global de optimizar el uso del agua en la agricultura ante su creciente escasez, derivada del cambio climático y la degradación ambiental (Ingrao *et al.*, 2023).

En este contexto, el tratamiento magnético del agua se presenta como una alternativa no convencional para mejorar la calidad del riego y favorecer el desarrollo de los cultivos, debido a su capacidad de modificar propiedades fisicoquímicas como el pH, la tensión superficial, la conductividad eléctrica y la solubilidad de las sales, lo que contribuye a una mayor absorción de nutrientes y eficiencia hídrica (Putti *et al.*, 2023; Abdelsalam *et al.*, 2025). Asimismo, se ha evidenciado que el uso de agua magnetizada incrementa la germinación, la altura de la planta y la actividad fotosintética (Bouhlef *et al.*, 2024).



De manera complementaria, diversos estudios señalan que la magnetización del agua facilita el crecimiento vegetal al modificar sus propiedades fisicoquímicas (Alattar *et al.*, 2022). A su vez, esta tecnología contribuye a mitigar problemas asociados a la salinidad del suelo y a la escasez de agua (Yao *et al.*, 2024).

En consecuencia, el presente estudio se propuso evaluar el efecto del agua magnetizada en el desarrollo de plantas de quinua (*Chenopodium quinoa*) variedad INIAP “Pata de Venado” durante la etapa fenológica de crecimiento en Salache – Cotopaxi, analizando tanto los cambios químicos del agua y del sustrato como las respuestas agronómicas de las plantas. Los hallazgos aportan evidencia de que el tratamiento magnético representa una alternativa ecológica capaz de mejorar la productividad y la sostenibilidad de los cultivos andinos.

Materiales y Métodos

Ubicación del estudio

El experimento se llevó a cabo en el Campus Experimental Salache, adscrito a la Universidad Técnica de Cotopaxi, situado en el cantón Latacunga, provincia de Cotopaxi, Ecuador, entre octubre de 2019 y febrero de 2020. Ese campus forma parte del proyecto institucional “Granos Andinos e Invernadero Inteligente”, una iniciativa que persigue reforzar la producción sostenible de cultivos andinos.

Diseño experimental

Se aplicó un diseño de bloques completos al azar (DBCA) con cuatro tratamientos y cinco repeticiones, utilizando como unidad experimental una planta de quinua sembrada en funda plástica, con el fin de comparar los efectos de diferentes niveles de inducción magnética sobre el desarrollo fenológico del cultivo de quinua. Los tratamientos correspondieron a tres intensidades de magnetización del agua:

T₀: Agua sin magnetizar (control).

T₁: Agua magnetizada a 1000 Gauss.

T₂: Agua magnetizada a 3000 Gauss.

T₃: Agua magnetizada a 5000 Gauss.

Material biológico



Se empleó semilla certificada de quinua (*Chenopodium quinoa Willd.*) variedad INIAP 'Pata de Venado', caracterizada por su adaptación a zonas altoandinas y su rendimiento promedio de 1.2 t ha^{-1} .

Materiales y equipos

El ensayo utilizó fundas de vivero plásticas, sustrato comercial Klamann-Deilmann, cintas métricas, calibrador pie de rey, cámara fotográfica, flexómetro, medidor de clorofila (CMM 200 Plus) y material de campo complementario.

El agua magnetizada se obtuvo mediante dos equipos: Mineral Magnet II, con imanes permanentes de alta densidad y el Magnetizador de Neodimio, que permitió intensidades controladas de 1000, 3000 y 5000 Gauss. Mientras que, el sistema de riego fue por aspersión localizada, aplicando un volumen mensual de 53.61 L m^{-2} , determinado mediante la metodología de Oudin para la demanda neta de riego.

Variables y mediciones

Las variables evaluadas fueron: porcentaje de germinación, altura de planta, diámetro de tallo, número de hojas, longitud de raíz, área foliar y contenido de clorofila. Las mediciones se realizaron a los 10, 15, 20, 25 y 30 días después de la siembra, correspondientes a la etapa fenológica de crecimiento.

Análisis de laboratorio

Los parámetros determinados incluyeron pH, conductividad eléctrica (CE), dureza, calcio, magnesio, sodio, potasio, sulfato y boro. Las muestras fueron analizadas en el Laboratorio del INIAP, aplicando metodologías estandarizadas de análisis químico de aguas y suelos.

