



Desempeño agronómico de dos variedades de cebolla con estiércoles compostados y microorganismos eficientes

Agronomic performance of two onion varieties with composted manure and efficient microorganisms

Desempenho agrônômico de duas variedades de cebola com esterco compostado e microrganismos eficientes

ARTÍCULO ORIGINAL



Escanea en tu dispositivo móvil o revisa este artículo en:
<https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v10i28.435>

Julio César Huamán Tapara¹
jchuamantapara@gmail.com

Edgar Huamán Tapara²
edgarht2024@gmail.com

Milto Edelio Campos Albornoz⁴
mcamposa@undac.edu.pe

Edy Luis Sivana Peña¹
edyluis077@gmail.com

Manuel Vega Ronquillo³
manuelvegaronquillo2017@gmail.com

¹Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco. Cusco, Perú

²Instituto de Educación Tecnológico Público Santa Rosa. Puno, Perú

³Universidad Nacional Agraria la Selva (UNAS), Facultad de Recursos Naturales Renovables, Escuela de Ingeniería en Ciencias de Conservación de Suelos y Agua. Puno, Perú

⁴Universidad Daniel Alcides Carrión, Cerro de Pasco, Perú

Artículo recibido: 6 de noviembre 2025 / Arbitrado: 22 de diciembre 2025 / Publicado: 7 de enero 2026

RESUMEN

La producción de cebolla (*Allium cepa* L.) en zonas altoandinas se ve limitada por la baja fertilidad del suelo, las prácticas de manejo convencional y la dependencia de insumos sintéticos que afectan la sustentabilidad de los agroecosistemas. Con el fin de evaluar alternativas agroecológicas que mejoren el rendimiento del cultivo, se desarrolló un experimento en Huayllapata (Cusco, Perú) aplicando estiércoles ovino, vacuno y de cuy previamente compostados y enriquecidos con microorganismos eficientes (EM). Se utilizó un Diseño de Bloques Completamente al Azar con arreglo factorial 2x7, considerando dos variedades de cebolla (Roja y Cristal White Wax) y siete tratamientos orgánicos, incluido un testigo sin fertilización. Se evaluaron altura de planta, diámetro de bulbo, peso de bulbo y rendimiento (t ha⁻¹). Los resultados muestran efectos altamente significativos de los tratamientos y de la interacción variedad x abono. La variedad Roja presentó los valores más altos en todas las variables, destacando el tratamiento EC+EM al 100%, que alcanzó 17.79 t ha⁻¹. Los estiércoles compostados enriquecidos con EM demostraron ser una alternativa viable, sostenible y de alto impacto productivo para condiciones altoandinas.

Palabras clave: *Allium cepa*, compost; Microorganismos eficientes; Rendimiento; Agroecología

ABSTRACT

Onion (*Allium cepa* L.) production in high-Andean zones is limited by low soil fertility, conventional management practices, and dependence on synthetic inputs that compromise the sustainability of agroecosystems. In order to evaluate agroecological alternatives that enhance crop yield, an experiment was conducted in Huayllapata (Cusco, Peru) using sheep, cattle, and guinea pig manures previously composted and enriched with Effective Microorganisms (EM). A Randomized Complete Block Design with a 2x7 factorial arrangement was implemented, considering two onion varieties (Red and Cristal White Wax) and seven organic treatments, including an unfertilized control. Plant height, bulb diameter, bulb weight, and yield (t ha⁻¹) were evaluated. The results show highly significant effects of the treatments and of the variety x fertilizer interaction. The Red variety recorded the highest values for all variables, with the EC+EM 100% treatment achieving 17.79 t ha⁻¹. Composted manures enriched with EM proved to be a viable, sustainable, and high-impact alternative for production under high-Andean conditions.

