

DESEMPEÑO AGRONÓMICO DE LÍNEAS DE FRIJOL COMÚN (*Phaseolus vulgaris* L.) BAJO ABONAMIENTO ORGÁNICO EN CONDICIONES DE CASA MALLA, CHINCHA, PERÚ

Marcos Camargo-Cobeñas¹, Karen Almidon-Ramirez¹, María Rojas-Meza¹, Leandro Aybar-Peve¹ y José Terán-Rojas¹

RESUMEN

El frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) es un cultivo estratégico por su valor nutricional y su asociación con microorganismos fijadores de nitrógeno, aunque en regiones como Chincha (Perú) los rendimientos permanecen bajos, lo que demanda alternativas de manejo. Se evaluó la respuesta agronómica de las líneas Larán Mejorado y Waf 78/20 a la aplicación de compost y BlackSoil en dosis de 8 y 16 % (p/p), bajo un Diseño en Bloques Completos al Azar (DBCA) con arreglo factorial $2 \times 2 \times 2$ y dos testigos, con cuatro bloques en condiciones de casa malla. Se evaluaron 12 variables agromorfológicas y la densidad aparente del sustrato, analizadas mediante efectos principales e interacciones, pruebas paramétricas y no paramétricas, coeficientes de correlación de Pearson y análisis de componentes principales (ACP). Se obtuvo que el factor genético fue la principal fuente de variación. Larán Mejorado destacó por una respuesta más uniforme, mayor precocidad y mejores componentes de rendimiento, favorecidos por la aplicación de compost; mientras que Waf 78/20 se asoció con mayor crecimiento vegetativo y mayor sensibilidad a cambios en la densidad aparente del sustrato; en esta línea, la aplicación de BlackSoil se relacionó con ciclos fenológicos más prolongados y menor peso de semilla. Los hallazgos evidencian que la genética determina en mayor medida la respuesta al abonamiento orgánico, resaltando la importancia del genotipo en prácticas de manejo; sin embargo, estos resultados deben validarse en condiciones de campo y múltiples ambientes.

Palabras clave adicionales: Compost, física del suelo, genotipo, leguminosas, variabilidad genética

ABSTRACT

Agronomic performance of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) lines under organic fertilization in screenhouse conditions, Chincha, Peru

Common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) is a strategic crop due to its nutritional value and its association with nitrogen-fixing microorganisms; however, in regions such as Chincha (Peru), yields remain low, highlighting the need for improved management alternatives. The agronomic response of the lines Larán Mejorado and Waf 78/20 to the application of compost and BlackSoil at rates of 8 and 16% (w/w) was evaluated under a randomized complete block design (RCBD) with a $2 \times 2 \times 2$ factorial arrangement and two controls, with four replicates under screenhouse conditions. Twelve agromorphological variables and substrate bulk density were evaluated and analyzed through main effects and interactions, parametric and non-parametric tests, Pearson correlation coefficients, and principal component analysis (PCA). The genetic factor was identified as the main source of variation. Larán Mejorado exhibited a more uniform response, earlier development, and improved yield components, favored by compost application. In contrast, Waf 78/20 was associated with greater vegetative growth and higher sensitivity to changes in substrate bulk density; in this line, BlackSoil application was related to longer phenological cycles and lower seed weight. These findings indicate that genetics plays a major role in determining the response to organic amendments, highlighting the importance of genotype in management practices; however, these results should be validated under field conditions and across multiple environments.

Additional keywords: Compost, genetic variability, genotype, legumes, soil physics

Editor Asociado: Dra. Georgina Vargas-Simón

INTRODUCCIÓN

El frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) es una de las leguminosas más importantes a nivel

mundial por su alto valor nutricional con 15-25 % de proteínas, 50-60 % de carbohidratos y 1-3 % de lípidos (Nadeem *et al.*, 2021; Cid *et al.*, 2023). Además, cumple un papel fundamental en la

Recibido: Octubre 1, 2025

Aceptado: Abril 21, 2026

¹Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA). Estación Experimental Agraria Chincha (EEA Chincha). Chincha, Ica, Perú. e-mail: mcamargoco@gmail.com (autor de correspondencia); karenkarinaal4@gmail.com; erojas@inia.gob.pe; laybar@inia.gob.pe; jteran@inia.gob.pe

sostenibilidad agrícola gracias a su capacidad de fijar biológicamente nitrógeno atmosférico, lo que mejora la fertilidad del suelo y reduce la dependencia de fertilizantes sintéticos (Semba *et al.*, 2021; Rodríguez *et al.*, 2024). Su amplia adaptación geográfica y contribución a la seguridad alimentaria lo convierten en un cultivo estratégico, especialmente en países en desarrollo (Farrow y Muthoni, 2020).

La producción mundial de frijol común supera los 28 millones de toneladas anuales, con India y Brasil como principales productores, mientras que en América Latina el rendimiento promedio alcanza apenas 1,2 t·ha⁻¹ (FAO, 2025). En la provincia de Ica, departamento del mismo nombre, se alcanzan 1,8 t·ha⁻¹, superiores al promedio nacional (MIDAGRI, 2024). Sin embargo, en la provincia de Chincha, también del mismo departamento, los rendimientos son menores, con 1,1 t·ha⁻¹ en accesiones y hasta 1,5 t·ha⁻¹ en líneas evaluadas (Aybar *et al.*, 2025a; Aybar *et al.*, 2025b), lo que evidencia la necesidad de implementar prácticas sostenibles que mejoren la productividad local.

En este contexto, la aplicación de abonos orgánicos se perfila como una alternativa viable para disminuir el uso de fertilizantes químicos, conservar la fertilidad del suelo y favorecer la biodiversidad microbiana (Inga, 2023). En frijol común, se ha documentado que el compost y los estiércoles pueden mejorar componentes de rendimiento, aunque la magnitud de la respuesta depende de la dosis y de las condiciones de cultivo (Ali *et al.*, 2023; Núñez *et al.*, 2025).

Entre las fuentes de abonos orgánicos destacan los subproductos de la caña de azúcar (bagazo y ceniza de bagazo) y del etanol (vinaza), que tras un procesamiento adecuado han mostrado efectos positivos en frijol común, mejorando la nodulación radicular, la actividad de la deshidrogenasa, la acumulación de materia seca y la disponibilidad de fósforo, con impactos favorables en la fertilidad y el rendimiento (Abou *et al.*, 2020; Dombinov *et al.*, 2022).