Procesamiento y análisis estadístico

Los datos obtenidos fueron analizados mediante un ANOVA y, posteriormente, las medias se compararon con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$), empleando el software INFOSTAT v.2020. A través del análisis se lograron distinguir diferencias sustanciales entre los tratamientos y, a su vez, valorar cuantitativamente la influencia del agua magnetizada en las variables agronómicas.

Resultados y Discusión

En la Tabla 1 se presentan los requerimientos hídricos del cultivo de quinua según las diferentes fases fenológicas evaluadas. Los resultados permitieron determinar la evapotranspiración del cultivo y establecer la necesidad bruta de agua y el tiempo de riego requerido para cada etapa de desarrollo.

Tabla 1

Requerimiento hídrico del cultivo de quinua según fase fenológica

Fase fenológica	Días después de la siembra	Kc	ETc (mm/mes)	ETc (mm/día)	Necesidad bruta (L m ⁻² día ⁻¹)	Tiempo de riego (min/día)
Fase inicial	1 – 38	0,52	32,16	1,07	1,78	21,44
Maduración	39 – 97	1,00	61,86	2,06	3,43	41,24

La evapotranspiración de referencia (ET_o) fue de 61.86 mm mes⁻¹, calculada mediante la ecuación de Hargreaves y Samani (1985) con una temperatura media de 15,05 °C. Se consideró una eficiencia de riego del 60 % y un sistema de aspersión con caudal de 5 L min⁻¹.

Análisis del comportamiento químico del agua

En la Tabla 2 se presentan los resultados correspondientes al comportamiento químico del agua de riego sometida a diferentes intensidades de magnetización. Se evaluaron parámetros fisicoquímicos e iónicos con el propósito de determinar las modificaciones ocasionadas por el tratamiento magnético.

Tabla 2

Comportamiento químico del agua

Parámetros	Agua sin magnetizar (control).	Agua magnetizada a 1000 Gauss	Agua magnetizada a 3000 Gauss	Agua magnetizada a 5000 Gauss.
pH	7,74	8,45	8,44	8,5
C.E. (dS/m)	1,04	1,26	1,27	1,29
Dureza (CaCo ₃ mg/l)	308,8	235,4	122	120,3
RAS	2,4	2,34	2,83	2,7
Ca mg/l	44,76	31	33	31
Mg mg/l	47,88	40	41	40
Na mg/l	96,23	82,4	72	68
K mg/l	13,52	13,7	13,6	13,1
Cl mg/l	69,5	57,51	58,22	56,8

e9151

Cite este artículo como:

García Sanmartín, N.B. y Parra Gallardo, G.P. (2026). Efecto del agua magnetizada en el desarrollo fisiológico de quinua variedad Pata de Venado. *Universidad & ciencia*, 15(3), e9151.

URL: <https://revistas.unica.cu/index.php/uciencia/article/view/9151>

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.22880920>



S mg/l	161,8	110,9	126,6	123,7
B mg/l	0,9	8,6	8,7	8,2

La evaluación química del agua de riego evidenció cambios asociados a la aplicación del campo magnético, reflejados principalmente en el incremento del pH, la conductividad eléctrica y la reducción de la dureza. Mientras el agua sin tratar presentó un pH neutro–ligeramente alcalino, los tratamientos magnetizados mostraron valores más elevados, comportamiento que coincide con Alattar *et al.* (2022), quienes señalan que la magnetización altera el equilibrio iónico y la estructura molecular del agua. De igual forma, la conductividad eléctrica aumentó progresivamente con la intensidad del campo magnético, lo cual concuerda con Pang *et al.* (2012) y Putti *et al.* (2023), quienes explican que la separación de partículas salinas y el mayor movimiento iónico incrementan este parámetro. En contraste, la dureza del agua disminuyó de forma notable en los tratamientos magnetizados, en concordancia con Bouhlel *et al.* (2024), quienes atribuyen este efecto a una menor capacidad del agua para disolver carbonatos de calcio y magnesio. Por otro lado, la relación de adsorción de sodio (SAR) se mantuvo estable, lo que sugiere que la magnetización no generó cambios relevantes en el equilibrio sodio-calcio-magnesio (Ayers y Westcot, 1985).

