

Respuesta productiva de *Phaseolus vulgaris* L. a la aplicación de compost local y microorganismos eficientes en una zona semiárida de Ayacucho, Perú

Productive response of *Phaseolus vulgaris* L. to the application of local compost and efficient microorganisms in a semi-arid zone of Ayacucho, Peru

Rómulo Agustín Solano Ramos^{1*}, Alex Lázaro Tineo Bermúdez¹, Raúl Javier Aronés Quispe¹, Orlando Fidel Sulca Castilla¹, Pelayo Carrillo Medina¹ y Abraham Villantoy Palomino²

¹Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, Facultad de Ciencias Agrarias. Ayacucho, Perú.

²Instituto Nacional de Innovación Agraria, Estación Experimental Agraria Canaán. Ayacucho, Perú.

RESUMEN

Una alternativa para mejorar el rendimiento de cultivos en regiones semiáridas es el uso de abonos orgánicos de origen natural que contribuyan al suministro de nutrientes por descomposición y mejoren la capacidad de almacenamiento y retención de agua del suelo. El objetivo de esta investigación fue determinar la influencia de un compost de preparación casera denominado "Compuesto San Cristóbal" (CSC) y de microorganismos eficientes (ME) en el rendimiento de frijol rojo en condiciones semiáridas. El estudio se desarrolló en el Centro Experimental Canaán de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, Ayacucho. Se implementó un diseño experimental factorial 2A×2B (A: con y sin CSC; B: con y sin ME) bajo un arreglo de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Las parcelas experimentales de 20 m² estuvieron constituidas por cinco surcos distanciados a 0,80 m. Los tratamientos con CSC mostraron rendimientos significativamente superiores comparados con el testigo sin aplicación. Los ME también evidenciaron efectos positivos en el rendimiento, aunque en menor magnitud que el CSC. El incremento relativo del rendimiento de grano (Irrg) por aplicación del CSC fue 73,40 %, mientras que para rastrojos (Irrr) fue 21,96 %. La aplicación de ME incrementó el rendimiento de grano en 37,84 % y rastrojos en 9,91 %; la aplicación conjunta de CSC y ME produjo los mayores incrementos: 109,32 % en rendimiento de grano y 26,67 % en rastrojos. Se concluye que tanto el CSC como los ME mejoran significativamente el rendimiento del frijol en condiciones semiáridas; siendo más efectivo el CSC, potenciándose su efecto en aplicación conjunta con ME.

Palabras clave: microorganismos eficientes, compost, *Phaseolus vulgaris*, agricultura sostenible, zonas áridas

ABSTRACT

An alternative to improve crop yields in semi-arid regions is the use of organic fertilizers of natural origin that contribute to nutrient supply through decomposition and improve soil water storage and retention capacity. The objective of this research was to determine the influence of a homemade compost called "San Cristóbal Compound" (SCC) and efficient microorganisms (EM) on red bean yield under semi-arid conditions. The study was conducted at the Canaán Experimental Center of the National University of San Cristóbal de Huamanga, Ayacucho. A 2A×2B factorial experimental design was implemented (A: with and without SCC; B: with and without EM) under a randomized complete block arrangement with four replications. The experimental plots of 20 m² consisted of five furrows spaced 0.80 m apart. Treatments with SCC showed significantly higher yields compared to the control without application. EM also showed positive effects on yield, although to a lesser extent than SCC. The relative increase in grain yield from SCC application was 73.40%, while for crop residues it was 21.96%. EM application increased grain yield by 37.84% and crop residues by 9.91%; the combined application of SCC and EM produced the greatest increases: 109.32% in grain yield and 26.67% in crop residues. It is concluded that both SCC and EM significantly improve bean yield under semi-arid conditions; SCC being more effective, with its effect enhanced when applied in combination with EM.

Keywords: efficient microorganisms, compost, *Phaseolus vulgaris*, sustainable agriculture, arid zones

*Autor para correspondencia:

romulo.solano@unsch.edu.pe

Conflictos de interés:

No existe ningún tipo de conflicto a declarar.