A pesar de estos avances, existe limitada información sobre el efecto de los abonos orgánicos en este cultivo bajo las condiciones controladas en Chincha. Por ello, el presente trabajo tuvo como objetivo determinar la respuesta agronómica de líneas de frijol común a diferentes dosis de abonos orgánicos en condiciones de casa

malla en Chincha, evaluando la influencia del genotipo y su interacción con el abonamiento sobre las variables agronómicas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material vegetal. Se emplearon semillas del Banco de Germoplasma del Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA), Área de Recursos Genéticos de la Estación Experimental Agraria (EEA) de Chincha. Se seleccionaron las líneas Larán Mejorado y WAF 78/20, ambas de grano blanco, hábito de crecimiento indeterminado tipo II y buena adaptación local. El material provenía de la cosecha de noviembre de 2023 y se conservó en cámara fría a 8 °C hasta la siembra.

Caracterización de sustrato y abonos orgánicos. El análisis físico y químico del sustrato y de los abonos orgánicos se realizó en el Laboratorio de Aguas, Suelos y Foliare de la EEA Chincha.

El sustrato presentó una textura franco-arenosa, con pH neutro (7,0) y conductividad eléctrica de 0,13 dS·m⁻¹. El contenido de carbonato de calcio fue de 1,39 %, carbono total de 0,153 %, materia orgánica de 0,09 % y carbono orgánico de 0,054 %. Asimismo, se registró un contenido de nitrógeno de 0,33 %, fósforo disponible de 14,54 ppm y potasio disponible de 743,04 ppm. En cuanto a los cationes intercambiables, predominó el calcio (4,33 meq· 100 g⁻¹), seguido por magnesio (2,29 meq· 100 g⁻¹), potasio (1,91 meq· 100 g⁻¹) y sodio (0,63 meq· 100 g⁻¹).

Se evaluaron dos abonos orgánicos: (i) compost elaborado en la EEA Chincha a partir de estiércoles de vaca y cabra combinados con alfalfa, y (ii) BlackSoil, un producto comercial de la empresa Consumo Export derivado del compostaje de residuos industriales. Entre estos se incluyen subproductos de la caña de azúcar (bagazo, ceniza de bagazo, médula de bagazo y hojarasca de caña) y subproductos del proceso de producción de etanol (cachaza y vinaza). Ambos mostraron estabilidad orgánica, pero diferencias notables en su composición química (Cuadro 1).

Condiciones del área de estudio. El experimento se desarrolló entre octubre de 2024 y febrero de 2025 en la casa malla de Investigación Agrícola de la EEA Chincha (13°27'28" S, 76°08'06" W; 60 msnm), la cual contó con cobertura de malla antiáfidos en paredes y techo,

de forma parabólica, que proporcionó 32 % de sombra. Durante el periodo experimental las precipitaciones fueron mínimas, por lo que su efecto se consideró despreciable. La temperatura

y la humedad relativa fueron los principales factores ambientales, observándose un incremento progresivo de la temperatura y cierta disminución de la humedad hacia el final del ciclo (Cuadro 2).

Cuadro 1. Caracterización física y química de los abonos orgánicos utilizados en el estudio.

Parámetro	Compost	BlackSoil
Color	Marrón oscuro	Gris
pH	6,7	6,5
CE (dS/m)	12,2	6,4
Materia orgánica (%)	39,5	13,5
Nitrógeno total (%)	2,41	0,6
Fósforo (P ₂ O ₅) (%)	2,01	1,65
Potasio (K ₂ O) (%)	1,00	0,80
Calcio (CaO) (%)	5,10	4,03
Magnesio (MgO) (%)	0,97	0,62
Carbono orgánico total (%)	21,93	7,49
C/N	9,10	12,48

Cuadro 2. Datos meteorológicos de referencia del área de estudio durante el periodo de evaluación en Chincha, Perú.

Mes	T promedio mínima (°C)	T promedio máxima (°C)	HR promedio mínima (%)	HR promedio máxima (%)
Octubre, 2024	14,8	21,8	77,4	88,1
Noviembre, 2024	15,3	24,2	77,1	91,1
Diciembre, 2024	17,2	25,6	75,7	85,1
Enero, 2025	18,0	27,2	73,9	85,0
Febrero, 2025	20,7	28,3	74,5	84,4

T: temperatura, HR: humedad relativa.

Fuente: Estación Meteorológica FONAGRO, Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI, 2025).

Diseño e instalación del experimento. Se empleó un diseño de bloques completos al azar con arreglo factorial 2×2×2, considerando tres factores: línea de frijol común (Larán Mejorado y WAF 78/20), tipo de abono (compost y BlackSoil) y dosis (8 y 16 % en peso). Se establecieron ocho tratamientos factoriales y dos testigos sin fertilización (uno por línea), totalizando 10 tratamientos distribuidos en cuatro bloques (40 unidades experimentales). Cada unidad experimental consistió en una maceta con capacidad de 25 L (37,5 cm de diámetro superior, 30,0 cm de diámetro inferior y 29,5 cm de altura) con cuatro plantas.

El sustrato se desinfectó con hipoclorito de sodio al 1 %, la semilla se trató con carboxina + captán (4 g·kg⁻¹), y los abonos se incorporaron antes de la siembra en las dosis establecidas. El riego se realizó de forma manual mediante

regadera, aplicando 3 L de agua por maceta quincenalmente durante los primeros cuatro meses del cultivo, iniciando con el sustrato a capacidad de campo. Durante el ensayo no se registraron plagas ni malezas.

Variables evaluadas. Se evaluaron 12 variables morfoagronómicas, de acuerdo con los descriptores del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) (Muñoz *et al.*, 1993): días a la emergencia, días a la antesis, longitud del tallo principal, longitud de vaina, ancho de vaina, número de vainas por planta, número de semillas por vaina, longitud de semilla, ancho de semilla, número de semillas por planta, peso de 100 semillas y rendimiento estimado por hectárea. Adicionalmente, se registró la densidad aparente, determinada mediante el método del cilindro de volumen conocido (Grossman y Reinsch, 2002).

