



EFFECTO DE ZINC Y MAGNESIO EN PRODUCTIVIDAD Y RENTABILIDAD DE LECHUGA REPOLLADA PARA PEQUEÑOS PRODUCTORES

EFFECT OF ZINC AND MAGNESIUM ON PRODUCTIVITY AND PROFITABILITY OF HEAD LETTUCE FOR SMALL-SCALE PRODUCERS

Marcela de Jesus Villegas Alvario ^{1*}

E-mail: mvillegas@uagraria.edu.ec

ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-9306-6584>

Jomira Morelia Chavez Zaruma ¹

E-mail: jmzc9618@outlook.com

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-1661-9467>

Carlos Alfredo Miranda Castro ¹

E-mail: carlos.miranda.castro@uagraria.edu.ec

ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-3915-7622>

Kimberly Deyanira Ruiz Ruiz ¹

E-mail: ruizk87@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-8566-9215>

¹Universidad Agraria del Ecuador. Guayaquil, Ecuador.

*Autor para correspondencia

Cita sugerida (APA, séptima edición):

Villegas Alvario, M. J., Chavez Zaruma, J. M., Miranda Castro, C. A., & Ruiz Ruiz, K. D. (2026). Efecto de zinc y magnesio en productividad y rentabilidad de lechuga repollada para pequeños productores. *Universidad y Sociedad* 18(3). e5852.

RESUMEN:

El estudio evaluó el efecto de aplicaciones foliares de zinc y magnesio sobre el rendimiento, la calidad visual y la rentabilidad del cultivo de lechuga repollada, con el propósito de ofrecer una alternativa viable para pequeños productores hortícolas del cantón Milagro, Ecuador. Se estableció un diseño de bloques completos al azar con cuatro tratamientos (Zinc, Magnesio, Zinc+Magnesio y testigo) y cinco repeticiones. La combinación de 300 ml de Zinc y 200 ml de Magnesio (T3) incrementó el rendimiento en un 24,6 % respecto al testigo, alcanzó la mayor intensidad de verdor foliar y obtuvo una relación beneficio-coste de 3,64, la más favorable del ensayo. Estos resultados confirman que la fertilización foliar conjunta de zinc y magnesio constituye una práctica de bajo costo y alto retorno económico, capaz de fortalecer los ingresos familiares y la seguridad alimentaria de los agricultores de pequeña escala en la región.

Palabras clave: Clorofila, Lechuga, Magnesio, Zinc, Pequeño productor, Rentabilidad.

ABSTRACT:

This study evaluated the effect of foliar applications of zinc and magnesium on yield, visual quality, and profitability of head lettuce, and its potential as a viable alternative for small-scale horticultural producers in Milagro, Ecuador. A randomized complete block design with four treatments (Zinc, Magnesium, Zinc+Magnesium, and control) and five replications was used. The combination of 300 ml Zinc and 200 ml Magnesium (T3) increased yield by 24.6% compared to the control, achieved the highest leaf greenness intensity, and obtained a benefit-cost ratio of 3.64, the most favorable of the trial. These results confirm that joint foliar fertilization of zinc and magnesium constitutes a low-cost, high-return practice, capable of strengthening family income and food security for small-scale farmers in the region.

Keywords: Chlorophyll, Lettuce, Magnesium, Zinc, Small-scale producer, Profitability.



INTRODUCCIÓN

La lechuga (*Lactuca sativa* L.) es una hortaliza que se produce en todas las regiones bajo diferentes condiciones climáticas (Guillen et al., 2022), ocupando un lugar preferente a nivel mundial (Buenrostro et al., 2025). Según los datos más recientes de la FAO (2023), la producción global de cultivos hortícolas ha mantenido una tendencia creciente para satisfacer la demanda de alimentos frescos, consolidando a esta hortaliza como un componente esencial en la seguridad alimentaria y la economía agrícola internacional.