En cuanto a la composición iónica, coincide con Maheshwari y Grewal (2009), quienes señalan que. los tratamientos con agua magnetizada presentaron menores concentraciones de calcio y magnesio respecto al control, además de una reducción progresiva de sodio, cloro y azufre, estos cambios pueden explicarse por la formación de estructuras iónicas más estables inducidas por el campo magnético. Por su parte, Abdelsalam *et al.* (2025), se observó que el potasio no mostró variación a lo largo de los diferentes tratamientos, excepto en un tratamiento que tuvo una ligera disminución en la concentración total de potasio. Por el contrario, también se observó que el tratamiento con agua tratada magnéticamente exhibió concentraciones significativamente elevadas de boro, lo cual puede representar una limitante agronómica, ya que concentraciones elevadas de este elemento pueden generar toxicidad en las plantas, afectando procesos fisiológicos como el crecimiento radicular y la absorción de nutrientes.

Análisis del comportamiento de los elementos del sustrato

e9151

Cite este artículo como:

García Sanmartín, N.B. y Parra Gallardo, G.P. (2026). Efecto del agua magnetizada en el desarrollo fisiológico de quinua variedad Pata de Venado. *Universidad & ciencia*, 15(3), e9151.

URL: <https://revistas.unica.cu/index.php/uciencia/article/view/9151>

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.22880920>

En la Tabla 3 se presentan los resultados de los parámetros químicos del sustrato antes y después de la aplicación de los tratamientos con agua magnetizada, el cual permitió evaluar los cambios en las propiedades químicas del medio de cultivo después de 35 días de siembra.

Tabla 3

Parámetros del sustrato antes y después de ser utilizado

Parámetro	Sustrato antes de agua magnetizada	Sustrato 35 días después de la siembra con riego de agua magnetizada			
	Sustrato simple	Agua sin magnetizar (control).	Agua magnetizada a 1000 Gauss	Agua magnetizada a 3000 Gauss	Agua magnetizada a 5000 Gauss.
pH	5.5 – 6,5	6.07	4.97	5.92	5.73
NH ₄	140 ppm	30 ppm	25 ppm	31 ppm	24 ppm
P	160 ppm	46 ppm	39 ppm	35 ppm	33 ppm
K	180 ppm	0,45 meq/100ml	0,36 meq/100ml	0,36 meq/100ml	0,26 meq/100ml
Ca		23,60 meq/100ml	18,20 meq/100ml	24,50 meq/100ml	19,60 meq/100ml
Mg	100 ppm	2,40 meq/100ml	2,30 meq/100ml	2,20 meq/100ml	2,20 meq/100ml

Los resultados evidenciaron que el pH del sustrato se mantuvo en un rango adecuado en el tratamiento control, mientras que en los tratamientos con agua magnetizada se produjo una ligera acidificación, siendo más marcada en uno de ellos y menos intensa en los demás, comportamiento que coincide con lo reportado por Alattar *et al.* (2022) sobre cambios en la zona radicular. En cuanto al nitrógeno amoniacal, se observó una disminución general en todos los tratamientos, atribuida al consumo por parte de las plantas durante su crecimiento, sin diferencias estadísticas entre ellos, lo cual concuerda con Mujica *et al.* (2001), quienes señalan una alta demanda de nitrógeno en etapas iniciales independientemente del tipo de riego.

Por su parte, el fósforo mostró una reducción progresiva, aunque se mantuvo en niveles adecuados, lo que indica disponibilidad suficiente en el sustrato. De manera



similar, el potasio evidenció una mayor absorción asociada al incremento de la intensidad magnética, coincidiendo con Hozayn *et al.* (2011), quienes atribuyen este efecto a una mejora en la movilidad iónica. En contraste, los niveles de calcio y magnesio se mantuvieron elevados sin una relación clara con la intensidad del tratamiento, lo que respalda lo señalado por Abdelsalam *et al.* (2025) sobre la limitada respuesta de estos elementos frente a la magnetización del agua.

Efecto del agua magnetizada sobre germinación y variables de crecimiento en quinua

En la Tabla 4 se presentan los resultados del efecto del agua magnetizada sobre el porcentaje de germinación y la altura de planta en quinua durante los primeros 30 días de evaluación:

Tabla 4

Efecto del agua magnetizada sobre germinación y variables de crecimiento en quinua (Tukey 5 %)

Días	T0	T1	T2	T3	Sig.	CV (%)
Germinación						
4	25,34 a	26,66 a	41,33 b	45,33 b	*	19,15
5	42,66 ab	41,34 a	60,00 b	70,66 c	**	17,39
6	62,66 ab	60,02 a	73,36 ab	77,32 b	**	12,57
7	80,00 a	78,66 a	84,00 a	85,34 a	N.S	7,47
10	97,32 a	100 a	97,32 a	100 a	N.S	2,56
Altura						
10	1,38 a	1,35 a	2,46 b	3,19 b	**	20,30
15	3,17 a	3,20 a	5,15 c	4,29 b	**	10,69
20	5,54 a	6,03 a	8,28 b	9,22 b	**	8,61
25	8,14 a	8,42 a	11,64 b	13,02 c	**	6,35
30	11,02 a	11,77 a	16,07 b	17,28 b	*	7,42

Nota. T0 = control; T1 = 1000 Gauss; T2 = 3000 Gauss; T3 = 5000 Gauss. Medias con la misma letra en una fila no presentan diferencias significativas (Tukey, $p > 0,05$). N.S = No significativo; * = $p < 0,05$; ** = $p < 0,01$.

