

## Alternativas de biofertilización, empleando microorganismos para el cultivo de la papa (*Solanum tuberosum* L.) cv. Superchola, Huaca – Carchi

*Biofertilization alternatives using microorganisms for the cultivation of potato (Solanum tuberosum L.) cv. Superchola, Huaca - Carchi*

**Segundo Ramiro Mora Quilismal\***  
Universidad Politécnica Estatal del Carchi  
Tulcán - Ecuador  
segundo.mora@upec.edu.ec  
<https://orcid.org/0000-0003-0487-4883>

**Carlos David Herrera Ramírez**  
Universidad Politécnica Estatal del Carchi  
Tulcán - Ecuador  
carlos.herrera@upec.edu.ec  
<https://orcid.org/0000-0001-6155-905X>

\*Correspondencia:  
segundo.mora@upec.edu.ec

**Cómo citar este artículo:**  
Mora, S., & Herrera, C. (2026). Alternativas de biofertilización, empleando microorganismos para el cultivo de la papa (*Solanum tuberosum* L.) cv. Superchola, Huaca - Carchi. *Esprint Investigación*, 5(1), 741-753. <https://doi.org/10.61347/ei.v5i1.282>

**Recibido:** 12 de marzo de 2026

**Aceptado:** 15 de abril de 2026

**Publicado:** 23 de abril de 2026

**Resumen:** Esta investigación se desarrolló en el cantón Huaca, provincia del Carchi, Ecuador, con el objetivo de evaluar alternativas de biofertilización mediante el uso de microorganismos en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.), variedad Superchola. Se utilizó un Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA) con cinco tratamientos y cuatro repeticiones, constituyendo un total de 20 unidades experimentales, cada una conformada por 30 plantas, de las cuales se tomaron 6 como muestra, con una distancia de siembra de 0,50 m entre plantas y 1,00 m entre surcos. Los tratamientos evaluados fueron micorrizas autóctonas, micorrizas comerciales (Safer Micorrizas), vermicompost, bacterias solubilizadoras de fósforo (Fosfotic) y un testigo con fertilización química (100 % NPK). Las variables evaluadas incluyeron porcentaje de germinación, altura de planta, diámetro de tallo, número de tallos por planta, número total de tubérculos, peso de tubérculos, rendimiento, clasificación por categorías y análisis costo-beneficio. Para el análisis estadístico se utilizó el programa Statistix 8 y la prueba de Tukey al 5 % para la comparación de medias. Los resultados evidenciaron que el tratamiento T0 (100 % NPK) presentó los mayores valores en peso de tubérculos, diámetro de tallo y rendimiento, alcanzando 50,41 t ha<sup>-1</sup>. Finalmente, el análisis costo-beneficio mostró que los tratamientos T0 (100 % NPK) y T1 (vermicompost) presentaron los mejores niveles de rentabilidad, con ganancias de 1,40 y 1,00 USD por dólar invertido, respectivamente, concluyéndose que las alternativas de biofertilización constituyen una opción técnicamente viable y sostenible para el cultivo de papa, representando una alternativa económica para el agricultor.

**Palabras clave:** Fosfotic, micorrizas autóctonas, safer micorrizas, vermicompost.

**Abstract:** This research was conducted in the Huaca canton, Carchi province, Ecuador, with the objective of evaluating biofertilization alternatives using microorganisms in potato cultivation (*Solanum tuberosum* L.), Superchola variety. A Randomized Complete Block Design (RCBD) was used with five treatments and four replications, totaling 20 experimental units, each consisting of 30 plants, from which 6 were selected as samples, with a planting distance of 0.50 m between plants and 1.00 m between rows. The treatments evaluated were native mycorrhizae, commercial mycorrhizae (Safer Mycorrhizae), vermicompost, phosphorus-solubilizing bacteria (Fosfotic), and a chemical fertilization control (100% NPK). The evaluated variables included germination percentage, plant height, stem diameter, number of stems per plant, total number of tubers, tuber weight, yield, category classification, and cost-benefit analysis. Statistical analysis was performed using Statistix 8 software, and Tukey's test at 5% was applied for mean comparison. The results showed that treatment T0 (100% NPK) presented the highest values in tuber weight, stem diameter, and yield, reaching 50.41 t ha<sup>-1</sup>. Finally, the cost-benefit analysis indicated that treatments T0 (100% NPK) and T1 (vermicompost) achieved the highest profitability levels, with returns of 1.40 and 1.00 USD per dollar invested, respectively. It was concluded that biofertilization alternatives constitute a technically viable and sustainable option for potato cultivation, representing an economically beneficial alternative for farmers.