El magnesio y el zinc son micronutrientes que modulan características agronómicas clave. Su manejo adecuado permite incrementar los rendimientos y la calidad de los cultivos (Ahmed et al., 2023; Alloway, 2008; Cakmak, 2013). El magnesio es fundamental para la fotosíntesis, pues ocupa la posición central en el anillo de porfirina de la molécula de clorofila, pigmento fotorreceptor primario responsable del color verde y la conversión de energía (Ahmed et al., 2023). Por su parte, el zinc actúa como cofactor en diversos sistemas enzimáticos y en la síntesis de auxinas, promoviendo el crecimiento vegetativo (Amezcuca & Lara, 2022).

En el contexto agrícola de Ecuador, específicamente en zonas de producción intensiva como la provincia del Guayas, el cultivo de lechuga enfrenta desafíos críticos relacionados con la desnutrición micro-mineral, lo que limita los ingresos de las familias rurales. La optimización de la fertilización foliar no es solo un reto técnico, sino una necesidad socioeconómica para maximizar la rentabilidad del suelo. Bajo esta premisa, el presente estudio tiene como objetivo evaluar el impacto de aplicaciones foliares de zinc y magnesio como correctores de clorofila y su efecto en la productividad y rentabilidad económica del cultivo de lechuga repollada. Se busca proporcionar al agricultor local una herramienta de manejo nutricional que garantice una producción de calidad, competitiva y con un alto retorno de inversión.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación y duración del estudio

La investigación se llevó a cabo en el Centro Experimental “El Misionero”, localizado en el cantón Milagro, provincia del Guayas, Ecuador. El sitio experimental se encuentra georreferenciado en las coordenadas UTM x: 659400 y: 9763943. El ciclo del cultivo se desarrolló durante el segundo semestre del año 2020, abarcando los meses de julio a diciembre, periodo donde se monitorearon las condiciones climáticas para asegurar el desarrollo adecuado del ensayo. Esta zona es representativa de los sistemas productivos de pequeños agricultores hortícolas de la región, cuyo sustento familiar depende directamente de la rentabilidad de cultivos de ciclo corto como la lechuga.

Material vegetal y diseño experimental

Se utilizó lechuga (*Lactuca sativa* L.) variedad repollada tipo “Great Lakes”. El estudio se estableció bajo un Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA), conformado por cuatro tratamientos y cinco repeticiones, con la utilización de 20 unidades experimentales. Los tratamientos consistieron en la aplicación foliar de correctores nutricionales basados en Zinc y Magnesio en diferentes combinaciones, comparados con un testigo absoluto sin aplicación. Las dosis específicas y los momentos de aplicación para cada variante experimental se detallan en la Tabla 1.

Tabla 1: Descripción de tratamientos.

N	Tratamiento	Dosis	Aplicaciones (ddt)
1	Zinc	300 ml	15 - 25 - 35
2	Magnesio	200 ml	15 - 25 - 35
3	Zinc + Magnesio	300 ml + 200 ml	15 - 25 - 35
4	Testigo	0	Sin aplicación

La distribución espacial de los bloques y tratamientos en campo se realizó de manera aleatoria para minimizar el error experimental asociado a gradientes de fertilidad en el suelo, ver Tabla 2.

Tabla 2. Diseño de Bloques Completos al Azar.

R1	T1	T2	T3	T4
R2	T3	T4	T1	T2
R3	T1	T2	T3	T4
R4	T3	T4	T1	T2
R5	T1	T2	T3	T4

Manejo agronómico

La preparación del suelo se mecanizó mediante el uso de un motocultor, con tres pases de arado hasta conseguir una estructura suelta y mullida, óptima para el desarrollo radical de la hortaliza. La siembra se realizó inicialmente en bandejas germinadoras con riego frecuente (tres veces al día) hasta la emergencia. El trasplante al campo definitivo, se efectuó cuando las plántulas alcanzaron el estado fenológico de cuatro hojas verdaderas y una altura adecuada para resistir el estrés post-trasplante.

