

Uso de compost como alternativa a la fertilización química en papa (*Solanum tuberosum* L.)

Use of compost as an alternative to chemical fertilization in potatoes (*Solanum tuberosum* L.)

Recibido: mayo 21 de 2025 | Revisado: mayo 30 de 2025 | Aceptado: junio 12 de 2025

GIAN QUISPE GARIBAY¹
BRAULIO LA TORRE MARTÍNEZ¹
ANGELA JUDITH DÍAZ MONTOYA¹

RESUMEN

La presente investigación evaluó la producción de papa (*Solanum tuberosum* L.) en la Sierra Central del Perú mediante la aplicación de cinco tipos de compost sólidos fermentados, comparados con tratamientos convencionales y un control. El estudio se desarrolló en Huancayo a 3300 m s. n. m., utilizando compost elaborados con estiércoles de vacuno y llama, paja de cebada, ceniza, urea y, en un caso, bacterias celulolíticas. Los compost fueron aplicados en dos dosis (5 y 10 TM ha⁻¹), y se evaluaron variables agronómicas como el peso fresco de tubérculos totales, comerciales, no comerciales y dañados. Además, se realizó un análisis económico usando el método de presupuesto parcial. Los resultados indicaron que los compost 1, 2 y 5 presentaron los mejores rendimientos agrícolas y económicos. La dosis de 10 TM ha⁻¹ mostró mayor eficacia en términos de rendimiento total y comercial. A nivel económico, todos los compost superaron al fertilizante químico en la dosis de 5 TM ha⁻¹, mientras que a 10 TM ha⁻¹ destacaron el compost 1 y 5 por su alta relación beneficio/costo. Se concluye que el uso de compost representa una alternativa ecológica y económicamente viable para reducir el empleo de fertilizantes químicos en el cultivo de papa.

Palabras clave: compost, *Solanum tuberosum* L., evaluación económica

ABSTRACT

This study evaluated potato (*Solanum tuberosum* L.) production in the Central Highlands of Peru through the application of five types of fermented solid composts, compared with conventional treatments and a control. The study was conducted in Huancayo at 3300 m above sea level, using composts made from cattle and llama manure, barley straw, ash, urea, and, in one case, cellulolytic bacteria. The composts were applied in two doses (5 and 10 TM ha⁻¹), and agronomic variables such as the fresh weight of total, commercial, non-commercial, and damaged tubers were evaluated. Additionally, an economic analysis was performed using the partial budget method. The results indicated that composts 1, 2, and 5 presented the best agricultural and economic yields. The dose of 10 TM ha⁻¹ showed greater efficacy in terms of total and commercial yield. At the economic level, all composts surpassed the chemical fertilizer at the 5 TM ha⁻¹ dose, while at 10 TM ha⁻¹, composts 1 and 5 stood out for their high benefit/cost ratio. It is concluded that the use of compost represents an ecologically and economically viable alternative to reduce the use of chemical fertilizers in potato cultivation.

¹ Universidad Nacional Agraria la Molina, Lima, Lima -Perú

Autor de correspondencia:

© Los autores. Este artículo es publicado por la Revista Campus de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de San Martín de Porres. Este artículo se distribuye en los términos de la Licencia Creative Commons Atribución No-Comercial – Compartir-Igual 4.0 Internacional (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), que permite el uso no comercial, distribución y reproducción en cualquier medio siempre que la obra original sea debidamente citada. Para uso comercial contactar a: revistacampus@usmp.pe.

<https://>

lytic bacteria. The composts were applied in two doses (5 and 10 MT ha⁻¹), and agronomic variables such as fresh weight of total, marketable, non-marketable, and damaged tubers were evaluated. In addition, an economic analysis was performed using the partial budget method. The results indicated that composts 1, 2, and 5 presented the best agricultural and economic yields. The 10 MT ha⁻¹ dose showed greater efficacy in terms of total and marketable yield. Economically, all composts outperformed chemical fertilizer at the 5 MT ha⁻¹ dose, while at 10 MT ha⁻¹, composts 1 and 5 stood out for their high benefit/cost ratio. It is concluded that the use of compost represents an ecologically and economically viable alternative for reducing the use of chemical fertilizers in potato cultivation.

Key words: compost, *Solanum tuberosum* L., economic evaluation

Introducción

La papa (*Solanum tuberosum* L.) es el cuarto cultivo más importante a nivel mundial en la alimentación humana, después de los cereales (Romero et al., 2000). La papa tiene importancia económica y social en Perú (Callupe et al., 2023), ocupa el primer lugar entre los cultivos hortícolas con una producción anual aproximadamente de 4 millones de toneladas en una superficie de 296,463 hectáreas. Representa el 9.6 % de la superficie agrícola cosechada del país y utiliza cerca del 21 % del total de fertilizantes importados (INEI, 2012), lo que lo convierte en el cultivo de mayor consumo de insumos químicos.