Key words: *Allium cepa*; Compost; Effective Microorganisms; Yield; Agroecology

RESUMO

A produção de cebola (*Allium cepa* L.) nas regiões altoandinas é limitada pela baixa fertilidade do solo, pelas práticas convencionais de manejo e pela dependência de insumos sintéticos que comprometem a sustentabilidade dos agroecosistemas. Com o objetivo de avaliar alternativas agroecológicas que melhorem o rendimento da cultura, realizou-se um experimento em Huayllapata (Cusco, Peru) utilizando esterco ovino, bovino e de cuy previamente compostados e enriquecidos com Microorganismos Eficientes (EM). Empregou-se um Delineamento em Blocos Completamente Casualizados com arranjo fatorial 2x7, considerando duas variedades de cebola (Roja e Cristal White Wax) e sete tratamentos orgânicos, incluindo um controle sem fertilização. Foram avaliados a altura da planta, o diâmetro do bulbo, o peso do bulbo e o rendimento (t ha⁻¹). Os resultados mostram efeitos altamente significativos dos tratamentos e da interação variedade x adubo. A variedade Roja apresentou os maiores valores em todas as variáveis, destacando-se o tratamento EC+EM a 100%, que atingiu 17,79 t ha⁻¹. Os estercos compostados enriquecidos com EM demonstraram ser uma alternativa viável, sustentável e de alto impacto produtivo para as condições altoandinas.

Palavras-chave: *Allium cepa*; Composto; Microorganismos Eficientes; Rendimento; Agroecologia

INTRODUCCIÓN

La cebolla (*Allium cepa* L.) es uno de los cultivos hortícolas más importantes a nivel mundial por su alto valor económico, su amplia adaptabilidad y su uso extensivo en la alimentación humana (1). Su rendimiento depende en gran medida de las condiciones del suelo, particularmente del contenido de materia orgánica, la disponibilidad de nutrientes y la actividad biológica edáfica (2). En regiones altoandinas, como en gran parte del Perú, los suelos presentan baja fertilidad natural, escasa materia orgánica y problemas de degradación física, química y biológica asociados al sobrepastoreo, erosión y prácticas agrícolas tradicionales (3, 4). Esta condición limita el crecimiento radicular y reduce la disponibilidad de nutrientes, afectando directamente el desarrollo y el rendimiento del cultivo de cebolla (5).

En este contexto, el uso de enmiendas orgánicas provenientes de estiércoles compostados se ha consolidado como una alternativa sostenible para mejorar la fertilidad del suelo y la productividad de los cultivos (6, 7). El compost aporta nutrientes de liberación gradual, mejora la estructura del suelo, aumenta su capacidad de retención de agua y estimula la actividad microbiana beneficiosa (8). Diversos estudios han demostrado que los estiércoles de ovino, vacuno y cuy poseen propiedades diferenciales en su composición nutricional y velocidad de mineralización, siendo el estiércol de

cuy uno de los más ricos en nitrógeno disponible (9, 10).

Paralelamente, la aplicación de microorganismos eficientes (EM), formulación microbiana compuesta por bacterias ácido-lácticas, levaduras y fototróficas, ha demostrado favorecer la descomposición de la materia orgánica, incrementar la disponibilidad de nutrientes y mejorar el desarrollo vegetal (11, 12). Investigaciones recientes reportan efectos positivos de los EM en hortalizas como cebolla, tomate y lechuga, particularmente en ambientes con limitaciones edáficas (6, 13). Sin embargo, la magnitud de la respuesta depende del tipo de estiércol utilizado, su grado de compostaje y la interacción con factores agroecológicos locales. En el Perú, los antecedentes sobre el uso combinado de estiércoles compostados y EM para el cultivo de cebolla son escasos y se encuentran fragmentados.

Estudios regionales en Puno y el altiplano central han mostrado mejoras en el rendimiento con aplicaciones de humus y abonos orgánicos activados con EM, pero sin evaluar interacciones específicas entre tipos de estiércol ni efectos diferenciales por variedad (10, 14). Tampoco existen investigaciones publicadas que combinen estiércol de cuy, vacuno y ovino compostados con EM en un diseño factorial para identificar sinergias y tratamientos óptimos en condiciones agroecológicas altoandinas.

Este vacío de conocimiento limita la toma de decisiones agronómicas de productores locales, quienes requieren alternativas sostenibles y económicamente viables para reemplazar o complementar el uso de fertilizantes sintéticos. Además, las variedades de cebolla responden de manera diferencial a las condiciones de fertilidad y manejo del suelo, lo que hace necesario evaluar la interacción entre tipo de variedad y tipo de abono orgánico para definir recomendaciones técnicas más precisas (2, 13).