Análisis estadístico. Se aplicó ANOVA a las variables que cumplieron normalidad de residuos y homogeneidad de varianzas, seguido de la prueba de Tukey ($\alpha=0,05$). En aquellos casos en que los supuestos no se cumplieron se emplearon métodos no paramétricos. Para el análisis factorial se utilizó la Transformación de Rangos Alineados (ART) y para la comparación de medianas la prueba de Kruskal–Wallis seguida de Dunn. Adicionalmente, se calcularon correlaciones de Pearson y se realizó un análisis de componentes principales (ACP). Todos los análisis se efectuaron en R versión 4.5.1 (R Core Team, 2025) y RStudio versión 09.0+387 (Posit Team, 2025).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Efectos principales. La línea de frijol común presentó efectos significativos en la mayoría de las variables evaluadas (Cuadro 3), lo cual era esperable considerando las diferencias genéticas entre los materiales evaluados. Estos resultados confirman la marcada influencia del genotipo sobre rasgos de fenología, morfología y rendimiento, en concordancia con estudios previos que destacan su papel predominante en la expresión de características agronómicas (Prado *et al.*, 2025). Asimismo, se ha reportado que el genotipo explica gran parte de la variabilidad en componentes de rendimiento como número de semillas por vaina (NSV), peso de 100 semillas (PXS) y rendimiento estimado por hectárea

(RDT), incluso por encima de factores ambientales o de manejo (Ligarreto y Pimentel, 2022; Bilate, 2024), lo que respalda los resultados de este estudio.

El tipo de abono y la dosis mostraron efectos significativos sobre la densidad aparente del sustrato (DAS) (Cuadro 3). Esto coincidió con Rayne y Aula (2020), quienes señalaron que la respuesta del suelo a enmiendas orgánicas depende de sus propiedades físicas y químicas, la dosis aplicada, el manejo agronómico y las condiciones ambientales. La influencia positiva observada se atribuye al aporte de materia orgánica e incremento de la porosidad del sustrato (Sisouvanh *et al.*, 2021).

En cuanto a las variables fenológicas, el tipo de abono presentó efectos significativos sobre días a la emergencia (DE) y días a la antesis (DA) (Cuadro 3). Algunos estudios indicaron que los abonos orgánicos pueden acortar los ciclos fenológicos (Jaleta *et al.*, 2025), mientras que otros no reportaron cambios en la floración (Patel *et al.*, 2025). Esto sugiere que el efecto sobre la fenología depende de la interacción entre las condiciones ambientales, el manejo agronómico y el genotipo evaluado.

El ancho de semilla (ACS) también estuvo influido por el tipo de abono, lo que evidenció que factores de manejo pueden influir en atributos tradicionalmente considerados genéticamente estables (Parween, 2019; Pumalpa *et al.*, 2020; Aybar *et al.*, 2025b).

Cuadro 3. Prueba de significancia del efecto de líneas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) y abonado orgánico sobre el desempeño de la planta en condiciones controladas.

Efecto	DE	DA	LTP	LV	AV	NVP	NSV	LGS	ACS	PXS	RDT	NSP	DAS
Ab	***	***		ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	**
Ds	ns	ns		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	**
Lín	**	***	***	**	***	ns	*	***	***	***	***	ns	ns
Ab x Ds	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Ab x Lín	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Ds x Lín	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	*	ns	ns	ns
AbxDsxLín	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

Ab: abono, Ds: dosis, Lín: línea, DE: días a emergencia, DA: días a antesis, LTP: longitud tallo principal, LV: longitud vaina, AV: ancho vaina, nvp: número vainas por planta, NSV: número semillas por vaina, LGS: longitud semilla, ACS: ancho semilla, PXS: peso 100 semillas, RDT: rendimiento, NSP: número semillas por planta, DAS: densidad aparente sustrato. Prueba de ART para DE, DA, LTP, LGS y ACS, y ANOVA para el resto de las variables. ns, *, **, ***: no significativo y significativo para $p \leq 0,05$, 0,01 y 0,001, respectivamente.

Efectos de interacción. El efecto de las interacciones se presenta en el Cuadro 3. El análisis factorial reveló que la interacción línea \times dosis fue significativa para DE, mostrando respuestas diferenciadas entre genotipos (Figura 1a). Aunque no se observaron diferencias significativas entre combinaciones específicas, se evidenció que la interacción línea \times dosis influye en la velocidad de germinación y la emergencia,

complementando los efectos principales observados por la línea y el tipo de abono sobre DE y DA. Esto sugiere que ciertas dosis de materia orgánica pueden potenciar o retrasar la germinación según la línea, posiblemente debido a variaciones en la disponibilidad de nutrientes, la estructura del sustrato y mejora de la retención de agua útil para la planta (Ceritoglu *et al.*, 2021; Shafique *et al.*, 2021).