Contribución de autores:

Todos los autores realizaron contribuciones sustanciales a la concepción y diseño de este estudio, al análisis e interpretación de los datos, revisión del manuscrito y aprobación de la versión final. Todos los autores asumen la responsabilidad del contenido del manuscrito

Financiamiento:

Esta investigación fue financiada con recursos de la Universidad de Huamanga.

Disponibilidad de datos

Todo el conjunto de datos que apoya los resultados de este estudio está disponible mediante solicitud al autor de correspondencia. El conjunto de datos no está públicamente disponible debido a que son datos confidenciales.

Historial:

Recibido: 23-03-2025;

Aceptado: 30-09-2025;

Publicado: 12-12-2025;

Editor responsable:

Arnaldo Esquivel-Fariña
Universidad Nacional de Asunción, Facultad de Ciencias Agrarias. San Lorenzo, Paraguay.

Licencia:

Artículo publicado en acceso abierto bajo una licencia Creative Commons CC-BY 4.0

INTRODUCCIÓN

El cambio climático representa una amenaza significativa para la producción de frijol en América Latina, con proyecciones que indican reducciones en el rendimiento superiores al 50 % en diversas regiones (Ayala-Garay, Acosta-Gallegos y Reyes-Muro, 2021). Ante este escenario, Vargas, Watler, Morales y Vignola (2018) recomiendan que se debería implementar prácticas como la incorporación de materia orgánica con el fin de prevenir y/o reducir dicho impacto en los sistemas productivos de frijol.

En este contexto, la materia orgánica se puede aplicar de cinco a 10 t ha⁻¹ en el cultivo del frijol (Servicio de Sanidad Animal (SENASA), 2020). La cantidad de materiales orgánicos incorporados en suelos agrícolas varía entre 25 y 50 % del volumen, pero a veces alcanza 100 % (García Gutiérrez y Herrán, 2014). El compost es una fuente versátil de materia orgánica que se puede elaborar a partir de residuos orgánicos de cosecha, cal, cenizas y estiércoles, combinándose también con guano de isla, humus de lombriz y gallinaza (Arias Restrepo, Rengifo Martínez, y Jaramillo Carmona, 2007; Astulla Puca, 2019).

Una estrategia complementaria para potenciar los beneficios de la materia orgánica es la incorporación de microorganismos eficaces (ME), cultivos de bacterias benéficas que mejoran la estructura y fertilidad del suelo, refuerzan la capacidad de las plantas para extraer nutrientes y mejoran la resistencia de los cultivos a las plagas y enfermedades (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), 2013). Además de sus efectos directos en el suelo y las plantas, los ME también incrementan la actividad fotosintética, la absorción de agua y reducen los tiempos de maduración en la elaboración del compost (Tanya Morocho y Leiva-Mora, 2019). Se observaron resultados interesantes cuando se aplicaron los ME en una dosis del 5 % en el cultivo de frijol (Abreu-Romero, Urgelles-Cardoza, Abreu-Romero, Díaz-Rodríguez y Hernández-Gómez, 2021). En condiciones de secano, Pérez-Borrego y Robleda-Gómez (2021) lograron alcanzar rendimientos de 1,90 t ha⁻¹ en Cuba, mientras que en el trópico peruano se obtuvo un rendimiento de 2.848,81 kg ha⁻¹ para la dosis de 20 mL de ME por litro de agua (García Palacios y Suárez Flores, 2024).

Por lo tanto, la aplicación de abonos orgánicos, como el compuesto San Cristóbal (CSC) y la solución de ME, constituyen alternativas potenciales para optimizar el rendimiento del frijol y mitigar los desafíos climáticos. Por estas consideraciones, el presente trabajo de investigación se realizó con el objetivo de evaluar la influencia del abonamiento orgánico, mediante el uso del CSC y una solución de ME, sobre el rendimiento de frijol en condiciones de secano en una zona semiárida del Perú.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación

El trabajo se realizó en un terreno agrícola de la Estación Experimental Canaán del Instituto Nacional de Investigación e Innovación Agraria (INIA), Ayacucho, a 2.760 m s. n. m., coordenadas UTM N 8.544.624,66 E 586.553,49. De acuerdo con la clasificación de zonas de vida (Holdridge, 1967), el área pertenece a un bosque seco Montano Bajo Subtropical (bs-MBS); con un índice de aridez (Ia) de 0,4 que lo tipifica como una región semiárida (Ia: 0,2–0,5), según la clasificación de las zonas áridas del mundo (Ministerio del Ambiente (MINAM), 2011).