El uso intensivo de fertilizantes químicos en los sistemas de producción de papa ha generado efectos negativos sobre el ambiente, contribuyendo a la degradación de los suelos, la fragilidad de los agroecosistemas y una creciente insostenibilidad en regiones andinas donde predominan pequeños agricultores de subsistencia (Cabrera, 2013). Siendo necesario desarrollar prácticas agrícolas sostenibles, que reduzcan la dependencia de insumos sintéticos y que promuevan la

fertilidad del suelo mediante alternativas orgánicas.

El uso de abonos orgánicos como el compost, el estiércol y los biofertilizantes es una estrategia eficaz para mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo a través de la mineralización de la materia orgánica (Altieri & Nicholls, 2006). Estas prácticas permiten restaurar la salud de los agroecosistemas y fomentar sistemas de producción sostenibles basados en el aprovechamiento de recursos locales (Murillo-Montoya et al., 2020).

Diversos estudios han evaluado el impacto de abonos orgánicos en el cultivo de papa. Luna et al. (2016) señalan que la fertilización o abonamiento de este cultivo constituye un factor importante de manejo, orientado a obtener una adecuada nutrición como fundamento para alcanzar los máximos rendimientos comerciales por unidad de superficie. Gonzales et al. (1998) investigaron el efecto de compost, estiércol de vacuno y humus de lombriz, mientras que Ceylan et al. (2006) encontraron mayores rendimientos con estiércol vacuno (6 t ha⁻¹) y guano de pollo (2 t ha⁻¹). Zamora et al. (2008) destacaron el impacto positivo

del estiércol de chivo y el fertipollo; y Arias y Arnaude (2010) reportaron que la fertilización combinada con guano de gallina y nutrientes minerales generó los mejores resultados. Por su parte, Romero et al. (2000) indicaron que la gallinaza mejoró significativamente el rendimiento total y la biomasa microbiana del suelo, mientras que Najm et al. (2010) encontraron una respuesta óptima al aplicar 150 kg ha⁻¹ de nitrógeno junto con 20 t ha⁻¹ de estiércol.

La papa es un cultivo que responde favorablemente a la aplicación de abonos orgánicos, así como a la interacción entre estos y a los fertilizantes químicos, lo que representa una alternativa viable para reducir el uso de fertilizantes sintéticos (Luna et al., 2016). Por ello, el objetivo del estudio fue evaluar el efecto de cinco fuentes de compost sólidos fermentados sobre el rendimiento agronómico y la rentabilidad económica del cultivo de papa, en comparación con el uso de fertilización química convencional.

Método

El estudio se llevó a cabo en Huancayo, región Junín, ubicada a 3300 msnm. Entre las coordenadas 12°

4' latitud sur y 75° 13' longitud oeste, con una temperatura promedio anual de 11.72 °C, humedad relativa de 67.02 % y precipitación anual de 366 mm.

Preparación de los compost

Se prepararon cinco tipos de compost a partir de estiércoles (llama y vacuno), paja seca de cebada, ceniza, urea y agua (Tabla 1). El Compost 1 reproduce una práctica ancestral de agricultores andinos, quienes combinan estiércoles diversos, residuos de cosecha, ceniza y restos de cocina (Quispe, 2007). La principal diferencia radica en el manejo técnico de las pilas (frecuencia de volteos y riego). El Compost 2 consistió en estiércol de llama y paja de cebada en proporción 2:1 (peso seco), con adición de urea para reducir la relación carbono/nitrógeno (C/N) a 16. El Compost 3 replicó la mezcla del Compost 2 pero sin urea, resultando en una relación C/N de 36. El Compost 4 fue preparado con estiércol de vacuno y paja de cebada (2:1), inoculado con seis cepas de bacterias celulolíticas provistas por el Centro Internacional de la Papa (CIP), con relación C/N de 34. El Compost 5 replicó el Compost 4 sin inoculación bacteriana. Todas las pilas se elaboraron con 250 kg de peso seco.

Tabla 1

Diferentes tratamientos de compost preparados del 6 junio al 6 de noviembre del 2010

Tratamientos	Compost	Estiércol seco	Paja cebada	Ceniza	Urea	C/N
		kg				
Compost1	agricultor	250.0	-	12.5	-	20
Compost2	llama	166.6	83	12.5	7.100	16
Compost3	llama	166.6	83	12.5	-	36
Compost4*	vacuno	166.6	83	12.5	-	34
Compost 5	vacuno	166.6	83	12.5	-	34

Nota: * Tratamiento con microorganismos

Las pilas fueron instaladas siguiendo el método descrito por Avendaño (2003). Cada pila tuvo dimensiones de $3 \times 2 \times 1,5$ m, conformada por tres capas de paja (40 cm de espesor) alternadas con dos capas de estiércol (15 cm). La urea y la ceniza fueron esparcidas sobre el estiércol.

La humedad fue controlada mediante el método del puño y la aireación se logró por volteos cada 30 días. En el tratamiento 4, los microorganismos fueron aplicados al inicio y a los 60 días (Tabla 2), usando una mochila de 20 L (marca JET), con 1 L de inóculo por cepa (108 UFC mL^{-1}).