Ante esta situación, el presente estudio tuvo como objetivo evaluar el desempeño agronómico de dos variedades de cebolla bajo la aplicación de estiércoles ovino, vacuno y de cuy compostados y enriquecidos con microorganismos eficientes, mediante un diseño factorial 2×7 en condiciones agroecológicas de Huayllapata, Cusco. Este trabajo constituye una contribución relevante al generar evidencia científica local que permita comprender los efectos de diferentes abonos orgánicos compostados y su interacción con variedades comerciales, ofreciendo alternativas prácticas y sostenibles para mejorar la productividad del cultivo en zonas altoandinas.

La fortaleza principal del estudio radica en su diseño factorial, que permite analizar efectos individuales e interactivos entre variedad y tipo de compost, y en el uso de estiércoles locales de alta disponibilidad para los agricultores de

la región. Asimismo, la investigación aporta información valiosa para promover sistemas agrícolas más sostenibles, reducir la dependencia de insumos sintéticos y mejorar la resiliencia de los agroecosistemas andinos frente al cambio climático.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El experimento se realizó en la comunidad de Huayllapata, distrito de Santo Tomás, provincia de Chumbivilcas, región Cusco (Perú), ubicada a 3492 m s.n.m., caracterizada por un clima frío templado, precipitaciones concentradas entre diciembre y marzo y suelos de textura franco-arenosa, típicos de zonas altoandinas. Estos suelos presentan baja concentración de materia orgánica y limitada disponibilidad de nitrógeno, fósforo y potasio, condiciones reportadas para ecosistemas similares en la sierra sur peruana (3, 4). El estudio se desarrolló durante la campaña agrícola 2023–2024 bajo condiciones de campo abierto y manejo agroecológico.

Diseño experimental

Se empleó un Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA) con arreglo factorial 2×7, considerando:

- Factor A: Variedades de cebolla (2 niveles)
 - Variedad Roja
 - Variedad Cristal White Wax
- Factor B: Tratamientos de estiércoles compostados + EM (7 niveles)
 - EC + EM al 100%
 - EV + EM al 50% + EC + EM al 50%
 - EO + EM al 50% + EC + EM al 50%
 - EV + EM al 100%
 - EV + EM al 50% + EO + EM al 50%
 - EO + EM al 100%
 - Testigo sin fertilización

Cada unidad experimental se estableció en parcelas homogéneas con cuatro repeticiones, siguiendo recomendaciones para ensayos de fertilización orgánica en hortalizas (2, 6). La parcela útil fue conformada por hileras con distanciamiento técnico entre plantas y calles, de acuerdo con prácticas de cultivo locales.

Obtención y compostaje de los estiércoles

Se utilizaron estiércoles de cuy (EC), vacuno (EV) y ovino (EO), recolectados de productores locales. Cada estiércol se sometió a un proceso de compostaje aeróbico durante 60 días, asegurando: humedad entre 50–60%, volteos periódicos (cada 7 días), temperatura sostenida entre 50–65 °C durante la fase termófila, siguiendo los principios

descritos por Calero et al. (8) y Chilon y Chilon (4).

El compostaje tuvo como objetivo estabilizar la materia orgánica, reducir patógenos y facilitar la mineralización de nutrientes, proceso ampliamente documentado en abonos orgánicos utilizados en hortalizas (6, 7).

Activación y aplicación de microorganismos eficientes (EM)

Los microorganismos eficientes (EM) utilizados consistieron en una mezcla de bacterias ácido-lácticas, levaduras y bacterias fototróficas, activadas durante 7 días con una solución de melaza-alimento, manteniendo pH < 4 antes de su aplicación, conforme al protocolo de Higa y Parr (11). Los EM se incorporaron durante el proceso de compostaje y también mediante aplicaciones líquidas al suelo en pretrasplante, favoreciendo la descomposición de la materia orgánica y la disponibilidad de nutrientes, tal como recomiendan Ali et al. (12) y Talaat y Abdel (13).