**Keywords:** Fosfotic, native mycorrhizae, safer mycorrhizae, vermicompost.

**Copyright:** Derechos de autor 2026 Segundo Ramiro Mora Quilismal, Carlos David Herrera Ramírez.



Esta obra está bajo una licencia internacional Creative Commons Atribución-NonComercial 4.0.

## 1. Introducción

La papa es un tubérculo comestible originario de América Latina, particularmente de la región andina comprendida entre Bolivia y Perú; desde allí, se difundió hacia distintas partes del mundo, incluida Europa. Cabe mencionar que, debido a su alto valor nutricional y amplia capacidad de adaptación, se cultiva desde hace más de nueve mil años. Existen más de 5000 variedades en el mundo, las cuales están destinadas a cubrir distintas necesidades según la región y el tipo de cultivo que se lleve a cabo (Graves, 2006).

La agricultura, en la actualidad, busca fomentar alternativas sostenibles que permitan una producción eficiente con menor uso de insumos químicos, debido a que en las últimas décadas se han incrementado los problemas ambientales derivados del uso excesivo de agroquímicos. En este contexto, la utilización de productos orgánicos se presenta como una alternativa viable, ya que brinda a las plantas los nutrientes necesarios para un adecuado crecimiento y desarrollo, a la vez que reduce los costos de producción y contribuye a la mejora de la calidad ambiental (Beltrán, 2015).

El uso de biofertilizantes constituye una de las técnicas empleadas para obtener altos rendimientos en los cultivos sin generar impactos negativos significativos en el ambiente, mediante la incorporación de hongos micorrízicos, bacterias fijadoras de nitrógeno atmosférico ( $N_2$ ) y/o solubilizadoras de fósforo (P). Estos microorganismos producen efectos positivos en la productividad de los cultivos, además de favorecer el incremento del contenido de materia orgánica del suelo (Noda, 2009).

Un biofertilizante es un producto que contiene organismos vivos que, al ser aplicados a la planta, promueven su crecimiento al facilitar la disponibilidad y absorción de nutrientes esenciales (Vessey, 2003). Las alternativas de biofertilización permiten optimizar el aprovechamiento de los nutrientes presentes en el suelo, especialmente el fósforo, el cual puede transformarse de un estado no disponible a formas asimilables por las plantas, lo que contribuye al incremento del rendimiento y la calidad de los tubérculos (Flores, 2019).

En este contexto, el objetivo del presente estudio fue evaluar distintas alternativas de biofertilización para mejorar la fertilidad del suelo, reducir el uso de agroquímicos y disminuir los costos de producción, generando así beneficios económicos para el agricultor. Para ello, se consideraron diferentes estrategias de fertilización, como micorrizas autóctonas, bacterias solubilizadoras de fósforo, vermicompost y micorrizas comerciales.

## 2. Metodología

### Área experimental

La investigación se llevó a cabo a campo abierto en el Centro Experimental San Francisco de la Universidad Politécnica Estatal del Carchi, ubicado en el cantón Huaca, provincia del Carchi, Ecuador, a una altitud de 2850 msnm, con suelos de textura franco-arcillosa y una temperatura promedio de 12,1 °C.

### Material Vegetal

Se utilizó como material de siembra la variedad Superchola (*Solanum tuberosum* L.), obtenida a partir de semillas certificadas suministradas por la Estación Experimental Santa Catalina del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). Esta variedad, originaria de los Andes y ampliamente utilizada en la sierra ecuatoriana, se caracteriza por presentar alta adaptación a la altitud,

un ciclo de crecimiento intermedio (180–200 días), buena respuesta a prácticas de fertilización y un rendimiento potencial superior a 30 t ha<sup>-1</sup> en condiciones óptimas.

Los tubérculos presentaron un peso promedio de 60–80 g y no evidenciaron síntomas visibles de enfermedades ni daños mecánicos. Previo a la siembra, el material vegetal fue seleccionado y desinfectado mediante inmersión en una solución de hipoclorito de sodio al 1 % durante 10 minutos; posteriormente, se dejó secar a la sombra durante 24 horas, con el fin de prevenir infecciones fúngicas y bacterianas durante la fase de emergencia. Las labores culturales del cultivo se realizaron de acuerdo con el manual técnico del cultivo de papa en Ecuador (Pumisacho & Sherwood, 2009).

### **Diseño experimental**

Se empleó un Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA) con cinco tratamientos y cuatro repeticiones, conformando un total de 20 unidades experimentales. Cada unidad experimental tuvo un área de 15 m<sup>2</sup> y estuvo conformada por 30 plantas, alcanzando una población total de 600 plantas. La muestra estuvo constituida por 120 plantas, distribuidas en 20 parcelas netas con 6 plantas cada una. La distancia de siembra fue de 0,50 m entre plantas y 1,00 m entre surcos.