Tabla 2

Aplicación de bacterias lignocelulolíticas a los tratamientos de compost

Código CIP	Identificación	Propiedades
A1-19/08	<i>Actinomyces</i>	Degradación de lignina, celulosa y almidón.
A1-31/08	<i>Actinomyces</i>	Degradación de lignina, celulosa y almidón.
A1-37/08	<i>Actinomyces</i>	Degradación de lignina, celulosa y almidón.
B1-21/06	<i>Bacillus subtilis</i>	Degradación de celulosa
B1-22/06	<i>Bacillus subtilis</i>	Degradación de celulosa

Los muestreos se realizaron a los 55, 113 y 150 días. Las muestras compuestas (300 g) se formaron a partir de cinco puntos por pila y se enviaron al Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes (LASPAF-UNALM) para su análisis fisicoquímico (Tabla 3).

La temperatura se midió con termómetro bimetálico de bulbo (20 cm); el pH y la conductividad eléctrica (CE), en pasta saturada, con potenciómetro Consort C860 y conductivímetro YSI Model 32. El nitrógeno se determinó por el método de Kjeldahl, y el resto de nutrientes por espectrofotometría (ThermoScientific Genesys 20) y absorción atómica (PerkinElmer 200).

Tabla 3*Propiedades fisicoquímicas de los insumos utilizados en la elaboración de los tratamientos de compost*

Características Fisicoquímicas	Insumos para la preparación de compost				
	Paja de cebada	Ceniza	Estiércol mixto	Estiércol de vacuno	Estiércol de llama
Humedad (%)	10.00	-	-	68.59	18.99
pH: 1:1v/v	-	10.74	8.60	8.91	8.40
CE. dS/m	-	36.50	-	8.86	2.18
M.O (%)	85.00	-	77.44	77.24	71.71
N (%)	0.25	-	2.26	1.90	1.72
P ₂ O ₅ (%)	0.38	2.51	1.21	1.42	0.99
K ₂ O (%)	1.40	6.10	2.40	4.90	1.13
CaO (%)	0.80	4.43	1.69	2.74	1.28
MgO (%)	0.20	1.20	0.66	0.80	0.50
Na (%)	0.30	0.50	0.20	0.50	0.15
S (%)	-	0.41	.27	0.25	0.36
Fe (ppm)	465.00	2045.00	3050.00	2635.00	6140.00
Cu (ppm)	20.00	88.00	21.50	26.00	18.00
Zn (ppm)	95.00	215.00	100.00	130.00	82.00
Mn (ppm)	385.00	585.00	1235.00	245.00	1265.00

Nota: LASPAF

La relación C/N se estimó dividiendo la materia orgánica (método Walkley y Black) entre 1.724 (factor de conversión a carbono), y luego entre el contenido de nitrógeno total.

Evaluación biológica

La evaluación de la efectividad de los compost se evaluó en un experimento de campo con el cultivar de papa ‘Yungay’, en condiciones de secano y riego por gravedad. El suelo, en la capa de 0–25 cm, presentó: pH 7,0; N: 0,17 %; P (Olsen): 11,70 ppm; K: 120 ppm; CaCO₃: 2,20 % y 2,0 % de materia orgánica.

El diseño experimental fue de bloques completos al azar, con arreglo factorial (tipo de compost × dosis), cinco tratamientos y tres repeticiones. Cada unidad experimental abarcó 21 m² (6 surcos × 10 golpes), y el área útil fue de 63.3 m² por tratamiento. Se cosecharon los cuatro surcos y ocho golpes centrales. Los fertilizantes químicos fueron: nitrato de amonio (33 % N), aplicado 50 % a la siembra y 50 % al aporque; superfosfato triple (46 % P₂O₅) y cloruro de potasio (60 % K₂O), aplicados al 100 % en la siembra. El análisis del estiércol de ovino mostró: N: 1,2 %; P₂O₅: 1,5 %; K₂O: 2,3 %; MgO: 0,44 %; CaO: 3,10 %; Cu:

17,5 ppm; Zn: 85 ppm; Mn: 320 ppm; Fe: 3500 ppm.

La cosecha se realizó en el mes de mayo, clasificando los tubérculos en categorías: comercial (tamaño y forma adecuada), no comercial (malformaciones) y dañados (podridos o picados). A partir de estas categorías se estimó el rendimiento total.

Los datos biométricos se analizaron sin transformación mediante análisis de varianza (ANVA) y comparación de medias con la prueba de Duncan ($\alpha = 0,05$), utilizando el software SAS 9.1 (Statistical Analysis System).

Evaluación económica

La evaluación económica se basó en el registro detallado de insumos, semilla utilizada y costos asociados por tratamiento durante la instalación del experimento. El precio de venta

en chacra fue de S/. 0.50 kg⁻¹ para tubérculos comerciales y S/. 0.20 * kg⁻¹ para los no comerciales (INEI, 2012). El análisis se realizó mediante el método del presupuesto parcial propuesto por CIMMYT (1988), adecuado para evaluar tecnologías agronómicas en condiciones de campo y formular recomendaciones económicas al agricultor.