Manejo del cultivo

La siembra se realizó utilizando plántulas previamente desarrolladas en almácigos, trasplantadas cuando alcanzaron el estado fenológico adecuado. El manejo agronómico (riegos, deshierbos y control cultural de plagas) se efectuó conforme a prácticas agroecológicas locales, evitando totalmente el uso de insumos

sintéticos. Las aplicaciones de los tratamientos se realizaron de acuerdo con cada combinación factorial, incorporando los compostos y EM al momento del trasplante y en el periodo de establecimiento.

Variables evaluadas

Se evaluaron cuatro variables agronómicas clave:

- a. Altura de planta (cm), medida desde la base hasta la punta de la hoja más larga en 10 plantas representativas por parcela.
- b. Diámetro de bulbo (cm), determinada con vernier digital, siguiendo la metodología estándar para hortalizas bulbosas (5).
- c. Pesodebulbo(g), medido en balanza electrónica, considerando bulbos representativos de la parcela útil.
- d. Rendimiento ($t\ ha^{-1}$), estimado extrapolando el peso total de bulbos cosechados en la parcela útil, según criterios técnicos de evaluación de rendimiento en cebolla (10, 14).

Análisis estadístico

Se realizó un Análisis de Varianza (ANVA) para determinar diferencias entre tratamientos y la interacción variedad \times abono. Para la comparación de medias se utilizó la prueba de Tukey al 5% y 1% de significancia. Los análisis se realizaron utilizando un software estadístico especializado (R o InfoStat), tal como recomiendan estudios recientes en investigación agroecológica (2).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Altura de planta

La altura de planta mostró diferencias significativas entre variedades, tratamientos y en su interacción. La variedad Roja presentó los mayores valores en la mayoría de los tratamientos, superando consistentemente a Cristal White Wax. El máximo valor se obtuvo con el tratamiento EC + EM al 100%, alcanzando 57.52 cm en la variedad Roja. En contraste, el testigo sin fertilización registró las menores alturas en ambas variedades.

Tabla 1. Altura de planta (cm) según variedad y tratamiento de estiércoles compostados con EM.

Tratamiento	Variiedad	Media (cm)	Tukey 5%	Tukey 1%
EC + EM al 100%	Roja	57.52	A	A
EV + EM 50% + EC + EM 50%	Roja	55.38	A B	A
EO + EM 50% + EC + EM 50%	Roja	53.62	A B C	A B
EV + EM al 100%	Roja	52.79	A B C D	A B C
EV 50% + EO 50%	Roja	50.12	B C D	B C D
EO + EM al 100%	Roja	49.01	C D	C D
Testigo	Roja	45.89	D	D
EC + EM al 100%	Cristal White Wax	44.62	E	E
EV 50% + EC 50%	Cristal White Wax	42.55	E F	E F
EO 50% + EC 50%	Cristal White Wax	41.93	E F	E F
EV + EM al 100%	Cristal White Wax	40.87	F	F
EV 50% + EO 50%	Cristal White Wax	40.53	F	F
EO + EM al 100%	Cristal White Wax	39.67	F	F
Testigo	Cristal White Wax	38.91	F	F

Diámetro de bulbo

Los tratamientos orgánicos enriquecidos con EM incrementaron significativamente el diámetro de bulbo. La variedad Roja obtuvo los mayores diámetros en todos los tratamientos, alcanzando

un máximo de 6.87 cm con EC + EM al 100%. En la variedad Cristal White Wax, los diámetros fueron menores, aunque también mostraron incrementos relevantes frente al testigo.

Tabla 2. Diámetro de bulbo (cm) según variedad y tratamiento.

Tratamiento	Variiedad	Media (cm)	Tukey 5%	Tukey 1%
EC + EM al 100%	Roja	6.87	A	A
EV 50% + EC 50%	Roja	6.54	A B	A
EO 50% + EC 50%	Roja	6.48	A B	A
EV + EM al 100%	Roja	6.35	B	A B
EV 50% + EO 50%	Roja	6.22	B C	B C
EO + EM al 100%	Roja	6.05	C	C
Testigo	Roja	5.74	C	D
EC + EM al 100%	Cristal White Wax	5.43	D	E
EV 50% + EC 50%	Cristal White Wax	5.12	E	F
EO 50% + EC 50%	Cristal White Wax	4.96	E F	F
EV + EM al 100%	Cristal White Wax	4.88	F	F
EV 50% + EO 50%	Cristal White Wax	4.71	F	F
EO + EM al 100%	Cristal White Wax	4.55	F	F
Testigo	Cristal White Wax	4.32	F	F

Pesp de bulbo

El peso de bulbo evidenció diferencias altamente significativas. La variedad Roja nuevamente obtuvo los valores más altos en todos los tratamientos, destacando el EC + EM al 100%

con 197.04 g, mientras que el testigo obtuvo solo 112.89 g. La variedad Cristal White Wax presentó pesos menores, aunque todos los tratamientos superaron ampliamente al control.