Los resultados evidencian que el agua magnetizada generó un efecto diferencial según la variable y etapa de desarrollo, destacándose una aceleración en la germinación y una respuesta progresiva en el crecimiento vegetativo. En las primeras fases, los tratamientos T2 y T3 mostraron mayores porcentajes de germinación, lo que

coincide con Domínguez *et al.* (2010), quienes atribuyen este comportamiento a una mejora en la imbibición y activación metabólica. Posteriormente, variables como altura, número de hojas, área foliar y clorofila presentaron incrementos sostenidos, especialmente en T3, lo cual está en concordancia con Abdelsalam *et al.* (2025) y Hozayn *et al.* (2011), quienes relacionan esta mejora con una mayor eficiencia fotosintética y disponibilidad de nutrientes.

En la Tabla 5 se presentan los resultados correspondientes a las variables morfológicas y fisiológicas evaluadas en el cultivo de quinua bajo diferentes tratamientos de agua magnetizada:

Tabla 5

Efecto del agua magnetizada sobre variables morfológicas y fisiológicas en quinua (Tukey 5%)

Días	T0	T1	T2	T3	Sig.	CV (%)
Diámetro						
10	0,97 a	0,99 a	0,99 a	1,00 a	N.S	3,30
15	0,97 a	1,00 a	1,29 b	1,27 b	**	6,22
20	1,43 a	1,37 a	1,99 b	2,08 b	**	8,60
25	1,84 ab	1,70 a	2,17 bc	2,30 c	*	10,42
30	2,09 a	2,21 a	2,61 b	2,79 b	N.S	9,83
Hojas						
10	0,88 a	0,56 a	1,58 b	2,08 b	**	28,94
15	2,71 a	2,47 a	3,51 b	3,97 b	**	13,44
20	4,98 a	4,80 a	6,12 b	6,94 c	**	7,49
25	7,65 ab	7,03 a	8,90 bc	9,47 c	*	9,16
30	10,84 a	10,15 a	12,25 b	12,96 b	**	4,90
Raíz (cm)						
10	2,56 a	2,60 a	3,02 a	4,46 b	*	19,99
15	3,78 a	3,80 a	4,88 a	6,20 b	*	14,05
20	4,98 a	5,26 a	6,22 ab	7,12 b	*	16,43
25	6,56 a	6,94 a	8,62 b	9,72 c	**	6,54
30	10,46 a	9,92 a	12,42 a	13,82 b	*	12,10
Area foliar						
10	5,84 a	6,32 a	11,30 b	13,88 b	**	14,88
15	25,94 a	32,66 a	42,80 b	51,78 c	**	9,82
20	48,90 a	53,22 a	83,40 b	90,64 b	**	7,84
25	71,32 a	79,96 a	114,72 b	130,02 b	**	12,04
30	147,53 a	131,11 ab	192,22 ab	207,45 b	**	19,71



Clorofila						
—	13,12 AB	12,98 A	16,69 AB	21,82 B	*	—

Nota. T0 = control; T1 = 1000 Gauss; T2 = 3000 Gauss; T3 = 5000 Gauss. Medias con la misma letra en una fila no presentan diferencias significativas (Tukey, $p > 0,05$). N.S = No significativo; * = $p < 0,05$; ** = $p < 0,01$.

En contraste, el diámetro del tallo mostró una respuesta menos consistente, con diferencias principalmente en etapas intermedias, lo que sugiere como lo indican Maheshwari y Grewal (2009), Putti *et al.* (2023) y Mujica *et al.* (2001), que el efecto del agua magnetizada incide más en la velocidad de crecimiento que en la estructura final, Asimismo, el desarrollo radicular evidenció alta sensibilidad al tratamiento, particularmente en T3, lo que coincide con Abdelsalam *et al.* (2025) y Fung *et al.* (2008), quienes señalan que la magnetización del agua mejora la absorción de agua y nutrientes. En conjunto, estos resultados confirman que el agua magnetizada actúa como un bioestimulante que optimiza los procesos fisiológicos del cultivo sin afectar su viabilidad.