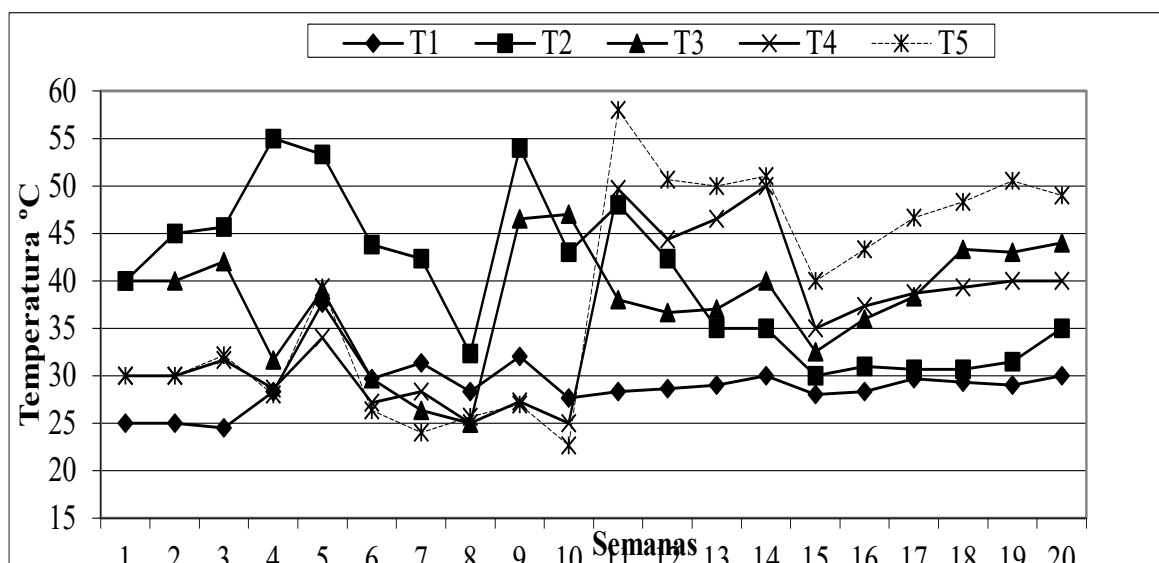
Resultados

Preparación de los compost

La evolución de la temperatura durante el proceso de compostaje se muestra en la Figura 1. Las temperaturas oscilaron entre 25 y 58 °C. En las primeras once semanas, los compost 2 y 3 (estiércol de llama) alcanzaron entre 45 y 55 °C, mientras que, en la fase final, los compost 4 y 5 (estiércol de vacuno) alcanzaron las mayores temperaturas (50–58 °C). El compost 1 registró la temperatura más baja (36 °C).

Figura 1

Temperatura en diferentes tiempos de fermentación de los compost instalados



En la Tabla 4 se presentan los valores promedio de pH más altos. Se registraron en los compost 5, 4 y 1 (8.44). La conductividad eléctrica (CE) más elevada se observó en los compost 4 y 5 (6.10–6.98 dS m⁻¹). La relación C/N más baja se presentó en el compost 2 (13.7), mientras que el mayor contenido

promedio de nitrógeno fue también en el compost 2 (2.40 %). Los compost 1, 4 y 5 mostraron los valores más altos de fósforo, potasio, calcio y magnesio. Los microelementos cobre, zinc y hierro destacaron en los compost 4 y 5, mientras que el mayor contenido de manganeso se presentó en los compost 2 y 3.

Tabla 4

Propiedades químicas de compost en puntos de muestreos

Tipos de compost	Muestras (días)	pH 1:1	CE 1:1	C/N	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	S	Cu	Zn	Mn	Fe
					%						ppm			
Compost 1	55	7.96	5.05	16.7	1.74	1.92	2.61	4.42	1.41	0.30	47.00	150.5	960	8000
	113	8.73	4.10	14.7	1.93	1.74	2.20	4.96	1.52	0.32	55.50	125.0	1050	7420
	155	8.64	4.17	14.1	1.82	1.92	2.18	4.21	1.66	0.30	41.00	138.0	1200	8350
Promedio		8.44	4.44	15.1	1.83	1.86	2.33	4.53	1.53	0.31	47.80	137.8	1070	7923
Compost 2	55	6.92	4.63	17.4	1.96	1.16	1.79	2.68	0.83	0.26	75.00	150.0	1260	10450
	113	7.19	4.15	12.4	2.63	1.29	1.87	2.68	0.68	0.27	61.50	151.0	1465	11705
	155	8.13	4.07	12.1	2.62	1.21	1.08	2.10	0.54	0.23	65.00	138.5	1335	10000
Promedio		7.41	4.28	13.7	2.40	1.22	1.58	2.49	0.68	0.25	67.20	146.5	1353	10718
Compost 3	55	7.74	3.62	25.3	1.56	0.93	1.64	2.43	0.74	0.33	64.50	139.5	1315	9300
	113	8.04	3.35	18.6	1.88	0.97	1.71	2.85	0.95	0.32	78.00	110.0	1375	11300
	155	8.38	3.02	16.3	2.09	1.02	1.55	2.81	0.83	0.29	62.50	98.5	1325	10250
Promedio		8.05	3.33	19.6	1.84	0.97	1.63	2.69	0.84	0.31	68.30	116.0	1338	10283
Compost 4	55	8.02	7.47	30.2	0.91	1.85	2.89	4.87	1.55	0.37	57.00	210.0	520	10650
	113	8.46	6.69	18.6	1.23	1.86	2.85	5.59	1.59	0.36	75.00	133.5	760	11500
	155	8.81	6.77	17.2	1.23	1.57	2.66	4.98	1.44	0.36	69.50	157.5	790	12700
Promedio		8.43	6.10	21.2	1.12	1.76	2.80	5.14	1.53	0.37	67.17	167.0	690	11616
Compost 5	55	7.75	6.18	29.8	1.11	1.93	3.14	4.89	1.53	0.36	77.00	205.0	360	10850
	113	8.95	6.08	18.7	1.68	1.88	2.80	5.63	1.55	0.36	86.00	215.0	445	12050
	155	8.62	6.12	15.7	1.53	1.79	2.93	5.14	1.53	0.37	76.00	191.5	435	12000
Promedio		8.44	6.98	20.5	1.44	1.87	2.96	5.22	1.54	0.36	79.67	203.8	413	11633