Material experimental

a) Compost local: Abono Compuesto San Cristóbal (CSC)

Con los materiales y cantidades que se muestran en la Tabla 1, se preparó un compost local enriquecido en fósforo, al que se denominó “Compuesto San Cristóbal”; consistió en remojar los rastrojos de cebada durante una noche, para lo cual se sumergieron los rastrojos de cebada en un depósito con agua. Una hora antes de iniciar la preparación del abono, se diluyeron melaza y levadura en 10 L de agua tibia (40 °C). Sobre una superficie limpia, se colocaron los ingredientes en capas a manera de un emparedado: estiércol, rastrojos, carbón, ceniza y tierra. Posteriormente, se agregaron 100 L de agua y se procedió a mezclar homogéneamente todos los ingredientes (volteando de forma sucesiva hacia un lado y devolviendo a su lugar inicial).

Tabla 1. Componentes del abono Compuesto San Cristóbal (para 500 kg)

Ingrediente	Cantidad (kg)	Especificación técnica
Carbón vegetal molido	20	partículas < 5 mm
Gallinaza	240	sin otros estiércoles
Rastrojos de cebada	100	espigas después de trilla
Melaza de caña de azúcar	2	
Levadura	0,5	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>
Tierra cernida	80	partículas < a 2 mm
Ceniza	10	de hornos de panificación
Roca fosfórica	50	partículas < a 0,2 mm
Agua	150 a 200 L	-

Se agregaron la melaza y levadura diluidas, y se adicionaron otros 50 L de agua (se realizó un nuevo volteo, hacia un lado y devolviendo a su lugar inicial). La mezcla fue cubierta con tela de yute y plásticos; se dejó reposar por cinco días y se descubrió el preparado para agregar la roca fosfórica, realizando un nuevo volteo y cubriendo nuevamente con la tela de yute. Luego de dos semanas de reposo se consideró que el abono CSC estaba listo para ser utilizado.

b) Solución ME al 10 % (ME-10)

Proviene de EM.1®, un concentrado de microorganismos (bacterias fotosintéticas, bacterias ácido lácticas y levaduras) en estado latente que se activa para su uso. Para la activación fue necesario un recipiente de plástico con cierre hermético; y para obtener ME activado al 10 % se utilizó 1 L de EM.1, 1 kg de melaza de caña de azúcar y 8 L de agua desionizada calentada a 40 °C, obteniendo 10 L de solución de ME al 10 %. Luego de dejar en reposo durante una semana se utilizó a razón de 1 L por parcela.

Diseño experimental y tratamientos

El experimento corresponde a un arreglo factorial 2A×2B (A, aplicación del CSC: con y sin; B, aplicación de ME: con y sin) como se muestra en la Tabla 2, que se condujo utilizando el Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA) con cuatro tratamientos y cuatro repeticiones (bloques) cada uno.

Las UE consistieron en parcelas de 5 m × 4 m (20 m²), distribuidas al azar en cuatro bloques con cuatro tratamientos cada uno, ocupando un área cultivada de 320 m². Cada parcela constó de cinco surcos de 5 m de largo, distanciados a 0,80 m entre surcos, donde se sembraron tres semillas de frijol rojo Red Kidney, en golpes separados a 30 cm.