Conclusiones

La demanda neta del agua magnetizada calculada por el método de Oudin es de 1.78 l/día*m² lo cual es un riego eficiente, sin estresar a las plantas de quinua, ni producir desperdicios del recurso hídrico. En cuanto a las variables agronómicas en el porcentaje de germinación se encontró diferencias significativas para los 4, 5 y 6 días después de la siembra. Para la altura de planta se encontró diferencias altamente significativas a los 5, 10, 15 y 20 días, sin embargo, a los 25 días se encontró diferencias significativas. El diámetro de tallo presentó diferencias altamente significativas a los 10 y 15 días, sin embargo, a los 20 días se encontraron diferencias significativas, mientras que a los 5 y 25 días las diferencias no fueron significativas. Se encontró diferencias altamente significativas en la variable número de hojas a los 5, 15 y 25 días, no obstante, a los 10 y 20 días las diferencias fueron significativas. La longitud de raíz presentó diferencias significativas a los 5, 10, 15 y 25 días, mientras que a los 20 días las diferencias fueron altamente significativas. El área foliar presentó diferencias altamente significativas a los 5, 10, 15 y 20 días, sin embargo, a los 25 días las diferencias fueron significativas.



Los resultados del comportamiento de las propiedades químicas del sustrato con el uso de agua magnetizada mostraron influir en el pH del T1 al acidificarlo a 4.97 en comparación del sustrato inicial que valoraba un pH de 5.5 a 6.5. En cuanto al nitrógeno, fósforo, potasio y magnesio estos promediaron inicialmente de 140 ppm, 160 ppm, 180 ppm y 100 meq/100ml a 24 ppm, 33 ppm, 0,26 ppm y 2.20 meq/100ml respectivamente en el T3, para magnesio las diferencias entre tratamientos no son claras. El calcio del sustrato del T2 fue consumido en mayor cantidad con promedio de 28.20 meq/100ml.

Referencias Bibliográficas

- Abdelsalam, H., Mostafa, H., El Ansary, M., Awad, M., Sultan, W. (2025). Magnetization treatment effect on some physical and biological characteristics of saline irrigation water. *Scientific Reports*, 15, 19803. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-04297-6>
- Alattar, E., Radwan, E., Elwasife, K. (2022). Improvement in growth of plants under the effect of magnetized water. *AIMS Biophysics*, 9(4), 346-387. <https://doi.org/10.3934/biophy.2022029>
- Angeli, V., Silva, P. M., Massuela, D. C., Khan, M. W., Hamar, A., Khajehei, F., Piatti, C. (2020). Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): Potentials of the “golden grain” and socio-economic and environmental aspects. *Foods*, 9(2), 216. <https://doi.org/10.3390/foods9020216>
- Ayers, R. S., Westcot, D. W. (1985). *Water quality for agriculture* (FAO Irrigation and Drainage Paper No. 29). Food and Agriculture Organization. <https://www.fao.org/3/t0234e/t0234e.pdf>
- Bouhlef, M., Khaskhoussy, K., Hachicha, M. (2024). Improvement of salt leaching efficiency and soil water content through irrigation with electro-magnetized saline water. *Water*, 16(20), 3010. <https://doi.org/10.3390/w16203010>
- Carrión, P., Morante-Carballo, F., Briones-Bitar, J., Jaya-Montalvo, M., Sánchez-Zambrano, E., Solórzano, J., Espinel, R. (2024). Water quality from natural sources for sustainable agriculture: Galápagos, Ecuador. *Water*, 16(11), 1516. <https://doi.org/10.3390/w16111516>