Nota. LASPAF

Evaluación biológica

En la Tabla 5, se muestra el efecto de los diferentes tratamientos sobre el rendimiento de papa *Solanum tuberosum* cv. Yungay, medido en peso fresco de tubérculos totales, comerciales, no comerciales y dañados. Se encontraron

diferencias estadísticamente significativas ($P < 0.05$) entre tratamientos para las variables de rendimiento total y comercial.

Los rendimientos más altos en peso fresco de tubérculos totales se obtuvieron con los tratamientos T6 (Compost 1 a 10 t ha⁻¹: 51.01 t ha⁻¹), T7 (Compost 2 a 10

t ha⁻¹: 49.81 t ha⁻¹), T10 (Compost 5 a 10 t ha⁻¹: 49.75 t ha⁻¹), T9 (Compost 4 a 10 t ha⁻¹: 46.00 t ha⁻¹), T5 (Compost 5 a 5 t ha⁻¹: 46.63 t ha⁻¹) y el testigo T12 (fertilización química + estiércol: 48.91 t ha⁻¹). Todos estos tratamientos fueron estadísticamente superiores al control T13 (24.65 t ha⁻¹).

Respecto al peso fresco de tubérculos comerciales, los tratamientos T6 (40.81 t ha⁻¹), T7 (38.86 t ha⁻¹), T10 (37.86 t ha⁻¹) y el testigo T12 (36.48 t

ha⁻¹) lograron los mejores resultados, significativamente superiores al testigo con solo estiércol (T11: 32.98 t ha⁻¹) y al control (T13: 15.19 t ha⁻¹).

En cuanto al peso fresco de tubérculos no comerciales y dañados, no se encontraron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos, con excepción del tratamiento T12 que presentó el mayor valor de tubérculos dañados (1.89 t ha⁻¹).

Tabla 5

Rendimiento de papa cv Yungay con compost y testigo

Tratamientos	Descripción de los tratamientos	Peso fresco de tubérculos de papa (TM ha ⁻¹)			
		Totales	Comerciales	No comerciales	Dañadas
T1	Compost 1 5 TM ha ⁻¹	35.65d	26.79fg	8.73b	0.12b
T2	Compost 2 5 TM ha ⁻¹	39.41cd	30.88cdef	8.36b	0.17b
T3	Compost 3 5 TM ha ⁻¹	35.11d	25.78g	9.10b	0.23b
T4	Compost 4 5 TM ha ⁻¹	39.55bc	29.81efg	9.23b	0.50b
T5	Compost 5 5 TM ha ⁻¹	46.63ab	36.12bcde	10.15ab	0.35b
T6	Compost 1 10 TM ha ⁻¹	51.01a	40.81a	9.90ab	0.29b
T7	Compost 2 10 TM ha ⁻¹	49.81ab	38.86ab	10.67ab	0.26b
T8	Compost 3 10 TM ha ⁻¹	43.85bc	32.24cde	11.51ab	0.08b
T9	Compost 4 10 TM ha ⁻¹	46.00ab	32.56cdef	12.99a	0.44b
T10	Compost 5 10 TM ha ⁻¹	49.75ab	37.86abc	11.51ab	0.38b
T11	Estiércol 10 TM ha ⁻¹	44.79bc	32.98cdef	11.38ab	0.42b
T12	120-120-120 N, P ₂ O ₅ , K ₂ O kg ha ⁻¹ +Estiércol 10 TM ha ⁻¹	48.91ab	36.48abc	10.53ab	1.89a
T13	Control	24.65e	15.19h	9.39ab	0.07b

Letras iguales entre columnas no son estadísticamente significativas a $P < 0.05$ según la prueba de Waller.