Instalación del experimento y labores culturales

Después de la preparación del terreno en el área experimental, el 20 de diciembre de 2023, se delimitaron las parcelas (UE) y se asignaron los tratamientos al azar. La aplicación de los abonos sólidos en surco corrido y la siembra de frijol se realizaron el 22 de diciembre de 2023. Todas las unidades experimentales recibieron un abonamiento base con guano de islas (10,3 % N, 7,9 % P₂O₅, 2,8 % K₂O, 11 % CaO y 2,6 % MgO) a razón de 1,5

kg por parcela equivalente a 750 kg ha⁻¹. De acuerdo con los tratamientos, se procedió a la aplicación del CSC (8 kg por parcela a 1,6 kg por surco) equivalente a 4 t ha⁻¹. Se procedió a depositar las semillas de frijol y luego a cubrir los abonos y las semillas con una lampa. La aplicación de la solución ME en los tratamientos correspondientes se realizó el nueve de enero de 2024, cuando ya habían brotado todas las plantas de frijol en el área experimental y consistió en aplicar el ME (solución madre de EM.1 diluido al 10 %) a razón de 1 L por parcela, equivalente a 500 L de solución ME por hectárea (50 L de EM.1 mezclados con 50 kg de melaza y 400 L de agua).

El primer deshierbe se realizó el 13 de enero de 2024; un segundo deshierbe y el aporque correspondiente se realizaron el ocho de febrero de 2024. El 16 de febrero de 2024, se realizó la segunda aplicación de ME.

Cuatro meses después de la siembra se procedió a evaluar el rendimiento de granos y de biomasa de los rastrojos, para el cual se cosecharon las plantas de cinco golpes de los surcos centrales, con mucho cuidado. Luego se pesaron en una balanza analítica de precisión, y se registraron los pesos en el cuaderno de campo. Se tomaron muestras para secar en la estufa y determinar el contenido de humedad y materia seca.

Variables e indicadores

Variables independientes:

Factor A: Compuesto San Cristóbal (CSC)

- aplicación del CSC (4 t ha⁻¹)
- sin el CSC

Factor B: Microorganismos eficientes (ME)

- aplicación de solución ME al 10 % (500 L ha⁻¹)
- sin ME

Variables dependientes:

- Rendimiento de granos de frijol con vainas; en kg ha⁻¹ (transformado a partir de kg por parcela)
- Rendimiento de rastrojos de frijol; en kg ha⁻¹ (transformado a partir de kg por parcela)
- Índice Incremento relativo del rendimiento de grano (Irrg)
- Índice Incremento relativo del rendimiento de rastrojos (Irrr)

Procesamiento de datos:

Se realizaron los análisis de varianza (ANOVA) de las variables correspondientes, de acuerdo con la metodología del Análisis funcional de la varianza, ANAFUNVA (Tineo Bermúdez, 2012).

Tabla 2. Tratamientos que resultan del arreglo factorial 2A×2B (CSC×ME)

Tratamiento	Compuesto San Cristóbal	Solución de ME
T1	Sin CSC	Sin ME
T2	Sin CSC	Con ME
T3	Con CSC	Sin ME
T4	Con CSC	Con ME



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Rendimiento de granos de frijol

Los rendimientos de grano seco con vainas son significativamente superiores en tratamientos con CSC respecto al testigo; los valores varían entre 4.417 kg ha⁻¹ (testigo) y 14.500 kg ha⁻¹ (con 4 t ha⁻¹ CSC y 500 L ha⁻¹ solución ME al 10 %). Los tratamientos que recibieron CSC alcanzaron rendimientos superiores (10.260 a 12.386 kg ha⁻¹) respecto a los que no recibieron (5.917 a 8.156 kg ha⁻¹). El análisis de la varianza (ANOVA) del rendimiento (kg ha⁻¹) de granos de frijol (Tabla 3), indica respuesta altamente significativa para los efectos principales (CSC y ME); esto explica que el aporte del CSC influyó significativamente en el incremento de los rendimientos, igualmente, el aporte de ME resultó en mejoras del rendimiento.

La diferencia altamente significativa entre bloques se explica debido a que los bloques I y II ocuparon el borde superior con espacio libre sin vegetación en unos 5 m de ancho; los bloques III y IV, estaban en la parte inferior, rodeados de un cultivo de frijol negro y maíz. Los efectos principales de abonamiento con CSC y aplicación de ME

resultaron con una diferencia altamente significativa y no hubo interacción entre ellos.