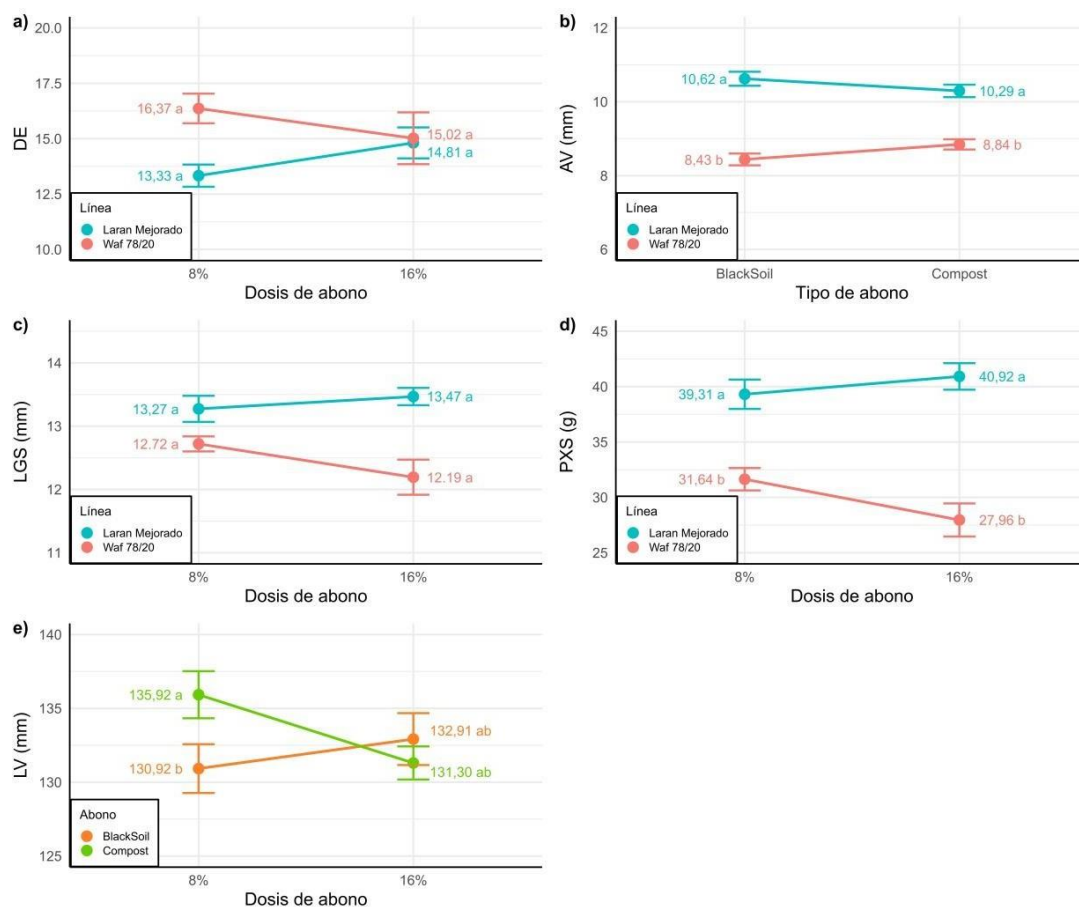


Figura 1. Interacciones detectadas mediante prueba de significancia de efecto de líneas de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) y abonado orgánico sobre variables evaluadas en condiciones controladas. a) Interacción línea \times dosis sobre días a la emergencia (DE), b) Interacción línea \times tipo de abono sobre ancho de vaina (AV), c) Interacción línea \times dosis sobre longitud de semilla (LGS), d) Interacción línea \times dosis sobre peso de 100 semillas (PXS), e) Interacción tipo de abono \times dosis sobre longitud de vaina (LV). Letras diferentes dentro de cada variable indican diferencias significativas entre tratamientos según la prueba de comparación de medias ($p \leq 0,05$).

La interacción abono \times línea mostró un efecto significativo sobre el ancho de la vaina (AV) (Figura 1b); así mismo, hubo efecto de la interacción dosis por línea sobre la longitud de la semilla (LGS) (Figura 1c) y sobre el peso de 100

semillas (PXS) (Figura 1d), mientras que la interacción abono \times dosis afectó la longitud de la vaina (LV) (Figura 1e).

Se detectaron diferencias entre los abonos para las variables de días emergencia (DE) y rendimiento

(RDT), con superioridad del compost sobre el BlackSoil, lo que podría explicarse por la mayor concentración de nutrientes en el compost (Cp) (Cuadro 1), determinadas por la mineralización microbiana y las condiciones del suelo y clima (de Jesus *et al.*, 2024).

Las comparaciones de medias para el peso de 100 semillas (PXS) no evidenciaron diferencias entre dosis dentro de cada línea, manteniéndose Larán Mejorado con valores superiores a Waf 78/20 (Cuadro 4). A pesar de ello, se observó una tendencia opuesta en la respuesta a la dosis, con incrementos en Larán Mejorado y disminución en Waf 78/20 a mayores niveles de abonamiento (Figura 1d), lo que indica un comportamiento diferencial entre líneas frente a las condiciones evaluadas. Este comportamiento confirma que, aunque la LGS depende principalmente del genotipo, el PXS es más sensible a la interacción entre genética y manejo, reflejando el balance entre absorción, transporte y asignación de asimilados (Pumalpa *et al.*, 2020).

Las variables fenológicas DE y DA mostraron respuestas diferenciadas según el tipo y dosis de abono (Cuadro 4). En Larán Mejorado, la aplicación de compost al 8 % redujo los DE, favoreciendo la precocidad, mientras que BlackSoil al 16 % prolongó los DA, evidenciando que esta línea responde mejor a dosis moderadas de compost. En Waf 78/20, el BlackSoil al 8 % incrementó los DE, lo que sugiere que la composición del abono puede modificar la dinámica de nutrientes y retrasar el desarrollo fenológico. Estas respuestas también podrían relacionarse con mayores concentraciones de nitrógeno, que favorecen el crecimiento vegetativo prolongado y retrasan la floración (Elfarisna *et al.*, 2023). Además, dosis moderadas de abonos orgánicos han sido reportadas como favorables para la germinación y desarrollo de plántulas, mientras que dosis elevadas pueden inducir efectos inhibitorios por alteraciones osmóticas y disponibilidad de nutrientes (Ceritoglu *et al.*, 2021).

Las variables morfológicas AV, LGS y ACS mostraron diferencias significativas únicamente entre líneas (Cuadro 4), lo que confirmó que estos caracteres están fuertemente determinados genéticamente, como se observó también en los efectos principales e interacciones (Cuadro 3). No obstante, la LGS puede verse influenciada por condiciones de manejo y

ambiente, especialmente en genotipos con menor heredabilidad (Dhiman *et al.*, 2024). En cuanto a los componentes de rendimiento: número de vainas por planta (NVP), número de semillas por vaina (NSV) y número de semillas por planta (NSP) no se observaron diferencias significativas entre tratamientos (Cuadro 4), lo que coincidió con la limitada influencia del abonamiento orgánico sobre la inducción floral y el cuajado de vainas, etapas reguladas predominantemente por factores fisiológicos y ambientales más que por la disponibilidad inmediata de nutrientes (Geleta *et al.*, 2024).

El RDT mostró tendencias diferenciadas entre líneas (Cuadro 4): en Larán Mejorado, la aplicación de compost al 16 % superó a Waf 78/20 y, por el contrario, en Waf 78/20 los tratamientos con abonos orgánicos no difirieron significativamente de su testigo (T10) y se observó una ligera disminución del rendimiento acompañada de reducción de PXS. Estos resultados evidenciaron una respuesta diferencial de las líneas de frijol común al abonamiento orgánico, lo que resalta la importancia de un manejo adecuado de las dosis para evitar efectos adversos asociados a cambios en la conductividad eléctrica y el pH del sustrato, que pueden afectar la actividad microbiana y la disponibilidad de nutrientes (Ceritoglu y Erman, 2020; Zhang *et al.*, 2020).

No se descarta la posible interacción entre el abonamiento orgánico y la fijación biológica de nitrógeno, debido a que se ha reportado que las enmiendas orgánicas pueden modificar la actividad y estructura de las comunidades microbianas del suelo, incluyendo aquellas involucradas en el ciclo del nitrógeno, así como incrementar la disponibilidad de nutrientes (Ouyang *et al.*, 2022; Liu *et al.*, 2023); sin embargo, este proceso no fue evaluado en el presente estudio.