Tabla 3. Peso de bulbo (g) según variedad y tratamiento.

Tratamiento	Variedad	Media (g)	Tukey 5%	Tukey 1%
EC + EM al 100%	Roja	197.04	A	A
EV 50% + EC 50%	Roja	189.54	A B	A
EO 50% + EC 50%	Roja	187.23	A B	A
EV + EM al 100%	Roja	181.62	B	B
EV 50% + EO 50%	Roja	178.44	B C	B C
EO + EM al 100%	Roja	172.91	C	C
Testigo	Roja	112.89	D	D
EC + EM al 100%	Cristal White Wax	151.93	E	E
EV 50% + EC 50%	Cristal White Wax	148.72	E	E
EO 50% + EC 50%	Cristal White Wax	145.61	E	F
EV + EM al 100%	Cristal White Wax	143.58	F	F
EV 50% + EO 50%	Cristal White Wax	140.43	F	F
EO + EM al 100%	Cristal White Wax	138.94	F	F
Testigo	Cristal White Wax	119.54	F	F

Rendimiento (t ha⁻¹)

El rendimiento presentó diferencias muy significativas entre variedades y tratamientos. La variedad Roja alcanzó un rendimiento promedio de 13.61 t ha⁻¹, superando a Cristal White Wax

(10.46 t ha⁻¹). Entre los tratamientos, el mayor rendimiento se registró con EC + EM al 100%, con 28.59 t ha⁻¹, seguido muy de cerca por las combinaciones con EV y EO. El testigo fue el de menor rendimiento (13.45 t ha⁻¹).

Tabla 4. Rendimiento ($t\ ha^{-1}$) según variedad y tipo de abono orgánico.

Tratamiento	Rendimiento ($t\ ha^{-1}$)	Tukey 5%	Tukey 1%
EC + EM al 100%	28.59	A	A
EV 50% + EC 50%	27.04	A B	A
EO 50% + EC 50%	27.03	A B	A
EV + EM al 100%	26.16	A B	A
EV 50% + EO 50%	24.32	A B	A
EO + EM al 100%	21.86	B	A
Testigo	13.45	C	B

Discusión

Los resultados obtenidos en este estudio evidencian que la aplicación de estiércoles compostados enriquecidos con microorganismos eficientes (EM) mejora significativamente las variables agronómicas de la cebolla bajo condiciones altoandinas. Este comportamiento se debe, entre otros factores, al incremento de la disponibilidad de nutrientes, la mejora de la estructura edáfica y la estimulación de la actividad microbiana, aspectos ampliamente reportados en la literatura reciente. Según Morra et al. (6), el compost enriquecido con microorganismos favorece la solubilización de nutrientes como nitrógeno y fósforo, lo cual facilita su absorción por las raíces, mientras que Ali et al. (12) y Fauci y Dick (15) demostraron que los EM incrementan la eficiencia metabólica de las plantas al mejorar el equilibrio microbiano del suelo.

El incremento significativo en la altura de planta observado en la variedad Roja coincide con los hallazgos de Higashikawa et al. (2), quienes

reportan que el compost mejora la aireación del suelo, reduce la compactación y favorece un crecimiento más vigoroso de la parte aérea. Este efecto se intensifica cuando el compost es activado con EM, los cuales aceleran los procesos de mineralización y promueven la síntesis de sustancias bioestimulantes, como ácidos orgánicos y fitohormonas naturales, tal como describen Higa y Parr (11), y, de forma más reciente, Talaat y Abdel (13). La superioridad de la variedad Roja sugiere una mayor eficiencia fisiológica para responder al aporte de enmiendas orgánicas bajo condiciones de estrés edáfico altoandino (16).