Efecto de tipo y dosis de compost

La Tabla 6 presenta el análisis factorial de los factores tipo de compost y dosis. Se observaron efectos significativos ($P < 0.05$) para las variables peso fresco de tubérculos totales, comerciales y no comerciales. El compost 5 presentó el mayor rendimiento total (48.20 t ha⁻¹) y comercial (36.99 t ha⁻¹), seguido de los

compost 2 y 1. En contraste, el compost 3 mostró los valores más bajos.

Respecto a las dosis, la aplicación de 10 t ha⁻¹ superó significativamente a la de 5 t ha⁻¹ en las variables de peso total, comercial y no comercial. No se hallaron diferencias significativas en la variable de tubérculos dañados.

Tabla 6*Rendimiento de papa cv Yungay según tipo y dosis de compost*

Tratamientos	Peso fresco de tubérculos de papa (TM ha ⁻¹)			
	Totales	Comerciales	No comerciales	Dañadas
Tipos de compost (A)				
Compost 1	43.34bc	33.80ab	9.31a	0.21a
Compost 2	44.62ab	34.87ab	9.52a	0.22a
Compost 3	39.49c	29.01c	10.31a	0.16a
Compost 4	42.78bc	31.19bc	11.11a	0.47a
Compost 5	48.20a	36.99a	10.83a	0.36a
Dosis (B)				
5 TM ha ⁻¹	39.27b	29.88b	9.11b	0.27a
10 TM ha ⁻¹	48.08a	36.47a	11.32a	0.29a
Bloque	n.s	n.s	n.s	n.s
A	**	**	n.s	n.s
B	**	**	**	n.s
A x B	n.s	n.s	n.s	n.s
CV (%)	7.34	10.05	19.45	125.44

Letras iguales entre columnas no son estadísticamente significativas a $P < 0.05$ según la prueba de Waller.

Evaluación económica

La Tabla 7 muestra los resultados del análisis económico basado en los rendimientos obtenidos por tratamiento. A una dosis de 5 t ha⁻¹, todos los compost evaluados presentaron una relación beneficio/costo (B/C) superior al tratamiento testigo con fertilización química (NPK 120-120-120 + 10 t ha⁻¹ de estiércol de ovino).

La dosis de 10 t ha⁻¹, el compost 1 alcanzó el mayor valor de B/C (17), seguido por el compost 5 (10), compost 3 (9) y el testigo químico (9). Los compost 2 y 4 obtuvieron los menores valores (B/C = 7). El compost 1 destacó por su bajo costo de producción en comparación con los demás tratamientos, lo que explica su alto rendimiento económico.

Tabla 7*Análisis económico del uso de compost en papa Yungay*

	C1 5TM	C1 10TM	C2 5TM	C2 10TM	C3 5TM	C3 10TM	C4 5TM	C4 10TM	C5 5TM	C5 10TM	Testi- go*	Control
1. Rendimiento kg ha ⁻¹	35530	50720	39244	49548	35899	43762	38916	45559	46280	49375	47012	24583
2. Beneficio bruto S/ ha ⁻¹	15145	22389	17113	21570	14710	18426	16754	18881	20094	21234	20347	9474
2.1 Beneficio tubérculo comercial	13399	20408	15441	19435	12890	16122	14908	16283	18063	18932	18241	7595
2.2 Beneficio tubérculo no comercial	1746	1981	1673	2136	1820	2304	1846	2599	2031	2302	2106	1879
3. Costo fertilizante edáfico ha ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1175	-
4. Costo estiércol ha ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1000	-
5. Costo Compost ha ⁻¹	629	1257	1328	2656	966	1931	1249	2398	988	1977	0	0
5.1 Insumos	479	957	1178	2356	816	1631	999	1998	838	1677	0	0
5.2 Mano de obra	150	300	150	300	150	300	150	300	150	300	0	0
5.3 Costo Bacterias	0	0	0	0	0	0	100	100	0	0	0	0
6. Costo total (3, 4 y 5) S/ ha ⁻¹	629	1257	1328	2656	966	1931	1249	2398	988	1977	2175	0
7. Beneficio neto (2-6) S/ ha ⁻¹	14517	21131	15785	18914	13745	16494	15505	16483	19105	19257	18172	9474
B/C (7:6)	23	17	12	7	14	9	12	7	19	10	8	-

* 120-120-120 NPK + 10 TM ha⁻¹ de estiércol de ovino

Clave: C: Compost

Discusión

Los resultados del presente estudio indican que la eficacia de los abonos sólidos fermentados tipo compost como una alternativa viable y sostenible para la fertilización del cultivo de papa en condiciones agroecológicas de la Sierra Central del Perú. La respuesta positiva del cultivo frente a los tratamientos con compost se explica por las mejoras inducidas en la fertilidad del suelo, así como por la disponibilidad gradual de

nutrientes esenciales (Vázquez et al., 2020).

Uno de los resultados más importantes fue el efecto diferencial de los distintos tipos de compost sobre el rendimiento del cultivo. El compost 2, a base de estiércol de llama y con la relación C/N más baja (13.7), presentó el mayor contenido promedio de nitrógeno (2.40 %), lo que posiblemente estimuló la microbiota edáfica y favoreció el desarrollo radicular y la absorción de

nutrientes. Esta observación concuerda con investigaciones previas que destacan el rol del nitrógeno orgánico en la promoción de la biomasa radicular y en la activación de procesos fisiológicos esenciales para la formación de tubérculos (Sígala et al., 2019).