Análisis de correlaciones según coeficiente de Pearson. El análisis de correlación de Pearson mostró que la aplicación de diferentes dosis de abonos orgánicos generó respuestas diferenciadas en las variables evaluadas según las líneas de frijol común (Figura 2). En la línea Waf 78/20, se identificaron correlaciones negativas de DA con LGS ($r=-0,70^*$), ACS ($r=-0,74^*$), PXS ($r=-0,84^*$) y RDT ($r=-0,62^*$), mientras que en Larán Mejorado solo se observó una correlación negativa de DA con ACS ($r=-0,51$), evidenciando

Camargo *et al.* El frijol común y su respuesta a abonos orgánicos en casa malla

menor sensibilidad a la variabilidad fenológica. Esto coincide con estudios que señalan que una floración tardía puede reducir el tiempo de llenado de grano y exponer a la planta a condiciones

ambientales adversas, como altas temperaturas, limitando la síntesis y translocación de fotoasimilados (Aybar *et al.*, 2025b; Jaleta *et al.*, 2025; Patel *et al.*, 2025).

Cuadro 4. Comparación estadística de tratamientos en variables evaluadas en líneas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) bajo diferentes fuentes y dosis de abonamiento orgánico en condiciones controladas.

Tratamiento	DE	DA	LTP (cm)	LV (mm)	AV (mm)	NVP	NSV
T1 (LM x Cp x 8 %)	12,19 d	43,63 e	81,18 bc	134,03 a	10,45 a	24,63 a	4,21 a
T2 (LM x Cp x 16 %)	13,19 cd	43,88 e	80,66 bc	129,22 a	10,14 ab	23,75 a	3,90 a
T3 (LM x BS x 8 %)	14,48 bcd	46,79 cde	70,79 c	128,15 a	10,57 a	23,13 a	3,71 a
T4 (LM x BS x 16 %)	16,44 ab	48,04 bcd	79,24 bc	130,37 a	10,68 a	21,06 a	3,73 a
T5 (W x Cp x 8 %)	15,23 abc	51,46 ab	120,03 a	137,82 a	8,74 c	20,79 a	4,17 a
T6 (W x Cp x 16 %)	13,96 bcd	50,94 ab	131,73 a	133,38 a	8,95 bc	21,52 a	4,13 a
T7 (W x BS x 8 %)	17,50 a	52,46 a	135,75 a	133,70 a	8,57 c	21,69 a	4,08 a
T8 (W x BS x 16 %)	16,08 ab	55,67 ab	137,03 a	135,47 a	8,31 c	20,90 a	4,47 a
T9 (LM) (Testigo)	14,94 abc	45,29 de	87,37 b	131,15 a	10,29 a	23,31 a	3,88 a
T10 (W) (Testigo)	14,31 bcd	49,96 abc	113,89 a	133,27 a	8,74 c	25,81 a	3,90 a
Promedio	14,80	48,41	103,58	132,63	9,50	22,93	4,02
CV (%)	15,31	9,83	28,26	3,57	10,92	17,64	9,50
ANOVA/Kruskal-Wallis (Significancia)	*	**	***	ns	***	ns	ns

Tratamiento	LGS (mm)	ACS (mm)	NSP	PXS (g)	RDT (kg·ha ⁻¹)	DAS (g·cm ⁻³)
T1 (LM x Cp x 8 %)	13,45 ab	7,29 a	78,19 a	40,89 a	2360,19 ab	1,02 ab
T2 (LM x Cp x 16 %)	13,57 a	7,20 a	80,25 a	41,09 a	2462,96 a	1,01 ab
T3 (LM x BS x 8 %)	13,10 abcd	7,11 ab	73,50 a	37,73 ab	2051,39 ab	1,15 a
T4 (LM x BS x 16 %)	13,37 abc	7,01 ab	68,56 a	40,75 a	2077,31 ab	1,09 ab
T5 (W x Cp x 8 %)	12,82 cde	6,60 cd	64,90 a	33,11 abc	1649,84 ab	1,07 ab
T6 (W x Cp x 16 %)	12,21 e	6,48 cd	67,06 a	28,40 c	1466,20 b	0,99 b
T7 (W x BS x 8 %)	12,63 de	6,42 d	64,88 a	30,17 bc	1512,04 b	1,12 a
T8 (W x BS x 16 %)	12,18 de	6,29 d	68,50 a	27,52 c	1471,45 b	1,04 ab
T9 (LM) (Testigo)	12,95 bcd	6,79 bc	75,56 a	38,35 a	2136,57 ab	1,13 a
T10 (W) (Testigo)	12,75 cde	6,53 cd	79,06 a	33,41 abc	2026,85 ab	1,13 a
Promedio	12,90	6,76	73,38	35,27	1954,86	1,08
CV (%)	4,94	5,91	19,25	16,04	23,81	6,37
ANOVA/Kruskal-Wallis (Significancia)	*	**	ns	***	**	**

LM: Larán Mejorado, W: Waf 78/20, Cp: compost, BS: BlackSoil, SD: desviación estándar, CV: coeficiente de variación, DE: días a emergencia, DA: días a antesis, LTP: longitud tallo principal, LV: longitud vaina, AV: ancho vaina, NVP: número vainas por planta, NSV: número semillas por vaina, LGS: longitud semilla, ACS: ancho semilla, PXS: peso 100 semillas, RDT: rendimiento, NSP: número semillas por planta, DAS: densidad aparente sustrato. Valores con letras diferentes en la misma columna difieren estadísticamente entre sí según la prueba correspondiente. Prueba de Kruskal-Wallis/Dunn para DE, DA, LTP, LGS y ACS, y ANOVA/Tukey para el resto de las variables. ns, *, **, ***: no significativo y significativo para $p \leq 0,05$, 0,01 y 0,001, respectivamente.