El riego se suministró mediante un sistema por goteo y se ajustó la lámina de agua según la evapotranspiración del cultivo y la etapa fenológica. El control de arvenses se realizó de forma manual y mecánica durante todo el ciclo para evitar competencia por nutrientes y luz. Para el manejo fitosanitario, se implementó un control etológico mediante trampas cromáticas amarillas para el monitoreo y captura de insectos vectores. El control de enfermedades fúngicas se realizó de manera preventiva y curativa con Azoxistrobina en dosis de 0.5 g/L.

La fertilización con los tratamientos experimentales (Zinc y Magnesio) se ejecutó vía foliar en tres momentos: 15, 25 y 35 días después del trasplante (ddt). Se aseguró la cobertura total del área foliar para maximizar la absorción estomática y cuticular de los nutrientes. La fertilización foliar permite la absorción eficiente de micronutrientes a través de la cutícula y los estomas, especialmente en condiciones donde la disponibilidad edáfica es limitada (Fernández & Eichert, 2009).

Variables evaluadas y recolección de datos

Para la evaluación del desempeño agronómico se seleccionaron al azar 15 plantas centrales de cada unidad experimental (parcela útil) y se descartaron los bordes para evitar el efecto de borde.

- Número de hojas:** Se realizó el conteo manual de hojas totalmente desplegadas y fotosintéticamente activas en tres momentos del ciclo: a los 25, 45 y 55 ddt.
- Evaluación visual de la pigmentación foliar (Estimación de clorofila):** Debido a la ausencia de equipos de medición no destructiva (SPAD), se empleó una escala cualitativa visual estandarizada para estimar el contenido relativo de clorofila a los 80 ddt. La escala arbitraria propuesta, cuyos criterios de valoración se describen en la Tabla 3, clasificó la coloración en tres niveles: (0) Amarillo/Clorosis; (0.5) Verde intermedio; y (1.0) Verde intenso. Para asegurar la consistencia de las observaciones y minimizar la subjetividad, la evaluación fue realizada estrictamente por el mismo investigador, bajo condiciones de luz solar natural similares (09:00 h) y en el mismo sector del campo experimental.

Tabla 3: Escala de nivel de clorofila foliar.

Valor	Color	Significado
0	Amarillo	Tratamiento no aporta clorofila
0.5	Verde intermedio	Tratamiento aporta clorofila
1	Verde	Tratamiento aporta clorofila significativamente

- Peso fresco y Rendimiento:** Al momento de la cosecha (madurez comercial), se determinó el peso fresco individual (g/planta) con una balanza de precisión. Posteriormente, el rendimiento se extrapoló a kilogramos por hectárea (kg/ha) con base en la densidad de siembra utilizada.

4. Análisis económico: Se realizó un análisis de relación Beneficio-Costo (R B/C) orientado a evaluar la viabilidad para el pequeño productor; para ello se consideraron los costos fijos y variables de producción frente a los ingresos brutos generados por el rendimiento estimado de cada tratamiento.

Análisis estadístico

Los datos obtenidos fueron procesados y analizados con el software estadístico InfoStat (versión 2020). Se verificaron los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas. Posteriormente, se realizó un Análisis de Varianza (ANOVA) para determinar diferencias significativas entre tratamientos, conforme al modelo lineal y grados de libertad que se presentan en la Tabla 4. Para la separación de medias se utilizó la prueba de Tukey con un nivel de significancia del 5% ($p < 0.05$).

Tabla 4 Esquema de análisis de varianza.

Fuente de variación	Grados de libertad
Tratamientos (T-1)	3
Repeticiones (R - 1)	4
Error experimental	12
Total	19

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Número de hojas

El comportamiento de la variable número de hojas se evalúa en tres momentos fenológicos distintos. A los 25 días después del trasplante (ddt), el análisis de varianza no detecta diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos ($p > 0.05$). Aunque el tratamiento T2 (Magnesio) muestra una media aritmética ligeramente superior con 4.8 hojas, el test de Tukey agrupa a todos los tratamientos bajo la misma categoría estadística (Letra A), tal como se detalla en la Tabla 5. Esto indica que, en la fase inicial de establecimiento, la aplicación de los correctores no genera una respuesta diferenciada inmediata en la emisión foliar.