Asimismo, los compost 1 y 5 sobresalieron por su alto contenido de fósforo, potasio, calcio y magnesio, nutrientes fundamentales para la fotosíntesis, la división celular y la calidad del tubérculo. Estas mejoras en la disponibilidad de nutrientes explican los altos rendimientos observados, incluso comparables a los del tratamiento con fertilización química, y confirman la hipótesis de que la nutrición equilibrada mediante compost puede igualar o superar los efectos de los insumos sintéticos (Ouellet et al., 2025).

Un aspecto importante observado en este estudio fue la influencia de la dosis de aplicación. En general, la dosis de 10 TM ha⁻¹ mostró efectos superiores en el rendimiento total y comercial, sin embargo, los análisis económicos indicaron que la dosis de 5 TM ha⁻¹ resultó más rentable para el agricultor en la mayoría de los tratamientos. Esto indica la necesidad de establecer un balance entre productividad y costos de producción, especialmente en contextos de agricultura familiar y economías rurales con recursos limitados. Como lo señala el manual metodológico del CIMMYT (1988), el análisis de presupuesto parcial permite identificar recomendaciones tecnológicamente viables y económicamente adoptables por los agricultores.

En relación con la calidad sanitaria del producto, los compost mostraron

menores niveles de tubérculos dañados en comparación con el tratamiento con fertilización química, lo cual puede atribuirse a las propiedades supresoras de los abonos orgánicos frente a patógenos del suelo. Estudios como los de Yatoo et al. (2021), Schuller et al. (1989), Avilés & Tello (2001) y Zavaleta (2002) sostienen que el compost, al mejorar la actividad microbiana y fomentar antagonistas naturales, reduce la incidencia de enfermedades fúngicas como *Rhizoctonia* o *Pythium*, lo que coincide con lo observado en el presente trabajo.

Otro elemento importante es el papel de la temperatura durante el compostaje, ya que esta influye en la descomposición de la materia orgánica y en la liberación de nutrientes. El compost 5 alcanzó temperaturas superiores a 55 °C, rango que asegura la higienización del material y la destrucción de patógenos, además de mejorar la disponibilidad de compuestos húmicos estables (Paul & Clark, 1996). Esta condición pudo haber favorecido un entorno edáfico más propicio para el crecimiento del cultivo.

Desde una perspectiva agroecológica, la incorporación de compost no sólo aporta nutrientes, sino que también mejora la estructura del suelo, incrementa la retención de humedad y reduce la erosión, factores cruciales en zonas altoandinas donde la degradación del suelo es un problema persistente. Como señalan Altieri y Nicholls (2006), la salud del suelo es un componente clave para la resiliencia de los agroecosistemas y la sostenibilidad de la producción.

Adicionalmente, los resultados obtenidos tienen implicancias importantes para las políticas de

desarrollo rural y programas de extensión agrícola. El fomento del uso de compost elaborado a partir de residuos locales (estiércol, paja, ceniza) representa una oportunidad para reducir la dependencia de fertilizantes importados, disminuir la huella ambiental de la agricultura y mejorar la rentabilidad de los pequeños productores. Este enfoque está alineado con los principios de la agroecología y la economía circular promovidos por organismos internacionales como la FAO y FONTAGRO.

Conclusiones

El presente estudio demuestra que el uso de compost elaborados con insumos locales constituye una alternativa eficaz, económica y sostenible para la fertilización del cultivo de papa en la Sierra

Central del Perú. Los compost 1, 2 y 5, especialmente a la dosis de 10 TM ha⁻¹, generaron rendimientos de tubérculos comerciales y totales comparables o superiores al tratamiento con fertilización química, destacando además por su efecto supresor sobre enfermedades edáficas y su aporte en la mejora de la estructura y fertilidad del suelo. Desde el punto de vista económico, todos los compost aplicados a 5 TM ha⁻¹ superaron en rentabilidad al tratamiento químico, siendo el compost 1 el más rentable debido a su menor costo de producción. En este sentido, los resultados respaldan el uso de compost como una estrategia viable para reducir la dependencia de fertilizantes sintéticos, fortalecer la sostenibilidad de los sistemas agrícolas andinos y mejorar las condiciones de producción de los pequeños agricultores.

Agradecimientos

Agradecemos al Fondo Regional de Tecnología Agropecuaria (FONTAGRO) y al Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes (LASPAF) de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Agraria La Molina por el financiamiento y el apoyo proporcionado durante la ejecución del presente estudio.