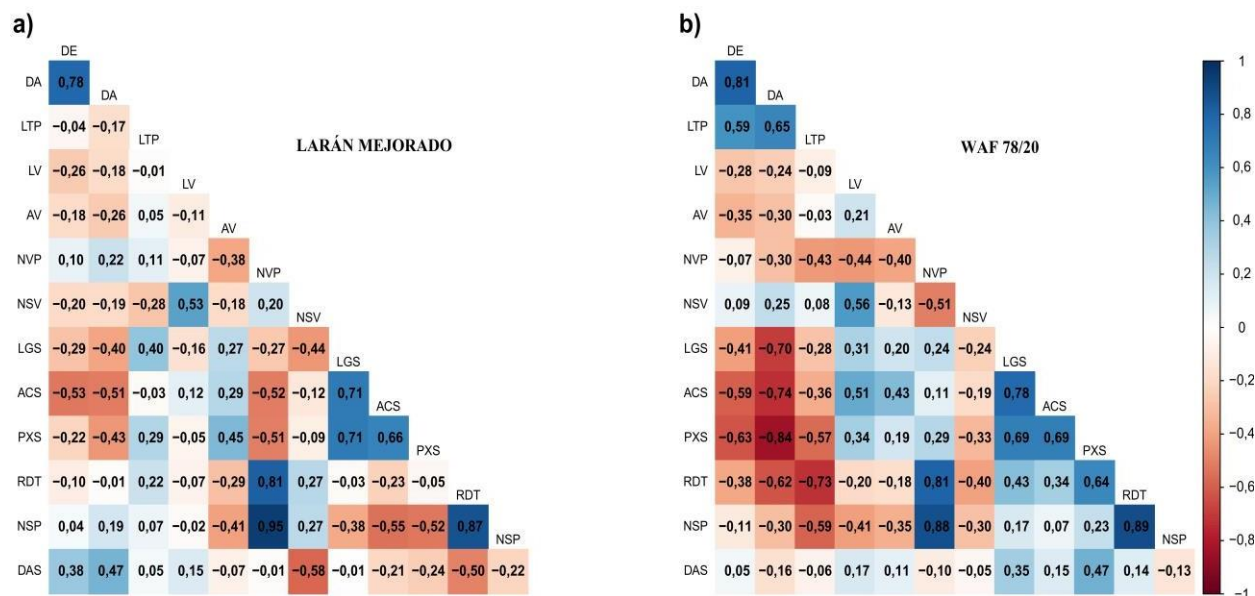


Figura 2. Diagramas de calor de las correlaciones de Pearson entre variables evaluadas según líneas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) a) Larán Mejorado y b) Waf 78/20, con intervalos de confianza del 95 %. DE: días a emergencia, DA: días a antesis, LTP: longitud tallo principal, LV: longitud vaina, AV: ancho vaina, NVP: número vainas por planta, NSV: número semillas por vaina, LGS: longitud semilla, ACS: ancho semilla, PXS: peso 100 semillas, RDT: rendimiento, NSP: número semillas por planta y DAS: densidad aparente sustrato.

Respecto al RDT, ambas líneas de frijol común mostraron mayor asociación con el número de vainas por planta (NVP) (Larán Mejorado: $r = 0,81^*$; Waf 78/20: $r = 0,81^*$), mientras que otras variables relacionadas con el tamaño de vaina o semilla presentaron asociaciones menores. En Waf 78/20, el RDT se correlacionó negativamente con la longitud del tallo principal (LTP) ($r = -0,73^{***}$) y con los días a la antesis (DA) ($r = -0,62^{**}$), lo que sugiere que un mayor crecimiento vegetativo y una floración tardía limitaron la expresión del rendimiento, posiblemente por una redistribución ineficiente de fotoasimilados hacia órganos reproductivos (Elfarisna *et al.*, 2023). En contraste, Larán Mejorado no mostró asociaciones significativas con estas variables.

La DAS presentó correlación negativa con NSV en Larán Mejorado ($r = -0,58^*$), indicando que los mayores valores en la densidad del sustrato estuvieron asociados a menor formación de semillas durante el periodo de evaluación, mientras que en Waf 78/20 se observó correlación positiva con PXS ($r = 0,47^*$), evidenciando mayor sensibilidad de esta línea a

las propiedades físicas del sustrato. Estos hallazgos respaldan lo reportado por Pais *et al.* (2023) y Correa *et al.* (2022), quienes destacan que la respuesta de los componentes de rendimiento a las condiciones físicas del suelo depende del genotipo y su adaptación fisiológica.

Análisis de componentes principales (ACP) El ACP mostró una clara diferenciación entre Larán Mejorado y Waf 78/20, donde la Dim1 explicó el 50,8 % y la Dim2 el 16,3 % de la varianza total (Figura 3). Esta separación confirma respuestas contrastantes frente a los abonos orgánicos y complementa los hallazgos de efectos principales e interacciones, evidenciando que la genética es el principal determinante de la variabilidad observada (Prado *et al.*, 2025; Ligarreto y Pimentel, 2022). Estudios previos señalan que, en genotipos de leguminosas, las dos primeras dimensiones del ACP pueden explicar hasta el 70 % de la varianza, destacando la utilidad de esta herramienta para diferenciar materiales genéticos (Dadther *et al.*, 2024).

En la presente investigación, Larán Mejorado mostró menor dispersión en el espacio

Camargo et al. El frijol común y su respuesta a abonos orgánicos en casa malla

multivariado, representada por una elipse de menor tamaño (Figura 3), lo que refleja un comportamiento más uniforme y consistente en sus respuestas a diferentes dosis y tipos de abonos. Por el contrario, Waf 78/20 mostró una mayor dispersión y se asoció principalmente con variables fenológicas como DE, DA y LTP, indicando que esta línea responde más marcadamente a la interacción entre el genotipo y las condiciones del sustrato, en línea con las correlaciones negativas observadas entre DA y componentes de rendimiento como PXS y AC principalmente con componentes de rendimiento como RDT, LGS, ACS, AV y PXS (Figura 3), en

contraste con Waf 78/20, que presentó una relación opuesta con estas variables y se asoció principalmente con variables fenológicas (DA y DE) y de crecimiento vegetativo (LTP). Esto evidencia un mejor desempeño agronómico de la línea Larán Mejorado bajo las condiciones de abonamiento orgánico evaluadas.

Este hallazgo coincide con investigaciones que señalan que los efectos de los abonos orgánicos sobre variables fenológicas y de rendimiento en leguminosas pueden diferir según el genotipo, las condiciones climáticas y el manejo agronómico, así como por la interacción entre estos factores (Ceritoglu y Erman, 2020).