Tabla 5: Media de número de hojas a los 25 días.

Tratamiento	Aplicación	Promedio de hojas
T1	300 ml Zinc	4,2 a
T2	200 ml Magnesio	4,8 a
T3	300 ml Zinc+200 ml Magnesio	4,2 a
T4	Sin aplicación	4,6 a

Nota: Medias con letras iguales no difieren significativamente según la prueba de Tukey ($p > 0,05$).

A los 45 ddt, la respuesta agronómica del cultivo cambia. Los datos presentados en la Tabla 6 evidencian que el tratamiento T3 (Zinc + Magnesio) alcanza el mayor promedio con 10 hojas por planta, y se diferencia significativamente del resto de los grupos (Letra A). Por el contrario, los tratamientos individuales T1 y T2, así como el testigo T4, muestran un comportamiento inferior y estadísticamente similar entre sí (Letra B).

Tabla 6: Media de número de hojas a los 45 días.

Tratamiento	Aplicación	Promedio de hojas
T1	300 ml Zinc	8,4 b
T2	200 ml Magnesio	8,2 b
T3	300 ml Zinc+200 ml Magnesio	10 a
T4	Sin aplicación	8 b

Nota: Medias con letras distintas difieren significativamente según la prueba de Tukey ($p < 0,05$).

Esta tendencia se consolida a los 55 ddt. Como se observa en la Tabla 7, el tratamiento T3 mantiene la supremacía estadística con un promedio de 14 hojas por planta (Letra A). El tratamiento T2 (Magnesio) se ubica en un rango intermedio con 11.6 hojas (Letra B), y supero estadísticamente al tratamiento T1 y al testigo T4, los cuales registran los valores más bajos del ensayo (10.8 hojas). Estos resultados confirman el efecto sinérgico de la aplicación combinada en las etapas de mayor demanda vegetativa.

Tabla 7: Media de número de hojas a los 55 días.

Tratamiento	Aplicación	Promedio de hojas
T1	300 ml Zinc	10,8 c
T2	200 ml Magnesio	11,6 b
T3	300 ml Zinc+200 ml Magnesio	14 a
T4	Sin aplicación	10,8 c

Nota: Medias con letras distintas difieren significativamente según la prueba de Tukey ($p < 0,05$).

Nivel de clorofila foliar (Evaluación visual)

La valoración de la pigmentación, realizada a los 80 ddt mediante escala visual, muestra diferencias claras en la intensidad del verdor. Según los datos de la Tabla 8, los tratamientos T1 (Zinc) y T3 (Zinc + Magnesio) obtienen las puntuaciones más altas (0.90), correspondientes a una coloración verde intensa. El análisis estadístico indica que no existen diferencias significativas entre estos dos tratamientos, pero ambos fueron superiores al testigo T4, que presenta el índice más bajo (0.38), asociado a clorosis o menor vigor fotosintético.

Tabla 8: Promedio de valoración de nivel de clorofila.

Tratamiento	Promedio de valoración
T1: 300 ml Zinc	0,90 a
T2: 200 ml Magnesio	0,54 b
T3: 300 ml Zinc+200 ml Magnesio	0,90 a
T4: Sin aplicación	0,38 b

Nota: Medias con letras distintas difieren significativamente según la prueba de Tukey ($p < 0,05$).

Peso de la lechuga

Al momento de la cosecha, la biomasa fresca muestra variaciones significativas. El tratamiento T3 registra el mayor peso promedio con 294,98 g por planta, y supera estadísticamente a los demás tratamientos (Letra A), tal como se aprecia en la Tabla 9. Es relevante notar que el testigo absoluto (T4) obtiene un peso de 236,84 g, que supera numéricamente a las aplicaciones individuales de Zinc y Magnesio, esto sugiere que la aplicación aislada de estos elementos no fue suficiente para superar al manejo convencional sin la interacción de ambos nutrientes.