### **VARIABLES EVALUADAS**

#### ***Porcentaje de plantas emergidas (%)***

A los 35 días después de la siembra, se registró el número de plantas emergidas por parcela, expresando los resultados en porcentaje de emergencia.

#### ***Altura de planta (cm)***

A los 40, 60 y 80 días después de la siembra, se midió la altura del tallo más desarrollado en las seis plantas de cada tratamiento, utilizando un flexómetro. La medición se realizó desde la superficie del suelo hasta el ápice de la planta, y los datos fueron registrados en una libreta de campo.

#### ***Diámetro de tallos (cm)***

A los 40, 60 y 80 días después de la siembra, se midió el diámetro del tallo más desarrollado mediante un pie de rey, a 2 cm sobre la superficie del suelo. Los datos fueron registrados en centímetros.

#### ***Número de tallos (u)***

A los 40, 60 y 80 días después de la siembra, se realizó el conteo manual del número de tallos principales en las seis plantas de cada parcela neta, registrando los datos en unidades.

#### ***Rendimiento y clasificación por calibre***

La cosecha se efectuó a los 180 días después de la siembra, y los tubérculos fueron clasificados manualmente en categorías (primera, segunda y tercera) a partir de las seis plantas de cada tratamiento.

#### ***Número de tubérculos por planta (u)***

Se contabilizó manualmente el número total de tubérculos por planta, así como su distribución por categorías, en las seis plantas de cada parcela neta.

**Peso de los tubérculos por planta (kg)**

A los 180 días después de la siembra, los tubérculos fueron pesados utilizando una balanza, registrándose el peso por categoría y total por planta.

**Análisis Económico (C/B)**

Después de la cosecha, se realizó el análisis de costos de producción para cada tratamiento, considerando los ingresos y egresos generados durante la investigación. Los datos fueron extrapolados a una hectárea, con el fin de determinar el tratamiento más rentable.

**Análisis estadístico**

Para el análisis de varianza, se utilizó el programa Statistix 8, y para la comparación de medias se aplicó la prueba de Tukey al 5 %.

En la tabla 1 se presentan los tratamientos en estudio con la respectiva descripción de sus dosis y el tiempo de aplicación.

**Tabla 1***Tratamientos Evaluados*

N	Tratamientos	Descripción
T1	Vermicompost	Se aplicaron 220 g alrededor de la semilla al momento de la siembra
T2	Micorrizas comerciales (Safer Micorrizas)	Se aplicaron 10 g alrededor de la semilla en la siembra
T3	Micorrizas autóctonas	Se aplicaron 10 g alrededor de la semilla
T4	BSP (Fosfotíc)	Se realizaron tres aplicaciones foliares de 5 mL L <sup>-1</sup> en la siembra, retape y aporque
T0	Testigo químico	Se aplicaron fertilizantes NPK: 35,3 g/planta (12-30-16) + 35,3 g/planta (13-00-30)

En la tabla 2 se resumen las principales características del Diseño Experimental implementado en este estudio.

**Tabla 2***Características del ensayo*

Número de tratamientos	5
Repeticiones	4
Unidades Experimentales	20
Área total del ensayo	525 m <sup>2</sup>
Área de la parcela	15m <sup>2</sup>

En la tabla 3 se detalla el esquema del análisis de varianza (ANOVA).

**Tabla 3**

*Esquema del análisis de varianza*

Fuentes de variación	Fórmula	Grados de Libertad
Total	Tr-1	19
Tratamientos	T-1	4
Repeticiones	r-1	3
Error	(T-1) (r-1)	12