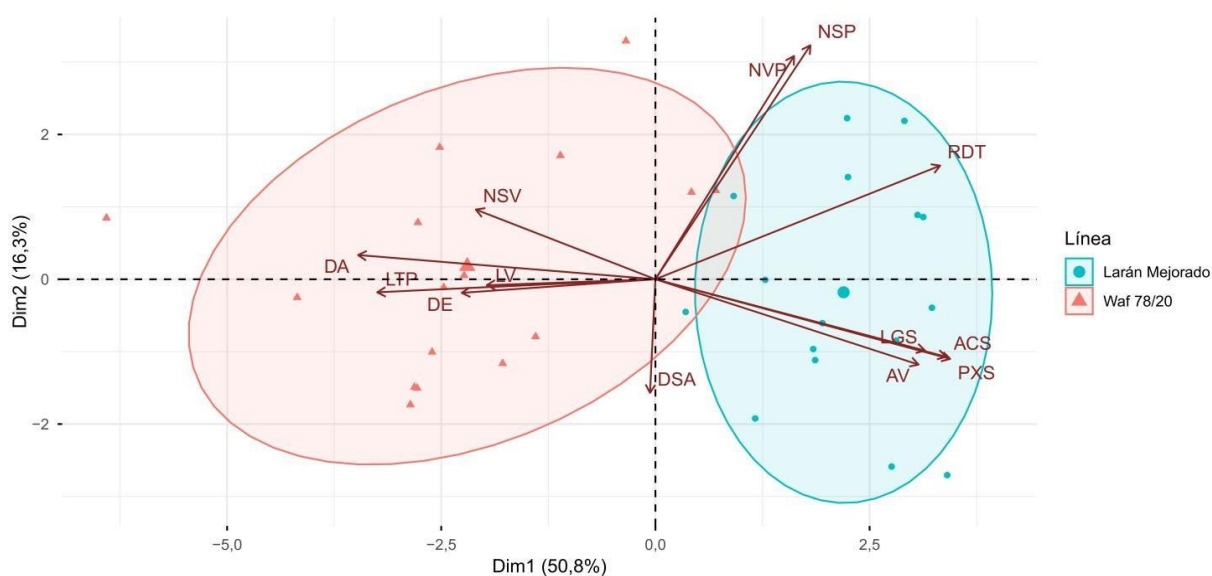


Figura 3. Biplot del análisis de componentes principales (ACP) entre variables evaluadas y la distribución de líneas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en las dos primeras dimensiones, bajo diferentes fuentes y dosis de abonamiento orgánico en condiciones controladas. DE: días a emergencia, DA: días a antesis, LTP: longitud tallo principal, LV: longitud vaina, AV: ancho vaina, NVP: número vainas por planta, NSV: número semillas por vaina, LGS: longitud semilla, ACS: ancho semilla, PXS: peso 100 semillas, RDT: rendimiento, NSP: número semillas por planta y DAS: densidad aparente sustrato.

CONCLUSIONES

El frijol común Larán Mejorado y Waf 78/20 mostraron respuestas contrastantes bajo las condiciones controladas del presente estudio, donde la línea fue la principal fuente de variación en rasgos fenológicos, morfológicos y de rendimiento estimado. Larán Mejorado presentó menor variabilidad en su respuesta y mayor desempeño en componentes de rendimiento

mientras que Waf 78/20 mostró mayor crecimiento vegetativo y una respuesta más variable frente al manejo.

El rendimiento de ambas líneas se asoció principalmente con el número de vainas por planta; sin embargo, en Waf 78/20, mayores valores de días a la antesis y de longitud del tallo principal se asociaron con menores valores de rendimiento, mientras que en Larán Mejorado no

se evidenciaron asociaciones significativas con, estas variables.

Dosis moderadas de compost favorecieron la precocidad y algunos componentes de rendimiento en Larán Mejorado, mientras que la aplicación de BlackSoil en Waf 78/20 se asoció con ciclos fenológicos más prolongados y menores valores de peso de semilla.

Estos resultados evidenciaron diferencias en la respuesta de líneas de frijol común al abonamiento orgánico en las condiciones específicas del estudio; sin embargo, se requieren evaluaciones en múltiples ambientes y condiciones de campo para validar estos resultados y su aplicabilidad.

LITERATURA CITADA

1. Abou-Husssien, E.A., H.M. El-Zemrany y M.B. Hammad. 2020. Effect of vinasses, molasses and mineral fertilization on nodulation and growth of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) grown in sandy reclaimed soils. *Menoufia Journal of Soil Science* 5: 1-17.
2. Ali, A., M.H. Popal y N. Nawabi. 2023. Effects of organic fertilizer on growth and yield of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Agrotech-Food Science, Technology and Environment* 2(2): 37-48.
3. Aybar-Peve, L., N. Medina-Portilla, M. Camargo-Cobeñas, E. Chihuan-Palomino y J. Terán-Rojas. 2025a. Caracterización agromorfológica y diversidad fenotípica de frijol común de Perú. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 28: 069.
4. Aybar-Peve L., R. Cervantes-Zamudio, M. Camargo-Cobeñas, E. Chihuan-Palomino, M. Rojas-Meza y J. Terán-Rojas. 2025b. Fenología, crecimiento y rendimiento de nueve líneas de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) en condiciones agroclimáticas de Chíncha, Perú. *Bioagro* 37(3): 277-288.
5. Bilate-Daemo, B. 2024. Genotype by environment interaction and performance stability of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars grown in Dawuro zone, Southwestern Ethiopia. *Open Agriculture* 9: 20220288.
6. Ceritoglu, M. y M. Erman. 2020. Effect of vermicompost application at different sowing dates on some phenological, agronomic and yield traits in lentil. *Journal of International Environmental Application & Science* 15(3): 158-166.
7. Ceritoglu, M., M. Erman, F. Ceritoglu y H. Bektas. 2021. The response of grain legumes to vermicompost at germination and seedling stages. *Legume Research-An International Journal* 44(8): 936-941.
8. Cid-Gallegos, M.S., Y. de las Mercedes Gómez y Gómez, L.J. Corzo-Ríos, X.M. Sanchez-Chino, D. Moguel-Concha, E. Borges-Martínez y C. Jiménez-Martínez. 2023. Potencial nutricional y bioactivo de frijol (*Phaseolus vulgaris*) en la salud humana. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos* 8: 309-318.
9. Correa, J., J.A. Postma y T. Wojciechowski. 2022. Phenotypic response to soil compaction varies among genotypes and correlates with plant size in sorghum. *Plant Soil* 472: 59-76.
10. Dadther-Huaman, H., T.A. Gambini-de la Cruz, B. Coaquira-Mendoza, D. Garay-Duran, J. Parco-Quinchori, R. Quispe-Castro *et al.* 2024. Caracterización agromorfológica y diversidad fenotípica de la colección de germoplasma de pallar (*Phaseolus lunatus* L.) del INIA, Perú. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 27: 097.
11. de Jesus, H.I., K. Cassity-Duffey, B. Dutta, A.L.B.R. da Silva y T. Coolong. 2024. Influence of soil type and temperature on nitrogen mineralization from organic fertilizers. *Nitrogen* 5: 47-61.
12. Dhiman, A., A. Kumar, R. Sharma, G. Gunjan y K. Rana. 2024. Genetic variability, heritability and genetic advance in French bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes. *International Journal of Research in Agronomy* 7(7): 642-645.
13. Dombinov, V., H. Herzel, M. Meiller, F. Müller, S. Willbold, J.W. Zang *et al.* 2022. Sugarcane bagasse ash as fertilizer for soybeans: Effects of added residues on ash composition, mineralogy, phosphorus