Según la Tabla 3, existe diferencia estadística para los efectos principales del factorial; en el caso del CSC los rendimientos más altos (11.323 kg ha⁻¹) corresponden al tratamiento con CSC, respecto al rendimiento en el tratamiento sin CSC (7.037 kg ha⁻¹). La Tabla 4 de ANAFUNVA (pruebas de contrastes) también indica que el rendimiento promedio en los tratamientos con CSC es superior al tratamiento sin CSC (C1); la aplicación de ME equivalente a 500 L ha⁻¹, sin CSC (C2) o con CSC (C3) es superior a la no aplicación de ME.

La relación de los rendimientos en los tratamientos con CSC y/o con ME respecto a los rendimientos en el testigo (sin CSC y sin ME) permite obtener los índices de incrementos relativos de los rendimientos de granos (Irrg), que se muestran en la Tabla 5.

La Tabla 5 muestra los valores de los índices de incremento del rendimiento relativo de granos más vainas de frijol (Irrg), correspondientes a cada tratamiento. De manera general se observa que los Irrg son significativamente

Tabla 3. Análisis de la varianza del rendimiento de granos de frijol (kg ha⁻¹)

F.V.	GL	SC	CM	Fc	p-valor
Bloque	3	9520624.19	3173541.40	10,84	0,0024**
CSC	1	73483470.06	73483470.06	250,91	<0,0001**
ME	1	19046678.06	19046678.06	65,03	<0,0001**
CSC×ME	1	13053.06	13053.06	0,04	0,8375ns
Error	9	2635838.06	292870.90		
Total	15	104699663.44			

C.V.: 5,90%. **Nota:** F.V.: Fuente de variación; GL: Grados de libertad; SC: Suma de cuadrados; CM: Cuadrados medios; Fc: F calculado; CSC: Ciclo de siembra-cosecha; ME: Manejo del experimento. ** Altamente significativo (p<0,01); ns: no significativo. C.V.: Coeficiente de variación.

Tabla 4. Análisis funcional de la varianza del rendimiento de granos de frijol (kg ha⁻¹)

Comparación	Promedio	Promedio	Pr > F
C1:	sin CSC 7.037	con CSC 11.323	<0,0001**
C2:	Sin ME (sin CSC) 5.917	Con ME (sin CSC) 8.156	0,0002**
C3:	Sin ME (con CSC) 10.260	Con ME (con CSC) 12.385	0,0004**

Tabla 5. Incremento relativo de los rendimientos de grano más vaina de frijol, Irrg (%)

Tratamiento	Promedio	Sign. Tukey	Irrg (%)
Con CSC y con ME	12.385	A	109,32
Con CSC y sin ME	10.260	B	73,40
Sin CSC y con ME	8.156	C	37,84
Sin CSC y sin ME	5.917	D	0,00

Nota: Letras diferentes indican diferencias significativas según la prueba de Tukey (p < 0,05).

superiores en los tratamientos con CSC, con valores que oscilan de 73,40 % (sin ME) a 109,32 % (con ME); igualmente es importante el Irrg debido al uso de ME, cuyo incremento en el rendimiento de grano fue de 37,84 %. Es de suponer que el aporte del CSC permite al cultivo contar con mejores condiciones, como la provisión de nutrientes y una mayor cantidad de agua disponible por un mayor tiempo que influye en los diferentes procesos biológicos del sistema suelo-agua-planta.

Rendimiento de rastrojos de frijol

Los rendimientos de rastrojos después de la cosecha de las vainas de frijol son también significativamente superiores en los tratamientos con CSC respecto al testigo; los valores varían entre 592 kg ha⁻¹ (testigo) y 834 kg ha⁻¹ (con 4 t ha⁻¹ CSC y 500 L ha⁻¹ de ME). Los tratamientos que recibieron CSC alcanzaron rendimientos superiores (803 a 834 kg ha⁻¹) respecto a los que no recibieron (659 a 724 kg ha⁻¹). El análisis de la varianza (ANOVA) del rendimiento (kg ha⁻¹) de rastrojos de frijol (Tabla 6), indica respuesta significativa para los efectos principales (CSC y ME); esto explica que el aporte del CSC influyó en los rendimientos, al igual que el aporte de ME.