Tabla 9: Media en el peso de la lechuga repollada (g)

Tratamiento	Aplicación	Media de peso
T1	300 ml Zinc	223,04 c
T2	200 ml Magnesio	227,84 c
T3	300 ml Zinc+200 ml Magnesio	294,98 a
T4	Sin aplicación	236,84 b

Nota: Medias con letras distintas difieren significativamente según la prueba de Tukey ($p < 0,05$).

Rendimiento

La proyección del rendimiento por hectárea, detallada en la Tabla 10, corrobora la superioridad del tratamiento combinado. El T3 alcanza un rendimiento de 30.972,2 kg/ha (Letra A), y se distancia significativamente del testigo T4, que obtiene 24.868,2 kg/ha. Los tratamientos T1 y T2 muestran los rendimientos más bajos del ensayo. El bajo coeficiente

de variación (CV=0.99%) reportado en este análisis ratifica la confiabilidad y precisión de los datos obtenidos en campo.

Tabla 10: Rendimiento (kg/ha) de los tratamientos.

Tratamiento	Aplicación	Rendimiento kg/ha.
T1	300 ml Zinc	23.356,2 d
T2	200 ml Magnesio	23.926,0 c
T3	300 ml Zinc+200 ml Magnesio	30.972,2 a
T4	Sin aplicación	24.868,2 b

Nota: Medias con letras distintas difieren significativamente según la prueba de Tukey ($p < 0,05$). CV = 0,99%.

Análisis beneficio-costo

El análisis financiero permite determinar la viabilidad de las aplicaciones para el productor. El costo fijo incluye la preparación del suelo, plántulas, riego y mano de obra básica, mientras que el beneficio neto se obtiene de la diferencia entre de los ingresos brutos (basados en el rendimiento real y un precio de mercado local de \$0,45 por kg) y los costos totales. Como se observa en la Tabla 11, el tratamiento T3 fue el más rentable.

Tabla 11: Relación beneficio-costo de los tratamientos.

Tratamiento	Beneficio neto USD	Costo Total USD	Relación B/C
T1: Zinc	6.306,17	2.120	2,97
T2: Magnesio	6.460,02	2.090	3,09
T3: Zinc + Magnesio	8.362,49	2.300	3,64
T4: Testigo	6.714,41	1.910	3,51

Nota: El Costo Total incluye costos fijos y la inversión en los correctores foliares.

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos demuestran que la fertilización foliar conjunta de Zinc (300 ml) y Magnesio (200 ml) potencia significativamente los parámetros agronómicos de la lechuga repollada en comparación con las aplicaciones individuales y el testigo.

En cuanto a la pigmentación foliar, los tratamientos que incluyen Zinc (T1 y T3) presentaron un verdor superior (0,90 a) y se diferenciaron estadísticamente del testigo (0,38 b). Esta respuesta confirma que el zinc actúa como catalizador en la formación de cloroplastos, mientras que el magnesio, como átomo central de la clorofila, resulta indispensable para la fotosíntesis eficiente (Ahmed et al., 2023). La clorosis observada en el testigo refleja una oferta insuficiente de estos micronutrientes en el suelo, situación que De-Francisco et al. (2025) también reportan para cultivos de lechuga en condiciones de baja disponibilidad de zinc. La mejora del verdor tiene implicaciones comerciales directas: un follaje intensamente verde es determinante en la decisión de compra del consumidor, lo que incrementa el valor del producto en los mercados locales.

Este sinergismo Zn-Mg coincide con lo documentado por Ren et al. (2025), quienes demuestran que la aplicación foliar de zinc optimiza la eficiencia fotosintética y el crecimiento vegetativo en lechuga. La interacción positiva entre zinc y magnesio está documentada en diversas especies, en las que la combinación de micronutrientes mejora la absorción y translocación de ambos elementos (Fageria et al., 2002). Al mismo tiempo, el magnesio asegura la maquinaria de captura de luz, permitiendo que la planta traduzca ese estímulo en mayor biomasa comercializable. Las aplicaciones aisladas (T1 y T2) no superaron al testigo, lo que sugiere que la corrección de un solo elemento en suelos con deficiencias múltiples no garantiza una respuesta productiva.