Camargo et al. El frijol común y su respuesta a abonos orgánicos en casa malla

- extractability and plant availability. *Frontiers in Plant Science* 13: 972295.
14. Elfarisna, E., S. Sularsih, A. Sumiahadi, M. Apriyanto, M.I. Pramudi, L. Sandra *et al.* 2023. Effectiveness of compost application in reducing inorganic fertilizer on soybean cultivation. *Innovations in Agriculture* 6: 01-06.
 15. FAO. 2025. FAOSTAT Statistical Database. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome. Disponible en: <https://www.fao.org/faostat>
 16. Farrow, A. y R. Muthoni-Andriatsitohaina (eds.). 2020. Atlas of Common Bean Production in Africa: PanAfrica Bean Research Alliance (PABRA); International Center for Tropical Agriculture (CIAT). Nairobi, Kenya.
 17. Geleta, R.J., A.G. Roro y M.T. Terfa. 2024. Phenotypic and yield responses of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) varieties to different soil moisture levels. *BMC Plant Biology* 24: 242.
 18. Grossman, R.B. y T.G. Reinsch. 2002. Bulk Density and Linear Extensibility. En: J.H. Dane y G.C. Topp (eds.). *Methods of Soil Analysis. Part 4: Physical Methods*. Soil Science Society of America. Madison, Wisconsin.
 19. 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.
 20. Jaleta, G., M. Worku y W. Garedew. 2025. Growth and yield responses of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) to blended fertilizer under hot submoist tropical conditions in southwestern Ethiopia. *Agrosystems, Geosciences & Environment* 8:e70064.
 21. Ligarreto-Moreno, G. y C. Pimentel-Ladino. 2022. Grain yield and genotype × environment interaction in bean cultivars with different growth habits. *Plant Production Science* 25(2): 232-241.
 22. Liu, W., Z. Yang, Q. Ye, Z. Peng, S. Zhu, H.Chen *et al.* 2023. Positive effects of organic amendments on soil microbes and their functionality in agro-ecosystems. *Plants* 12: 3790.
 23. MIDAGRI (Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego). 2024. <https://www.gob.pe/midagri>
 24. Muñoz-Arguedas, G., G. Giraldo-Avila y J. Fernández-de Soto. 1993. *Descriptores varietales: arroz, frijol, maíz, sorgo*. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Cali, Colombia.
 25. Nadeem, M.A., M.Z. Yeken, M.Q. Shahid, E. Habyarimana, H. Yilmaz, A. Alsaleh *et al.* 2021. Common bean as a potential crop for future food security: an overview of past, current and future contributions in genomics, transcriptomics, transgenics and proteomics. *Biotechnology & Biotechnological Equipment* 35(1): 759-787.
 26. Núñez-Ramos, P.A., V. de la Cruz-Contreras, J.F. de la Cruz-Rodríguez, I. Valerio-Then, I. Almonte y V. C. Pulido-Blanco. 2025. Efecto de la fertilización orgánica sobre variables agronómicas del frijol negro (*Phaseolus vulgaris* L.) en la zona El Cercado, provincia Duarte, República Dominicana. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales* 12(1): 47-56.
 27. Ouyang, Y., J.R. Reeve y J.M. Norton. 2022. The quality of organic amendments affects soil microbiome and nitrogen-cycling bacteria in an organic farming system. *Frontiers in Soil Science* 2: 869136.
 28. Pais, I.P., R. Moreira, J.N. Semedo, J.C. Ramalho, F.C. Lidon, J. Coutinho *et al.* 2023. Wheat crop under waterlogging: potential soil and plant effects. *Plants* 12: 149.
 29. Parween, S. 2019. Effect of integrated nutrient management on yield of French bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences* 8(12): 2441-2447.
 30. Patel, V.K., S.V. Singh, C. Patel, A.K. Bhardwaj, A.K. Singh y A. Chaturvedi. 2025. Effects of integrated nutrient management and vermicompost on genotypes of French bean in phenology and yield under Gangetic Plain. *Journal of Advances in Biology & Biotechnology* 28(3): 66-74.

31. Posit Team (2025). RStudio: Integrated Development Environment for R. Posit Software, PBC, Boston, MA. URL <http://www.posit.co/>.
32. Prado-García A.A., J.A. Acosta-Gallegos, V. Montero-Tavera, R. Yáñez-López, J.G. Ramírez-Pimentel y C.L. Aguirre-Mancilla. 2025. Identification of common bean genotypes tolerant to the combined stress of terminal drought and high temperature. *Agronomy* 15: 1624.
33. Pumalpa Meneses, D., H. Cantaro Segura, R. Estrada Cañari y A. Huaranga Joaquín. 2020. Caracterización fenotípica y agronómica de líneas avanzadas de frijol voluble (*Phaseolus vulgaris* L.) resistentes a virus en Perú. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales* 7(1): 7- 20.
34. R Core Team (2025). R, A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>.
35. Rayne, N. y L. Aula. 2020. Livestock manure and the impacts on soil health: a review. *Soil Systems* 4(4): 64.
36. Rodríguez Madrera, R., A. Campa Negrillo y J.J. Ferreira Fernández. 2024. Modulation of the nutritional and functional values of common bean by farming system: organic vs. conventional. *Frontiers in Sustainable Food Systems* 7: 1282427.
37. Semba, R.D., N. Rahman, S. Du, R. Ramsing, V. Sullivan, E. Nussbaumer *et al.* 2021. Patterns of legume purchases and consumption in the United States. *Frontiers in Nutrition* 8: 732237.
38. SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú). 2025. Datos hidrometeorológicos. <https://n9.cl/yky7p>
39. Shafique, I., S. Andleeb, M.S. Aftab, F. Naeem, S. Ali, S. Yahya *et al.* 2021. Efficiency of cow dung based vermicompost on seed germination and plant growth parameters of *Tagetes erectus* (Marigold). *Heliyon* 7: e05895.
40. Sisouvanh, P., V. Trelo-ges, S.I. Na Ayutthaya, A. Pierret, N. Nunan, N. Silvera *et al.* 2021. Can organic amendments improve soil physical characteristics and increase maize performances in contrasting soil water regimes? *Agriculture* 11: 132.
41. Zhang, F., R. Wang, W. Yu, J. Liang y X. Liao. 2020. Influences of a vermicompost application on the phosphorus transformation and microbial activity in a paddy soil. *Soil and Water Research* 15: 1-10.