La Tabla 7 de ANAFUNVA (pruebas de contrastes) igualmente indica que el rendimiento promedio en los tratamientos con CSC es superior al tratamiento sin CSC (C1); la aplicación de ME equivalente a 500 L ha⁻¹, sin CSC (C2) o con CSC (C3) es superior a la no aplicación de ME.

La relación de los rendimientos en los tratamientos con CSC y/o con ME respecto a los rendimientos en el testigo (sin CSC y sin ME) permite obtener los índices de incrementos relativos de los rendimientos de rastrojos (Irrr), que se muestran en la Tabla 8.

La Tabla 8 muestra los valores de los incrementos del rendimiento relativo de rastrojos (Irrr), correspondientes a cada tratamiento. De manera general se observa que los Irrr son superiores en los tratamientos con CSC, con valores que oscilan de 21,96 % (sin ME) a 26,67 % (con ME); igualmente, el Irrr debido al uso de ME, alcanzó a 9,91 %. Estos resultados sugieren que el aporte del CSC y de la solución de ME-10 permiten al cultivo contar con mejores condiciones para su desarrollo.

Tabla 6. Análisis de la varianza del rendimiento de rastrojos de frijol (kg ha⁻¹)

F.V.	GL	SC	CM	Fc	p-valor
Bloque	3	31428.91	10476.30	9,88	0,0033**
CSC	1	65076.01	65076.01	61,35	<0,0001**
ME	1	9264.06	9264.06	8,73	0,0161*
CSC*ME	1	1173.06	1173.06	1,11	0,3204ns
Error	9	9547.30	1060.81		
Total	15	116489.34			

C.V.: 4,31%. Nota: F.V.: Fuente de variación; GL: Grados de libertad; SC: Suma de cuadrados; CM: Cuadrados medios; Fc: F calculado; CSC: Ciclo de siembra-cosecha; ME: Manejo del experimento. ** Altamente significativo (p<0,01); ns: no significativo. C.V.: Coeficiente de variación.

Tabla 7. Análisis funcional de la varianza del rendimiento de rastrojos de frijol (kg ha⁻¹)

Comparación	Promedio	Promedio	Pr > F
C1:	sin CSC 691	con CSC 819	<0,0001**
C2:	Sin ME (sin CSC) 659	Con ME (sin CSC) 724	0,0196*
C3:	Sin ME (con CSC) 803	Con ME (con CSC) 834	0,2112ns

Tabla 8. Incremento relativo de los rendimientos de rastrojos de frijol (%)

Tratamiento	Promedio	Sign. Tukey	Irrr (%)
Con CSC y con ME	834	A	26,67
Con CSC y sin ME	803	A	21,96
Sin CSC y con ME	724	B	9,91
Sin CSC y sin ME	659	B	0

Nota: Letras diferentes indican diferencias significativas según la prueba de Tukey (p < 0,05).

La calidad del CSC, que se obtuvo mediante el uso de levaduras pudo influir significativamente en los rendimientos respecto al testigo, pues, además de su composición química la presencia de flora microbiana benéfica pudo haber contribuido en la solubilización de nutrientes del suelo, los cuales fueron aprovechados por el cultivo.

Según los resultados obtenidos, el cultivo de frijol rojo alcanzó mejores rendimientos debido a la aplicación de ME; sin embargo, más significativa fue la respuesta de este cultivo a la aplicación del CSC. De esta forma, se destacan las bondades de estos abonos respecto a los tratamientos que no recibieron los mismos. Diversos trabajos realizados en cultivos de frijol resaltan la importancia del abonamiento orgánico, como el de Astulla Puca (2019), quien destaca los abonos orgánicos elaborados a partir de la gallinaza, o Inga Sotelo (2023), quien demostró el efecto de abonos orgánicos con presencia de biol. Asimismo, respecto al uso de ME, los trabajos como el de Calero-Hurtado et al. (2018) y Calero-Hurtado et al. (2019) resaltan las bondades de este producto biológico (ME) por sus efectos en parámetros morfológicos y productivos del cultivo de frijol.