### 3. Resultados

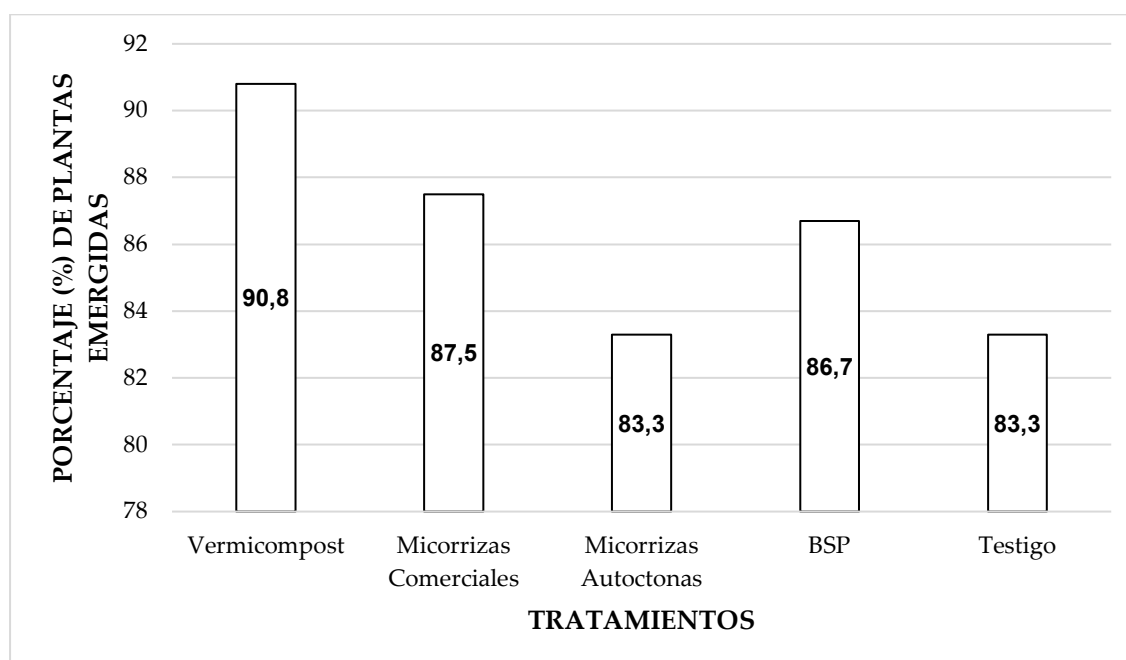
#### Porcentaje de emergencia de plantas

Para el porcentaje de plantas emergidas a los 35 días después de la siembra (dds), se registraron los datos correspondientes, determinándose que no existieron diferencias significativas entre los tratamientos evaluados. Sin embargo, se observó que algunas plantas no emergieron debido a la pudrición de la semilla y a la alta humedad ocasionada por el exceso de lluvias en la zona de estudio.

En la figura 1, los tratamientos que presentaron mayor porcentaje de emergencia fueron T1 (Vermicompost) con 90,8 %, seguido de T2 (Micorrizas comerciales) y T4 (Bacterias solubilizadoras de fósforo). En contraste, los tratamientos T3 (Micorrizas autóctonas) y T0 (Testigo químico) presentaron mayor incidencia de pudrición de la semilla, lo que redujo su porcentaje de emergencia.

**Figura 1**

*Porcentaje (%) de plantas emergidas a los 35 dds*



### Altura de planta

En la tabla 4 se observa que en la altura de planta a los 40 y 80 dds no se presentaron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos. Sin embargo, a los 60 dds, los tratamientos T1 (Vermicompost), T2 (Micorrizas comerciales), T3 (Micorrizas autóctonas) y T4 (Bacterias solubilizadoras de fósforo) no mostraron diferencias significativas entre sí, pero sí difirieron significativamente del tratamiento T0 (100 % NPK).

**Tabla 4**

*Altura de la planta (cm) a los 40, 60 y 80 (dds)*

Tratamiento	40 dds	60 dds	80 dds
T1	21,25 A	39,50 A	56,83 A
T2	20,69 A	34,37 AB	49,50 A
T3	17,04 A	33,65 AB	49,07 A
T4	16,27 A	33,00 AB	49,00 A
T0	15,41 A	28,18 B	44,35 A

### Diámetro de tallo

En la tabla 5 se evidencia que para la variable diámetro de tallo a los 60 dds no existieron diferencias significativas entre tratamientos. No obstante, a los 40 y 80 dds, los tratamientos T0 (100 % NPK), T4, T3 y T2 no presentaron diferencias estadísticas entre ellos, pero sí difirieron del tratamiento T1 (Vermicompost), el cual mostró los valores más bajos.

**Tabla 5**

*Diámetro de tallo en cm a los 40, 60 y 80 dds*

Tratamiento	40 dds	60 dds	80 dds
T0	0,44 A	0,76 A	1,06 A
T4	0,36 A	0,74 A	1,05 AB
T3	0,33 AB	0,65 A	0,96 AB
T2	0,30 AB	0,68 A	1,00 AB
T1	0,21 B	0,56 A	0,76 B

### Número de tallos por planta

En la tabla 6 se observa que, para la variable número de tallos por planta, según la prueba de Tukey al 5 %, el tratamiento T1 (Vermicompost) presentó los mayores valores promedio, con 2,12 a los 40 dds y 3,20 a los 60 y 80 dds. En contraste, el tratamiento T0 (100 % NPK) presentó los valores más bajos, con 1,79 a los 40 dds y 2,70 a los 60 y 80 dds, aunque sin diferencias estadísticas significativas respecto a los demás tratamientos.