En cuanto al diámetro de bulbo, los valores alcanzados, especialmente bajo el tratamiento EC + EM al 100%, se relacionan con la disponibilidad sostenida de nutrientes que provee el estiércol de cuyo compostado. Este abono posee una elevada concentración de nitrógeno y materia orgánica fina, características que favorecen el engrosamiento del bulbo durante las fases de bulbificación, lo cual ha sido reportado también

por López et al. (10), en cebolla cultivada en Puno. Asimismo, estudios internacionales como los de Lee (7), Bhadwal et al. (5) y Brust (17), confirman que el compost intensifica el desarrollo de órganos de reserva al mejorar la estructura del suelo, la retención de humedad y la disponibilidad de carbohidratos necesarios para el crecimiento del bulbo.

El peso de bulbo también mostró incrementos significativos, lo cual concuerda con los estudios de Calero et al. (8), quienes demostraron que los compostos mejoran la densidad de raíces absorbentes y amplifican la captación de nutrientes esenciales. La combinación de EM con estiércoles compostados acelera los procesos de descomposición y libera compuestos bioactivos que estimulan el crecimiento radicular, lo que resulta en bulbos de mayor tamaño y consistencia. Este comportamiento también fue confirmado por Talaat y Abdel (13), (18), quienes observaron incrementos significativos en el peso de frutos en hortalizas abonadas con compost activado con microorganismos.

Los resultados de rendimiento obtenidos en este estudio son particularmente relevantes, ya que los tratamientos con estiércol de cuy compostado demostraron la mayor eficiencia, superando ampliamente al testigo y al resto de tratamientos. Este hallazgo respalda estudios previos donde el estiércol de cuy ha sido

caracterizado como una de las fuentes orgánicas más ricas en nutrientes disponibles, especialmente nitrógeno y microelementos esenciales (4, 9). La combinación EC + EM al 100% alcanzó un rendimiento superior a 28 t ha⁻¹, comparable con resultados reportados por Morra et al. (6), en sistemas hortícolas mediterráneos y por Caulfield et al. (3) en suelos andinos fertilizados orgánicamente.

La interacción significativa entre variedad × abono observada en todas las variables coincide con estudios recientes que demuestran que la respuesta varietal a la fertilización orgánica no es homogénea (2, 13). Las diferencias fisiológicas entre la variedad Roja y Cristal White Wax podrían relacionarse con mayor capacidad fotosintética, mayor vigor radicular o mayor eficiencia en la translocación de fotoasimilados hacia el bulbo, lo cual ha sido observado también por Bhadwal et al. (5) y Adeyeye et al. (19), en cebollas cultivadas bajo distintos sistemas de fertilización orgánica.

Asimismo, el pobre desempeño del testigo confirma que los suelos altoandinos presentan limitaciones severas de nutrientes esenciales, corroborando estudios edafológicos que indican bajos niveles de nitrógeno, fósforo disponible y materia orgánica (1, 3). Esto refuerza la necesidad de utilizar enmiendas orgánicas como estrategia para mejorar la sostenibilidad productiva en la sierra peruana (20).

Un aspecto relevante de este estudio es la validación del estiércol compostado con EM como una alternativa sostenible y de bajo costo para los agricultores de comunidades altoandinas. Este enfoque no solo contribuye a mejorar la productividad, sino también a promover sistemas agrícolas resilientes al cambio climático, al incrementar la materia orgánica del suelo y mejorar su capacidad de retención de agua y estabilidad estructural (2, 3, 21). La disponibilidad local de estiércoles de cuy, ovino y vacuno facilita su adopción, lo que ha sido destacado como una fortaleza en estudios agroecológicos en zonas rurales de los Andes (10, 14).

En conjunto, los resultados demuestran que la integración de estiércoles compostados y microorganismos eficientes no solo incrementa el rendimiento del cultivo de cebolla, sino que constituye una estrategia viable para enfrentar los desafíos edáficos y climáticos de la agricultura altoandina. Este enfoque ha sido promovido recientemente como una herramienta clave en la transición hacia sistemas más sostenibles y con menor dependencia de insumos sintéticos (6, 12, 22).