Referencias

- Altieri, M., & Nicholls, C. (2006). Optimizando el manejo agroecológico de plagas a través de la salud del suelo. *Agroecología*, 1, 29–30.
- Arias, K., & Arnaude, O. (2010). Effect of the fertilization chemical, organic and combined on the yields of variety granola. *Agronomía Tropical*, 60(1), 75–84.
- Avendaño, D. (2003). *El proceso de compostaje*. Pontificia Universidad Católica de Chile.
- Avilés, G., & Tello, M. (2001). *El composteo de residuos orgánicos, su relación en enfermedades de las plantas* (pp. 185–214). Ediciones Mundi-Prensa.
- Cabrera, H. (2013). *El cultivo de papa* (5ta ed.). Estación Experimental Agraria Baños del Inca-Cajamarca.
- Ceylan, S., Mordogan, N., Akdemir, H., & Cakici, H. (2006). Effect of organic fertilizers on some agronomic and chemical properties of potato (*Solanum tuberosum* L.). *Asian Journal of Chemistry*, 18(2), 1223–1230.
- Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo [CIMMYT]. (1988). *La formulación de recomendaciones a partir de datos agronómicos: Un manual metodológico de evaluación económica* (E.R.). CIMMYT.
- Callupe, J., Castro, H., Rafael-Rutte, R., Hickey, E., & Sandoval, R. (2023). Efecto de aplicación de tres estrategias de fertilización en rendimiento del cultivo de papa *Solanum tuberosum* L. Variedad Canchán, INIA. *Alfa: Revista de Investigación en Ciencias Agronómicas y Veterinaria*, 7(21), 611–618. <https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v7i21.241>
- Gonzales, C., Álvarez, C., Pomares, F., & Benítez, M. (1998). Efectos de fertilización en papas con compost, gallinaza y combinaciones de ambos. En *Una alternativa para el mundo rural del tercer milenio* (pp. 285–291).
- Instituto Nacional de Estadística e Informática [INEI]. (2012). *Perú: Compendio estadístico 2012*. RAPIMAGEN.
- Luna, R., Bejarano, A., Espinoza, A., Ulloa, C., Espinosa, K., & Trávez, R. (2016). Respuesta de variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.) a la aplicación de abonos orgánicos y fertilización química. *Ciencia y Tecnología*, 9(1), 11–16. <https://doi.org/10.18779/cyt.v9i1.160>
- Murillo-Montoya, S., Mendoza-Mora, A., & Fadul-Vásquez, C. (2020). La importancia de las enmiendas orgánicas en la conservación del suelo y la producción agrícola. *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales*, 7(1), 58–68. <https://doi.org/10.23850/24220582.2503>

- Najm, A., Haj Seyed Hadi, M., Fazeli, F., Taghi Darzi, M., & Shamorady, R. (2010). Effect of utilization of organic and inorganic nitrogen source on the potato shoots dry matter, leaf area index and plant height, during middle stage of growth. *International Journal of Agricultural and Biological Sciences*, 1, 1.
- Oueld Lhaj, M., Moussadek, R., Mouhir, L., Sanad, H., Manhou, K., Iben Halima, O., Yachou, H., Zouahri, A., & Mdarhri Alaoui, M. (2025). Aplicación de compost como enmienda orgánica para mejorar la calidad del suelo y el crecimiento de la albahaca dulce (*Ocimum basilicum* L.): Evaluación agronómica y ecotoxicológica. *Agronomía*, 15(5), 1045. <https://doi.org/10.3390/agronomy15051045>
- Paul, E., & Clark, F. (1996). *Soil microbiology and biochemistry* (2nd ed.). Academic Press.
- Quispe, G. (2007). *Evaluación del sistema del cultivo de la papa (Solanum tuberosum L.) en la comunidad campesina de Aramachay (Sincos, Jauja, Junín)* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria La Molina].
- Romero, M., Trinidad, A., García, R., & Ferrera, R. (2000). Yield of potato and soil microbial biomass with organic and mineral fertilizers. *Agrociencia*, 34, 261–269.
- Schuler, C., Biala, J., Bruns, C., Gottschall, R., Ahlers, R., & Vogtmann, H. (1989). Suppression of root rot on peas, beans and beetroots caused by *Pythium ultimum* and *Rhizoctonia solani* through the amendment of growing media with composted organic household waste. *Journal of Phytopathology*, 127, 227–238.
- Sigala Rodríguez, J. Á., Uscola Fernández, M., & Olié Palá, J. A. (2019). El rol del nitrógeno orgánico en el desarrollo de mecanismos de resistencia a estrés en especies del género *Pinus*. *Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales*, 45(2), 71–86.
- Vázquez, J., Álvarez-Vera, M., Iglesias-Abad, S., & Castillo, J. (2020). La incorporación de enmiendas orgánicas en forma de compost y vermicompost reduce los efectos negativos del monocultivo en suelos. *Scientia Agropecuaria*, 11(1), 105–111.
- Yatoo, A. M., Ali, M. N., Baba, Z. A., et al. (2021). Manejo sostenible de enfermedades y plagas en cultivos mediante vermicompost y té de vermicompost: Una revisión. *Agronomy for Sustainable Development*, 41, 7. <https://doi.org/10.1007/s13593-020-00657-w>
- Zamora, F., Tua, D., & Torres, D. (2008). Evaluación de cinco fuentes orgánicas sobre el desarrollo vegetativo y rendimiento del cultivo de la papa. *Agronomía Tropical*, 3, 233–243