**Tabla 6**

Número de tallos planta<sup>-1</sup> a los 40, 60 y 80 dds

Tratamiento	40 dds	60 dds	80 dds
T1	2,12 A	3,20 A	3,20 A
T2	1,95 A	3,12 A	3,12 A
T4	1,84 A	2,90 A	2,90 A
T0	1,79 A	2,70 A	2,70 A
T3	1,75 A	2,75 A	2,75 A

### Número total de tubérculos por planta

En la tabla 7 se observa que, para la variable número total de tubérculos por planta, el tratamiento T0 (100 % NPK) presentó el mayor valor promedio (27,87 tubérculos por planta), diferenciándose estadísticamente de los demás tratamientos. Los tratamientos T1, T2, T3 y T4 no presentaron diferencias significativas entre ellos.

**Tabla 7**

Número total de tubérculos planta<sup>-1</sup> en la cosecha

Tratamiento	Media	G.H.
T0	27,87	A
T3	15,87	B
T1	15,70	B
T4	14,91	B
T2	13,16	B

### Clasificación por categorías

En la tabla 8, respecto a la clasificación por categorías, en la primera categoría los tratamientos T0 (100 % NPK) y T1 (Vermicompost) no presentaron diferencias significativas entre sí; sin embargo, sí se diferenciaron de los demás tratamientos, siendo T2 (Micorrizas comerciales) el que presentó la menor cantidad de tubérculos de primera categoría. En la segunda categoría, los tratamientos T0 y T2 no mostraron diferencias significativas, pero sí difirieron del resto de tratamientos.

**Tabla 8**

*Clasificación por categorías (primera, segunda, tercera) en la cosecha*

Tratamiento	Primera	Segunda
T0	9,45 A	9,00 A
T1	7,33 AB	4,58 B
T2	3,20 C	6,79 AB
T3	6,37 B	3,87 B
T4	4,58 BC	4,16 B

### Peso por categorías

En la tabla 9, para la variable peso por categorías, en la primera categoría los tratamientos T0 y T1 presentaron los mayores valores y no difirieron significativamente entre sí, pero sí del resto de tratamientos, destacándose T2 como el de menor peso en esta categoría. En la segunda categoría, los tratamientos T2, T0 y T4 no presentaron diferencias significativas entre ellos, pero sí difirieron de los demás tratamientos. En la tercera categoría no se observaron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos.

**Tabla 9**

*Peso por categorías en kg planta<sup>-1</sup> en la cosecha*

Tratamiento	Primera	Segunda	Tercera
T0	1,65 A	0,60 A	0,25 A
T1	1,43 AB	0,34 B	0,17 A
T2	0,84 C	0,71 A	0,17 A
T3	1,08 BC	0,25 B	0,13 A
T4	1,04 BC	0,49 AB	0,18 A

### Peso total por planta

En la tabla 10 se observa que, para el peso total por planta, el tratamiento T0 (100 % NPK) presentó el mayor valor promedio (2,52 kg planta<sup>-1</sup>), diferenciándose estadísticamente de los tratamientos T2, T3 y T4. El tratamiento T1 no presentó diferencias significativas con T0, lo que indica un comportamiento intermedio.

**Tabla 10***Peso Total en kg planta<sup>-1</sup> en la cosecha*

Tratamiento	Media	G.H.
T0	2,52	A
T1	1,94	AB
T4	1,72	B
T2	1,67	B
T3	1,49	B

**Rendimiento de cosecha**

En la tabla 11 se evidencia que, para el rendimiento de cosecha, no se encontraron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos. Sin embargo, el tratamiento T0 (100 % NPK) presentó el mayor rendimiento con 50,20 t ha<sup>-1</sup>, seguido de T1, T4, T2 y T3.

**Tabla 11***Rendimiento de cosecha en t ha<sup>-1</sup> a los 180 dds*

Tratamiento	Media	G.H.
T0	50,20	A
T1	38,93	A
T4	34,50	A
T2	33,53	A
T3	30,40	A

**Análisis económico (Costo–Beneficio)**

En la tabla 12 se observa que todos los tratamientos presentaron beneficios económicos con un precio promedio de 0,31 USD kg<sup>-1</sup>. Sin embargo, los tratamientos con mayor relación costo–beneficio fueron T0 (Testigo químico) con un índice de 2,40, seguido de T1 (Vermicompost) con 2,00. Esto indica que por cada dólar invertido se obtuvieron utilidades de 1,40 USD y 1,00 USD respectivamente, lo que evidencia la rentabilidad de las alternativas evaluadas.