En condiciones de la selva central del Perú (Chanchamayo-Junín), García Palacios y Suárez Flores (2024) al utilizar 20 mL de ME por litro de agua obtuvieron 2.849 kg ha⁻¹; con lo que demostraron el efecto positivo de los ME en la producción de frijol canario (*P. vulgaris*). Igualmente, Abreu-Romero et al. (2021), en Cuba al utilizar ME al 5 % alcanzaron una producción de hasta doce vainas por planta respecto al testigo con sólo 5,7 vainas por planta, equivalente al 100 %; en el caso del presente trabajo se consiguió una mejora de 38 % respecto al testigo.

Los resultados encontrados en el presente trabajo corroboran a los encontrados en otras regiones y sugieren que el objetivo principal de la práctica del abonado orgánico en suelos de baja fertilidad en regiones semiáridas es mejorar la fertilidad del suelo para mejorar el rendimiento del cultivo.

CONCLUSIONES

La aplicación de compost local Compuesto San Cristóbal (CSC) y microorganismos eficientes (ME) demostró ser una estrategia efectiva para incrementar significativamente el rendimiento del frijol rojo en condiciones semiáridas de Ayacucho, Perú.

El CSC (4 t ha⁻¹) fue el factor más determinante, incrementando el rendimiento de grano en 73,40% y de rastrojos en 21,96% respecto al testigo. La aplicación de ME (500 L ha⁻¹) también mostró efectos positivos, aunque menores, con incrementos de 37,84% en grano y 9,91% en rastrojos. La combinación sinérgica de ambos insumos potencializó los beneficios, alcanzando incrementos de 109,32% en rendimiento de grano y 26,67% en rastrojos.

Estos resultados validan el uso de abonos orgánicos elaborados con materiales locales como una alternativa viable y sostenible para mejorar la productividad agrícola

en zonas semiáridas bajo condiciones de secano, contribuyendo simultáneamente a la fertilidad del suelo y a la adaptación frente al cambio climático. Se recomienda promover la elaboración y uso del CSC en sistemas de agricultura familiar, aprovechando los residuos orgánicos disponibles en la zona.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo económico de la Universidad de Huamanga. Asimismo, el apoyo del personal técnico del Programa de Investigación en Pastos y Ganadería y del Instituto Nacional de Innovación Agraria merecen especial reconocimiento. Los docentes del área de suelos y los estudiantes de las asignaturas de Fertilidad de suelos y Manejo y conservación de suelos también merecen reconocimiento por su apoyo en la conducción del experimento.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abreu-Romero, A., Urgelles-Cardoza, I., Abreu-Romero, N., Díaz-Rodríguez, A., & Hernández-Gómez, K. (2021). Efecto de los Microorganismos Eficientes (ME) en el crecimiento y desarrollo del cultivo del frijol en condiciones de campo. *Hombre, Ciencia y Tecnología*, 25 (3), 1-8. Disponible en: <http://portal.amelica.org/ameli/jatsRepo/441/4412517011/index.html>
- Astulla Puca, D. A. (2019). *Efecto de abonos orgánicos en el cultivo de Phaseolus vulgaris L. var. Canario en un suelo ácido – Satipo. Universidad Nacional del Centro del Perú*. (Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero en Ciencias Agrarias - Especialidad: Agronomía Tropical). Satipo, Perú: Universidad Nacional del Centro del Perú, Facultad de Ciencias Agrarias. <https://repositorio.uncp.edu.pe/items/108762e5-4689-4bb0-b1e6-962f658fb110>
- Arias Restrepo, J. H., Rengifo Martínez, T. y Jaramillo Carmona, M. (2007). *Buenas prácticas agrícolas en la producción de frijol voluble. Manual Técnico*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación - FAO. <https://www.fao.org/4/a1359s/a1359s00.pdf>
- Ayala-Garay, A., Acosta-Gallegos, J. A., y Reyes-Muro, L. (2021). *El Cultivo del Frijol Presente y Futuro para México*. Celaya: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. https://vun.inifap.gob.mx/VUN_MEDIA/BibliotecaWeb/_media/_librotecnico/12319_5085_El_cultivo_del_frijol_presente_y_futuro_para_M%C3%A9xico.pdf
- Calero-Hurtado, A., Quintero-Rodríguez, E., Olivera-Viciedo, D., Pérez-Díaz, Y., Castro-Lizazo, I., Jiménez, J., y López-Dávila, E. (2018). Respuesta de dos cultivares de frijol común a la aplicación foliar de microorganismos eficientes. *Cultivos Tropicales*, 39(3), 5-10. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362018000300001
- Calero-Hurtado, A., Quintero-Rodríguez, E., Pérez-Díaz,