- Domínguez Pacheco, A., Hernández Aguilar, C., Cruz Orea, A., Carballo Carballo, A., Zepeda Bautista, R., Martínez Ortiz, E. (2010). Influences of electromagnetic fields on maize seed vigor. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 33(2), 183-188. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73802010000200012
- Fung, Y., Isaac, E., Botta, A. (2008). Riego con agua tratada magnéticamente en romero. *Centro Agrícola*, 35(3), 23-27. <https://biblat.unam.mx/hevila/Centroagricola/2008/vol35/no1/4.pdf>
- Hargreaves, G. H., Samani, Z. A. (1985). Reference crop evapotranspiration from temperature. *Applied Engineering in Agriculture*, 1(2), 96-99. <https://elibrary.asabe.org/abstract.asp?aid=26773>
- Hozayn, M., Abdul Qados, A. M. S. (2011). Irrigation with magnetized water enhances growth, chemical constituents and yield of chickpea plants. *Agriculture and Biology Journal of North America*, 1(4), 671-676. <https://scihub.org/ABJNA/PDF/2010/4/1-4-671-676.pdf>
- Ingrao, C., Campochiaro, C., Giudice, A. L., Matarazzo, A., Bacenetti, J. (2023). Water scarcity in agriculture: An overview of causes, impacts and adaptation strategies. *Water*, 15(14), 2567. <https://doi.org/10.3390/w15142567>
- Maheshwari, B. L., Grewal, H. S. (2009). Magnetic treatment of irrigation water: Its effects on vegetable crop yield and water productivity. *Agricultural Water Management*, 96(8), 1229-1236. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378377409000900>
- Mazón, N., Peralta, E., Monar, C., Subía, C., Rivera, M. (2005). *INIAP Pata de Venado (Tarhua chaqui): Nueva variedad de quinua precoz y de grano dulce*. INIAP, Estación Experimental Santa Catalina, Programa Nacional de Leguminosas y Granos Andinos. <https://repositorio.iniap.gob.ec/items/5fd5c061-6fa4-4f76-b0e4-1f35c581081f>
- Ministerio de Agricultura y Ganadería. (2023). *Producción nacional de quinua en Ecuador*. Gobierno del Ecuador. https://fliphtml5.com/ijia/qplr/Bolet%C3%ADn_Situacional_Quinua_2022/



- Mujica, A., Jacobsen, S. E., Izquierdo, J., Marathee, J. P. (2001). *Quinoa (Chenopodium quinoa Willd.): Ancestral cultivo andino, alimento del presente y futuro*. FAO. <https://www.fao.org/3/x9892s/x9892s00.htm>
- Oudin, L., Hervieu, F., Michel, C., Perrin, C., Andréassian, V., Anctil, F. y Loumagne, C. (2005). Which potential evapotranspiration input for a lumped rainfall-runoff model? Part 2: Towards a simple and efficient potential evapotranspiration model for rainfall-runoff modelling. *Journal of Hydrology*, 303(1-4), 290-306. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2004.08.026>
- Pathan, S., Siddiqui, R. A. (2022). Nutritional composition and bioactive components in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) greens: A review. *Nutrients*, 14(3), 558. <https://doi.org/10.3390/nu14030558>
- Pang, X., Deng, B., Tang, J. (2012). Influences of magnetic field on physicochemical properties of water. *Electromagnetic Biology and Medicine*, 31(1), 1-8. <https://doi.org/10.1142/S0217984912500698>
- Putti, F. F., Vicente, E. F., Chaves, P. P. N., Mantoan, L. P., Cremasco, C. P., Arruda, J. B., Forti, C., Junior, J. F. S.; Campos, M., dos Reis, A. R., Filho, L. R. A. G. (2023). Effect of magnetic water treatment on the growth, nutritional status, and yield of lettuce plants with irrigation rate. *Horticulturae*, 9(4), 504. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9040504>
- Stanschewski, C. S., Rey, E., Fiene, G., Cárdenas-Toro, F. P., Vargas, M., Wessel-Beaver, L., Graeff-Hönninger, S. (2021). Global food security and quinoa sustainability. *Sustainability*, 13(15), 8392. <https://doi.org/10.3390/su13158392>
- Tabatabaei, I., Alseekh, S., Shahid, M., Leniak, E., Wagner, M., Mahmoudi, H., Thushar, I., Fernie, A. R., Murphy, K., Schmöckel, S. M., Tester, M., Mueller-Roeber, B., Albacete, A., Skirycz, A., Balazadeh, S. (2022). The diversity of quinoa morphological traits and seed metabolic composition. *Scientific Data*, 9, 323. <https://doi.org/10.1038/s41597-022-01399-y>
- Yao, X., Zhang, K., Gao, X., Ai, X., Chen, G., Guo, X. (2024). Combined effects of magnetized irrigation and water management on photosynthesis and water-use



efficiency under saline conditions. *Agronomy*, 14(11), 2621.

<https://doi.org/10.3390/agronomy14112621>

Conflicto de interés

Los autores no declaran conflictos de intereses.



Esta obra está bajo una licencia internacional [Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/). Se permite su copia y distribución por cualquier medio siempre que mantenga el reconocimiento de sus autores, no haga uso comercial de los contenidos y no realice modificación de la misma.