El análisis beneficio-costo muestra que el T3 alcanza una relación de 3,64, la más favorable del ensayo. Este resultado es relevante para los pequeños horticultores, quienes operan con márgenes estrechos y requieren tecnologías de bajo costo y alta rentabilidad. La diversificación hacia cultivos hortícolas de alto valor, combinada con un manejo eficiente de micronutrientes, ha sido identificada como una vía efectiva para la reducción de la pobreza rural (Weinberger & Lumpkin, 2007). Estudios experimentales en pequeñas explotaciones agrícolas demuestran que la adopción de fertilizantes puede generar retornos económicos significativos, aunque a menudo se requieren intervenciones para superar barreras de adopción (Dufflo et al., 2011). En el presente estudio, el incremento de rendimiento del 24,6 % con una inversión adicional mínima en correctores foliares se traduce en un aumento tangible de los ingresos familiares y en una mayor disponibilidad de alimentos frescos para la comunidad.

Desde una perspectiva de seguridad alimentaria, intervenciones como la fertilización con zinc mejoran el rendimiento, y pueden elevar la concentración de micronutrientes en las hortalizas, con contribución a combatir deficiencias nutricionales en las poblaciones vulnerables (Cakmak, 2008). La adopción de esta práctica por parte de agricultores familiares representa, por tanto, una estrategia con doble beneficio: incrementa la rentabilidad del cultivo y mejora la calidad nutricional del alimento. La integración de métricas de sostenibilidad en la evaluación de tecnologías agrícolas, como lo señalan Bastida et al. (2025), refuerza la necesidad de considerar simultáneamente los resultados agronómicos, económicos y sociales.

Sobre la base de lo antes expuesto, la aplicación conjunta de zinc y magnesio es una tecnología de manejo sencilla, de bajo costo y con un impacto positivo comprobado en la productividad y la rentabilidad. Su transferencia a través de programas locales de extensión agrícola puede fortalecer los sistemas productivos de los pequeños horticultores de la provincia del Guayas, con la promoción de una agricultura más eficiente, rentable y socialmente responsable.

CONCLUSIONES

La aplicación foliar combinada de Zinc (300 ml) y Magnesio (200 ml) demuestra ser la estrategia nutricional más eficaz para mejorar la productividad de la lechuga repollada en las condiciones del cantón Milagro. Este manejo no solo incrementó el peso fresco y el rendimiento por hectárea, sino que también intensifica el verdor foliar, atributo determinante en la decisión de compra del consumidor local.

Desde el punto de vista socioeconómico, el tratamiento combinado alcanza una relación beneficio-costo de 3,64, la más alta del ensayo. Este resultado implica que por cada dólar invertido el pequeño horticultor recupera \$3,64, lo que convierte esta práctica en una alternativa de bajo costo y alto retorno, capaz de fortalecer los ingresos familiares y contribuir a la seguridad alimentaria de la región.