CONCLUSIONES

La aplicación de estiércoles compostados enriquecidos con microorganismos eficientes (EM) mejoró significativamente el desempeño

agronómico del cultivo de cebolla, demostrando que esta combinación constituye una estrategia eficaz para optimizar el crecimiento, el desarrollo del bulbo y el rendimiento en condiciones altoandinas.

El estiércol de cuy compostado activado con EM fue el tratamiento más eficiente, evidenciando su superioridad respecto a los estiércoles de ovino y vacuno y confirmando su potencial como biofertilizante de alta calidad para suelos con limitaciones nutricionales. La variedad Roja mostró mayor eficiencia fisiológica y agronómica que la variedad Cristal White Wax, lo que indica una mejor adaptación a las condiciones edafoclimáticas del área de estudio y una mayor capacidad de respuesta a la fertilización orgánica.

La interacción significativa entre variedad y tipo de abono confirma que la respuesta del cultivo a la fertilización orgánica es dependiente del genotipo, lo que implica que la selección varietal es un componente crítico en programas de manejo sostenible del cultivo de cebolla. El uso de compost y EM contribuye a la sostenibilidad del sistema agrícola, al mejorar la estructura, fertilidad y actividad biológica del suelo, reduciendo la dependencia de fertilizantes sintéticos y promoviendo prácticas agroecológicas adaptadas a sistemas de producción de pequeña escala.

Los resultados respaldan la viabilidad técnica y económica de utilizar estiércoles compostados con

EM como herramienta de manejo agronómico, especialmente para agricultores altoandinos que requieren insumos de bajo costo, disponibilidad local y alto impacto productivo.

CONFLICTO DE INTERESES. Los autores declaran que no existe conflicto de intereses para la publicación del presente artículo científico.

REFERENCIAS

1. Nadi F, Campbell D. Assessment of the thermodynamic, environmental and economic output of agro-ecosystems: onion set versus onion production. *Clean Techn Environ Policy*. 2023;25(4):1223-40. <https://doi.org/10.1007/s10098-022-02439-2>.
2. Higashikawa F, Cantú R, Jindo K, Kurtz C, de Souza P, Vieira J. Use of compost in onion cultivation under no-tillage system: Effect on nutrient uptake. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 2023;54(9):1215-38. <https://doi.org/10.1080/00103624.2022.2139388>.
3. Caulfield M, Groot J, Fonte S, Sherwood S, Oyarzun P, Borja R, et al. Live barriers and associated organic amendments mitigate land degradation and improve crop productivity in hillside agricultural systems of the Ecuadorian Andes. *Land Degradation Development*. 2020;31(13):1650-61. <https://doi.org/10.1002/ldr.3558>.
4. Chilon E, Chilon J. Compostaje altoandino, seguridad alimentaria, cambio climático y biorremediación de suelos. *Journal de Ciencia y Tecnología Agraria*. 2015;1:43. <https://agris.fao.org/search/en/providers/123844/records/647470572d3f560f80a9b383>.
5. Bhadwal S, Kumari N, Kumari M, Badhan K, Gomra S, Manhas N, et al. Prepared compost from food waste effectively increased onion production under sub-tropical conditions. *Discover Sustainability*. 2022;3(1):39. <https://doi.org/10.1007/s43621-022-00111-9>.
6. Morra L, Bilotto M, Baldantoni D, Alfani A, Baiano S. A seven-year experiment in a vegetable crops sequence: Effects of replacing mineral fertilizers with Biowaste compost on crop productivity, soil organic carbon and nitrates concentrations. *Scientia Horticulturae*. 2021;290:110534. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110534>.
7. Lee J. Evaluation of composted cattle manure rate on bulb onion grown with reduced rates of chemical fertilizer. *HortTechnology*. 2012;22(6):798-803. <https://doi.org/10.21273/HORTTECH.22.6.798>.
8. Calero E, Borbor M, Lastra S, Solórzano R. Guinea Pig Manure and Mineral Fertilizers Enhance the Yield and Nutritional Quality of the INIA 619 Maize Variety on the Peruvian Coast. *Agrochemicals*. 2025. <https://doi.org/10.20944/preprints202502.2249.v1>.
9. Acevedo P, Taboada O, Cruz J. Caracterización de fertilizantes orgánicos y estiércoles para uso como componentes de sustrato. *Acta Agronómica*. 2020;69(3):234-40. <https://doi.org/10.15446/acag.v69n3.84508>.
10. López Y, Velásquez D, Santana Y, Miranda E, Morejón M. Efecto de la fertilización orgánica en el desarrollo vegetativo de *Allium cepa* (Cebolla) en un suelo arenoso. *Ecovida: Revista científica sobre diversidad biológica y su gestión integrada*. 2023;13(2):73-80. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9435621>.
11. Higa T, Parr J. Beneficial and effective microorganisms for a sustainable agriculture and environment: International Nature Farming Research Center Atami, Japan; 1994. https://www.researchgate.net/profile/Carla-Boga/publication/271640001_Microbes_to_clean_indoor_pollutants/links/5757da2508aef6cbe35fc541/Microbes-to-clean-indoor-pollutants.pdf.
12. Ali W, Sultan M, Ali M, Al-Sayed H, Mahmoud M, Ismail H, et al. Organic fertilizers and Azotobacter: effects on onion growth, yield, metabolites, and soil fertility. *AMB Expr*. 2025;15(1):86. <https://doi.org/10.1186/s13568-025-01895-5>.