- A., Olivera-Viciedo, D., Peña-Calzada, K., y Jiménez-Hernández, J. (2019). Efecto entre microorganismos eficientes y fitomas-e en el incremento agroproductivo del frijol. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 17(1), 25-33. <https://revistas.unicauca.edu.co/index.php/biotecnologia/article/view/1201/993>
- García Gutiérrez, C. y Herrán, J. A. F. (2014). *Manual para la producción de abonos orgánicos y biorracionales*. México. Fundación Produce Sinaloa. https://www.ciaorganico.net/documypublic/271_Manual_para_la_produccion_de_abonos_organicos_y_biorracionales.pdf
- García Palacios, M. B., y Suárez Flores, J. P. (2024). *Efecto de niveles de microorganismos eficientes (EM) en el crecimiento de frijol canario (Phaseolus vulgaris. L.) en Chanchamayo*. Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión. (Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Agrónomo). La Merced, Perú: Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, Facultad de Ciencias Agropecuarias. http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/4116/1/T026_45975267_T.pdf
- Holdridge, L. R. (1967). *Life Zone Ecology*. San José, Costa Rica: Tropical Science Center, 206 p. <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/19670604180>
- Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). (2013). *Tecnología de bajo costo: guía de manejo de microorganismos eficientes (ME)*. Managua, Nicaragua: Proyecto Red SICTA, IICA, Cooperación Suiza en América Central, 20 p. <https://bibliotecasemiarios.ufv.br/jspui/bitstream/123456789/392/1/Texto%20completo.pdf>
- Inga Sotelo, M. A. (2023). Efecto del uso de abonos orgánicos en la producción sostenible de frijol caupí (*Vigna unguiculata* L.), en Venado Muerto – Barranca. *QuanTUNAB*, 2(2), e72. <https://revistas.unab.edu.pe/index.php/qunab/article/view/72/81>
- Ministerio del Ambiente (MINAM) (2011). *La Desertificación en el Perú: Cuarta Comunicación Nacional del Perú a la Convención de Lucha contra la Desertificación y la Sequía*. Fondo editorial del MINAM. Lima: Ministerio del Ambiente del Perú. https://www.euroclima.org/images/Publicaciones/Suelos/Peru_4Inf_Desertificacion1.pdf
- Pérez-Borrego, Y., y Robleda-Gómez, D. (2021). Aplicación de Humus de lombriz líquido y Microorganismos Eficientes en el cultivo del frijol (*Phaseolus vulgaris*, L) bajo condiciones de secano. *Hombre, Ciencia y Tecnología*, 25 (2), 102-108. <http://portal.amelica.org/ameli/jatsRepo/441/4412286012/index.html>
- Servicio Nacional de Sanidad (SENASA). (2020) *Guía para la implementación de buenas prácticas agrícolas (BPA) para el cultivo de frijol*. Subdirección de inocuidad agroalimentaria. <https://repositorio.midagri.gob.pe/bitstream/20.500.13036/1687/1/Gu%C3%ADa%20para%20la%20implementaci%C3%B3n%20de%20Buenas%20Pr%C3%A1cticas%20Agr%C3%ADcolas%20Frijol.pdf>
- Tanya Morocho, M., y Leiva-Mora, M. (2019). Microorganismos eficientes, propiedades funcionales y aplicaciones agrícolas. *Centro Agrícola*, 46(2), 93-103. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0253-57852019000200093
- Tineo Bermúdez, A. L. (2012). El Análisis Funcional de la Varianza. Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, AMI impresores, Ayacucho, Perú.
- Vargas, A., Watler, W., Morales, M. y Vignola, R. (2018). *Cultivo del frijol: prácticas efectivas para la reducción de impactos por eventos climáticos en Costa Rica*. <https://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/F01-8160.pdf>