**Tabla 12***Relación Costo Beneficio tratamiento Ha<sup>-1</sup>*

Tratamientos	Costo Producción USD	Rendimiento Kgha <sup>-1</sup>	Precio USD kg <sup>-1</sup>	Venta USD ha <sup>-1</sup>	Utilidad USD ha <sup>-1</sup>	C: B Índice USD
T0	5931	45360	0.31	14112	8181	2,4
T1	5463	35055	0.31	10906	5443	2,0
T4	4975	31005	0.31	9652	4677	1,9
T2	5099	30195	0.31	9387	4288	1,8
T3	5015	26865	0.31	8354	3339	1,7

#### 4. Discusión

Fernández & Rodríguez (2005) afirman que la aplicación de vermicompost mejora el desarrollo vegetal y aumenta el rendimiento de los cultivos. De manera complementaria, Narváez (2016) señala que el uso de microorganismos solubilizadores de fósforo, micorrizas y compost, en condiciones semicontroladas, incrementa la productividad del cultivo de papa, promoviendo una agricultura sostenible mediante la optimización de recursos y la mejora de la producción.

En relación con la variable altura de planta, Luján (2017) reporta que la mayor altura se obtuvo con la aplicación de vermicompost (93,97 cm a una dosis de 3 t ha<sup>-1</sup>), mientras que el fertilizante químico presentó la menor altura (77,93 cm). Estos resultados no coinciden completamente con los obtenidos en el presente estudio, sin embargo, confirman la tendencia positiva del vermicompost en comparación con fertilización química convencional, evidenciando su potencial como alternativa sostenible.

Respecto al diámetro de tallo, los resultados pueden compararse con Flores (2019), quien reportó el mayor valor en el tratamiento T4 (100 % NPK + extracto de algas) con 1,46 cm, mientras que el menor correspondió al tratamiento T6 (extracto de algas) con 1,24 cm. Asimismo, Puetate (2019) indica que los mayores diámetros se presentaron en los tratamientos T1 (100 % NPK) y T7 (100 % NK + 75 % P + biol) con 1,71 cm, mientras que el menor valor fue de 1,51 cm en el tratamiento T8 (biol). Estos antecedentes sugieren que la respuesta del diámetro de tallo está influenciada por la combinación de fertilización química y biológica, lo cual coincide parcialmente con los resultados obtenidos en esta investigación.

Según Tognetti (2005), el vermicompost, debido a su bioestabilidad, mejora las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, además de incrementar la disponibilidad de nutrientes esenciales como nitrógeno, fósforo y potasio. Su elevada actividad enzimática y microbiológica favorece la solubilización de nutrientes y el desarrollo de la microbiota del suelo, lo que explica su efecto positivo sobre el crecimiento de los cultivos.

En cuanto al número de tallos por planta, Luján (2017) reportó que el vermicompost presentó el mayor promedio con 2,87 tallos por planta, mientras que el testigo obtuvo 2,60 tallos por planta. Estos resultados son consistentes con los obtenidos en esta investigación, donde el vermicompost también presentó los valores más altos, con un promedio aproximado de 3 tallos por planta, lo que refuerza su efecto favorable en la arquitectura de la planta.

Para la variable número total de tubérculos, Stewart (2007) señala que la adecuada aplicación de fósforo incrementa el rendimiento, favoreciendo el número, tamaño y peso de los tubérculos. Asimismo,

Yara Ecuador (2026) indica que una fertilización equilibrada con NPK optimiza la absorción de nutrientes y mejora el desarrollo del cultivo, lo que se traduce en un mayor número de tubérculos por planta. En concordancia, Puetate (2019) reportó que el tratamiento T1 (100 % NPK) alcanzó 24,3 tubérculos por planta, siendo uno de los mejores resultados. Estos antecedentes explican el comportamiento del tratamiento químico en la presente investigación, el cual mostró el mayor número de tubérculos.

Bautista et al. (2010) indican que una aplicación equilibrada de NPK contribuye al incremento del tamaño y calidad de los tubérculos, pudiendo alcanzar hasta un 90 % de producción en categoría primera, mientras que el resto corresponde a categorías inferiores. En este sentido, el manejo adecuado de la fertilización resulta determinante en la calidad comercial de la papa.

Yara (2020) enfatiza que la aplicación de nutrientes debe realizarse de forma precisa en la zona de absorción y en el momento oportuno, ya que una deficiencia en este manejo puede afectar negativamente tanto el rendimiento como la calidad del cultivo.

En relación con el peso de tubérculos, Mora et al. (2019) reportaron que el tratamiento T7 (100 % NK + 75 % P + Fosfotic + Safer Micorrizas) obtuvo el mayor peso en categoría primera con 2,67 kg, evidenciando que la combinación de biofertilizantes incrementa significativamente la productividad en esta categoría. Asimismo, Grageda-Cabrera et al. (2012) señalan que las micorrizas comerciales mejoran las propiedades del suelo y contribuyen al incremento del rendimiento en categorías intermedias.