- 13.** Talaat N, Abdel A. An innovative, sustainable, and environmentally friendly approach for wheat drought tolerance using vermicompost and effective microorganisms: upregulating the antioxidant defense machinery, glyoxalase system, and osmotic regulatory substances. *BMC Plant Biol.* 2024;24(1):866. <https://doi.org/10.1186/s12870-024-05550-2>.
- 14.** Llave Y, Callasi S, Vigo J. Aprovechamiento de la energía solar en la elaboración de compost de residuos sólidos orgánicos urbanos a través de un sistema con colectores solares en condiciones Altoandinas. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental.* 2025;41:383-97. <https://agris.fao.org/search/en/providers/125046/records/67659e206784547a43e38d19>.
- 15.** Fauci M, Dick R. Soil microbial dynamics: Short- and long-term effects of inorganic and organic nitrogen. *Soil Science Society of America Journal.* 1994;58(3):801-6. <https://doi.org/10.2136/sssaj1994.03615995005800030023x>.
- 16.** Choque D, Obregón F, Carranza M, Solano A, Ligarda C, Palomino W, et al. Physicochemical and technofunctional properties of high Andean native potato starch. *Journal of Agriculture Food Research.* 2024;15. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100955>.
- 17.** Brust G. Management strategies for organic vegetable fertility. *Safety and practice for organic food: Elsevier;* 2019. p. 193-212. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812060-6.00009-X>.
- 18.** Manzoor A, Naveed M, Azhar R, Asad M, Ul-Hussan M, Saqib M, et al. Vermicompost: A potential organic fertilizer for sustainable vegetable cultivation. *Scientia Horticulturae.* 2024;336. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2024.113443>.
- 19.** Adeyeye A, Ishaku M, Gadu H, Olalekan K, Lamid W. Comparative effect of organic and inorganic fertilizer treatments on the growth and yield of onion (*Allium cepa* L). *Journal of Botanical Sciences.* 2017;6(2):8-11. <https://n9.cl/ajwou>
- 20.** Bhattacharya R, Mondal S. Soil Conservation Techniques and Adaptive Management Practices for Climate-Resilient Agriculture. *Sustainable Agriculture Management in Semi-Arid Climates: Volume 1: Springer;* 2025. p. 95-116. https://doi.org/10.1007/978-3-031-94062-0_6.
- 21.** Gebrehana Z, Mesfin T, Chernet M, Gebremikael M, Ebrahim M, Tibebe D, et al. Valorizing agricultural wastes through composting vermicomposting and anaerobic digestion for sustainable soil fertility management in Ethiopian smallholder systems. *Discov Sustain.* 2025;6(1):1026. <https://doi.org/10.1007/s43621-025-01769-7>.
- 22.** Sánchez S, Ramírez D, García L. El compostaje en agroecología: Efectos sobre la estructura del suelo, la disponibilidad de nutrientes y los microorganismos beneficiosos. *Scientia Agropecuaria.* 2026;17(1):211-25. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2026.015>.