Por tanto, se recomienda transferir esta tecnología de fertilización foliar a las asociaciones de productores hortícolas de Milagro e insertarla en los programas locales de extensión agrícola, con el fin de promover sistemas productivos más rentables, resilientes y alineados con las necesidades reales de la agricultura familiar.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahmed, N., Zhang, B., Bozdar, B., Chachar, S., Rai, M., Li, J., & Tu, P. (2023). The power of magnesium: Unlocking the potential for increasing yield, quality, and stress tolerance of horticultural crops. *Frontiers in Plant Science*, *14*, 1285512. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1285512>
- Alloway, B. J. (2008). *Zinc in Soils and Crop Nutrition* (2nd ed.). International Zinc Association.
- Amezcuca, J., & Lara, M. (2022). El zinc en las plantas. *Revista Ciencia*, *73*(3), 1-8. https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/68_3/PDF/zinc_plantas.pdf
- Bastida, E. L., Ricardo Cabrera, H., Valladares, C. L. R., & de Armas Yanes, D. (2025). Integración de Métricas de Sostenibilidad en la Producción Científica, mediante métodos multicriterio. *Universidad y Sociedad*, *17*(6), e5742-e5742. <https://rus.ucf.edu.cu/index.php/rus/article/view/5742/5541>
- Buenrostro, J., Montazar, A., Avilés, S., Escobosa, M., Brígido, J., & Soto, R. (2025). Rendimiento de lechuga (*Lactuca sativa* L.) bajo diferentes láminas de riego y dosis de nitrógeno en el Valle Imperial, California. *Terra Latinoamericana*, *43*, e2056. <https://doi.org/10.28940/terra.v43i.2056>
- Cakmak, I. (2008). Enrichment of cereal grains with zinc: Agronomic or genetic biofortification? *Plant and Soil*, *302* (1-2), 1-17. <https://doi.org/10.1007/s11104-007-9466-3>
- Cakmak, I. (2013). Magnesium in crop production, food quality and human health. *Plant and Soil*, *368*(1-2), 1-4. <https://doi.org/10.1007/s11104-013-1781-2>
- De-Francisco, M., Hernández-Montes, E., DeSanto, S., Montoya, M., Obrador, A., & Almendros, P. (2025). Growth and photosynthetic responses of *Lactuca sativa* L. to different zinc fertilizer sources and applications. *Horticulturae*, *11*(10), 1221. <https://doi.org/10.3390/horticulturae11101221>

Duflo, E., Kremer, M., & Robinson, J. (2011). Nudging Farmers to Use Fertilizer: Theory and Experimental Evidence from Kenya. *American Economic Review*, 101(6), 2350-2390. <https://www.aeaweb.org/articles?id=10.1257/aer.101.6.2350>

Fageria, N. K., Baligar, V. C., & Clark, R. B. (2002). Micronutrients in crop production. *Advances in Agronomy*, 77, 185-268. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(02\)77015-6](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(02)77015-6)

FAO. (2023). *World Food and Agriculture – Statistical Yearbook 2023*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://doi.org/10.4060/cc8166en>

Fernández, V., & Eichert, T. (2009). Uptake of Hydrophilic Solutes Through Plant Leaves: Current State of Knowledge and Perspectives of Foliar Fertilization. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 28(1-2), 36-68. <https://doi.org/10.1080/07352680902743069>

Guillen, C., Resquín, A., & Valdez, F. (2022). Desempeño de variedades de lechuga crespa en temporada de invierno. *Investigación Agraria*, 24(1), 45-52. <https://revistas.unc.edu.py/index.php/agrarias/article/view/359>

Ren, Y., Zhang, D., Cheng, B., Chen, B., Yue, L., Cao, X., & Wang, Z. (2025). Foliar spraying zinc-carbon dot nanofertilizer promotes yield and quality of lettuce (*Lactuca sativa* L.) through leaf-root regulation. *ACS Agricultural Science & Technology*, 5(3), 371-380. <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acscagcitech.4c00651>

Weinberger, K., & Lumpkin, T. A. (2007). Diversification into horticulture and poverty reduction: a research agenda. *World Development*, 35 (8), 1464-1480. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2007.05.002>

Contribución de los autores Universidad & Sociedad publica sus artículos bajo una licencia Creative Commons <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.es>



CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran no tener conflictos de intereses financieros, académicos o personales que puedan haber influido en la realización o los resultados de esta investigación.

Contribución de los autores

La participación de cada autor en el desarrollo de la investigación se detalla a continuación según la taxonomía CRediT:

Autor	Roles
Marcela de Jesus Villegas Alvario	Conceptualización, Metodología, Investigación, Redacción (borrador original).
Jomira Morelia Chavez Zaruma	Curación de datos, Validación, Visualización.
Carlos Alfredo Miranda Castro	Análisis formal, Supervisión, Redacción - revisión y edición.
Kimberly Deyanira Ruiz Ruiz	Adquisición de fondos, Recursos, Administración del proyecto.