El rendimiento total del cultivo está influenciado por múltiples factores como la calidad de la semilla, la fertilización, las labores culturales y las condiciones climáticas. En este sentido, Giletto et al. (2012) afirman que tanto el genotipo como el ambiente determinan la calidad y peso de los tubérculos, aunque una fertilización adecuada permite alcanzar altos rendimientos y mejor calidad comercial.

En estudios previos, Puetate (2019) reportó un rendimiento de 45,16 t ha<sup>-1</sup> con el tratamiento T3 (100 % NPK + Safer micorrizas), Chulde (2019) obtuvo 40,70 t ha<sup>-1</sup> con T7 (100 % NPK + extracto de algas) y Flores (2019) alcanzó 46 t ha<sup>-1</sup> con T2 (100 % NPK + Fosfotic). Estos resultados son comparables con los obtenidos en el presente estudio, donde el tratamiento con fertilización química presentó el mayor rendimiento, confirmando la influencia del NPK en la productividad del cultivo.

Finalmente, según el Ministerio de Agricultura y Ganadería (2022), el precio del quintal de papa varía según la categoría, considerando valores promedio de 23 USD para primera categoría, 14 USD para segunda y 5 USD para tercera, lo que permite evaluar la rentabilidad económica de los tratamientos y determinar su viabilidad productiva en el contexto agrícola local.

## 5. Conclusiones

De acuerdo con los resultados obtenidos en la presente investigación y el análisis de los datos, se concluye que las alternativas de biofertilización constituyen una opción viable para el cultivo de papa, ya que influyen positivamente en variables agronómicas como el rendimiento, la altura de planta y el número de tallos, consolidándose como una alternativa técnicamente eficiente y económicamente accesible para el agricultor.

Asimismo, la utilización de estas alternativas de biofertilización representa una estrategia de manejo sostenible del cultivo, debido a que contribuyen a la mejora de las condiciones del suelo, permiten la reducción de costos de producción y no afectan negativamente el rendimiento del cultivo, favoreciendo la obtención de productos más saludables y promoviendo una agricultura sustentable.

En relación con el análisis costo-beneficio, se determinó que los tratamientos T0 (fertilización química) y T1 (vermicompost) presentaron los mayores índices de rentabilidad, con valores de 2,40 y

2,00 respectivamente. Esto indica que, por cada dólar invertido, se obtiene una ganancia aproximada de 1,40 USD en el tratamiento químico y 1,00 USD en el tratamiento con vermicompost, evidenciando que ambas alternativas resultan económicamente viables bajo las condiciones evaluadas, aunque el uso de biofertilizantes representa una opción más sostenible a largo plazo.

## Referencias

- Bautista, C., León, W., & Rojas, A. (2010). *Evaluación del rendimiento del cultivo de papa (Solanum tuberosum) variedad chaucha con el manejo fisionutricional (MFN) frente al manejo tradicional en la hacienda "San Patricio" ubicada en la parroquia Tomebamba del cantón Paute provincia del Azuay* [Tesis de grado, Universidad Politécnica Salesiana]. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/3877>
- Beltrán, M. (2015). Hongos solubilizadores de fosfato en suelo de páramo cultivado con papa (*Solanum tuberosum*). *Ciencia en Desarrollo*, 5(2), 145–154. [https://revistas.uptc.edu.co/index.php/ciencia\\_en\\_desarrollo/article/view/3669](https://revistas.uptc.edu.co/index.php/ciencia_en_desarrollo/article/view/3669)
- Chulde, J. (2019). *Alternativas de fertilización para el cultivo de papa (Solanum tuberosum L.) con el empleo de microorganismos solubilizadores de fósforo, micorrizas y extracto de algas en la finca San Francisco, cantón Huaca* [Tesis de grado, Universidad Politécnica Estatal del Carchi]. <http://repositorio.upec.edu.ec/handle/123456789/763>
- Fernández, M., & Rodríguez, H. (2005). El papel de la solubilización de fósforo en los biofertilizantes microbianos. *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, 39(3), 27-34 . <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223120688005>
- Flores, S. (2019). *Alternativas de fertilización para el cultivo de papa (Solanum tuberosum L.) con el empleo de biol de producción local, microorganismos solubilizadores de fósforo y extracto de algas en la comunidad de Canchaguano, Montúfar, Carchi* [Tesis de grado, Universidad Politécnica Estatal del Carchi]. <http://repositorio.upec.edu.ec/handle/123456789/762>
- Giletto, C., Magnoni, J., & Echeverría, H. (2012). Fertilización con azufre en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) para la industria en el sudeste bonaerense. *Ciencia del Suelo*, 30(1), 75–84. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4346568>
- Grageda-Cabrera, O., Díaz-Franco, A., Peña-Cabriales, J., & Vera-Núñez, J. (2012). Impacto de los biofertilizantes en la agricultura. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3(6), 1261–1274. <https://doi.org/10.29312/remexca.v3i6.1376>
- Graves, C. (ed.). *La papa, tesoro de los Andes*. 2da ed. Lima, Centro Internacional de la Papa, 2006. [http://cipotato.org/wp-content/uploads/2014/05/la\\_papa\\_tesoro\\_de\\_los\\_andess.pdf](http://cipotato.org/wp-content/uploads/2014/05/la_papa_tesoro_de_los_andess.pdf)
- Luján, Y. (2017). *Efecto de tres dosis de humus de lombriz Eisenia foetida (Lumbricidae) y tres dosis de estiércol de vacuno Bos Taurus (Bovidae) en el rendimiento del cultivo de papa Solanum tuberosum L. (Solanaceae) var. serranita en la provincia Otuzco, región La Libertad, Perú* [Tesis de grado, Universidad Privada Antenor Orrego]. <https://hdl.handle.net/20.500.12759/3662>
- Ministerio de Agricultura y Ganadería. (2026, 12 de abril). *Reporte de precios de productos por mercado: Aceite Vegetal - Cocinero*. Sistema de Información Pública Agropecuaria (SIPA). [http://sinagap.mag.gob.ec/sina/PaginasCGSIN/Rep\\_Pre\\_Prod\\_X\\_MercCGSIN.aspx](http://sinagap.mag.gob.ec/sina/PaginasCGSIN/Rep_Pre_Prod_X_MercCGSIN.aspx)
- Narváez, F. (2016). *Evaluación de microorganismos solubilizadores de fósforo, micorrizas y compost, en la productividad del cultivo de papa (Solanum tuberosum L.), bajo condiciones semicontroladas, Carchi-*

- Ecuador [Tesis de grado, Universidad Politécnica Estatal del Carchi]. <http://repositorio.upec.edu.ec/handle/123456789/554>
- Noda, Y. (2009). Las micorrizas: Una alternativa de fertilización ecológica en los pastos. *Pastos y Forrajes*, 32(2), 1-10. <https://www.redalyc.org/pdf/2691/269119695001.pdf>
- Pumisacho, M., & Sherwood, S. (2009). *El cultivo de la papa en Ecuador*. Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) / Centro Internacional de la Papa (CIP). <https://n9.cl/7nvx6>
- Puetate, L. (2019). *Alternativas de fertilización para el cultivo de la papa (Solanum tuberosum L.) con el empleo de micorrizas, microorganismos solubilizadores de fósforo y biol de producción local en El Ejido, Montúfar, Carchi* [Tesis de grado, Universidad Politécnica Estatal del Carchi]. <http://repositorio.upec.edu.ec/handle/123456789/764>
- Stewart, W. (2007). Consideraciones en el uso eficiente de nutrientes. *Informaciones Agronómicas*, (67), 1-6. International Plant Nutrition Institute (IPNI). <https://n9.cl/tgiqt>
- Tognetti, C., Laos, F., Mazzarino, M., & Hernández, M. (2005). Composting vs. vermicomposting: A comparison of end product quality. *Compost Science & Utilization*, 13(1), 6–13. <https://n9.cl/w7u7nx>
- Vessey, J. (2003). Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. *Plant and Soil*, 255(2), 571–586. <https://doi.org/10.1023/A:1026037216893>
- Yara International. (2026). *Fertilización de papas*. <https://www.yara.com.ec/nutricion-vegetal/papa/fertilizacion-de-papas/>
- Yara Ecuador. (2026). *YaraMila COMPLEX*. <https://www.yara.com.ec/nutricion-vegetal/fertilizantes/yaramila/yaramila-complex/>

## Transparencia

### Conflicto de interés

Los autores declaran que no existen conflictos de interés de naturaleza alguna como parte de la presente investigación.

### Fuente de financiamiento

Los autores financiaron completamente la investigación.

### Contribución de autoría

Segundo Ramiro Mora Quilismal: Conceptualización, metodología, análisis formal, investigación, gestión de datos, visualización, redacción - preparación del borrador original, redacción - revisión y edición, financiamiento, administración del proyecto, recursos, supervisión.

Carlos David Herrera Ramírez: Conceptualización, metodología, software, validación, análisis formal, investigación, gestión de datos, redacción - preparación del borrador original, redacción - revisión y edición, financiamiento, recursos.

Los autores contribuyeron activamente en el análisis de los resultados, revisión y aprobación del manuscrito final.