

FENOLOGÍA, CRECIMIENTO Y RENDIMIENTO DE NUEVE LÍNEAS DE FRIJOL COMÚN (*Phaseolus vulgaris* L.) EN CONDICIONES AGROCLIMÁTICAS DE CHINCHA, PERÚ

Leandro Aybar-Peve¹, Rogelio Cervantes-Zamudio², Marcos Camargo-Cobeñas¹, Evelin Chihuan-Palomino¹, María Rojas-Meza¹ y José Terán-Rojas¹

RESUMEN

El frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) es una de las leguminosas más cultivadas a nivel mundial por su alto valor nutricional y papel en la seguridad alimentaria. En el Perú, su producción en el valle de Chincha es vital para pequeños y medianos agricultores, siendo una fuente clave de ingresos. Sin embargo, su productividad depende de factores agroclimáticos y genéticos. Este estudio evaluó el desempeño de nueve líneas de frijol en el valle de Chincha para identificar materiales con mayor potencial productivo. Se empleó un Diseño en Bloques Completos al Azar (DBCA) con 14 variables evaluadas, aplicándose análisis estadísticos como ANOVA, coeficiente de correlación de Pearson, Análisis de Componentes Principales (ACP) y agrupamiento jerárquico. El ACP explicó el 40 % de la variabilidad total en las dos primeras dimensiones. La primera (23,3 %) estuvo asociada a componentes de rendimiento, mientras que la segunda (16,7 %) se relacionó con la fenología, peso de 100 granos y longitud de vaina. El peso de 100 granos presentó correlación positiva con el largo de vaina ($r=0,80$) y negativa con los días a madurez de cosecha ($r=-0,56$). Can D8120 y Arbolito (clúster A) fueron las líneas más productivas (1402,75 y 1511,00 kg·ha⁻¹), con peso intermedio de 100 granos (49,30-51,70 g). Larán Mejorado (clúster B) destacó por su mayor tamaño de grano y rendimiento intermedio. Estos hallazgos son clave para la selección de líneas con alto potencial productivo y su incorporación en programas de fitomejoramiento.

Palabras clave adicionales: Adaptación de cultivos, diversidad genotípica, rendimiento agrícola, selección de cultivares, variabilidad fenotípica

ABSTRACT

Phenology, growth and yield of nine common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) lines under agroclimatic conditions of chincha, Peru

Common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) is one of the most widely cultivated legumes worldwide due to its high nutritional value and role in food security. In Peru, its production in the Chincha Valley is vital for small and medium-scale farmers, serving as a key source of income. However, its productivity depends on agroclimatic and genetic factors. This study evaluated the performance of nine bean lines in the Chincha Valley to identify materials with greater productive potential. A Randomized Complete Block Design (RCBD) was used, assessing 14 traits through statistical analyses such as ANOVA, Pearson correlation coefficient, Principal Component Analysis (PCA), and hierarchical clustering. The PCA explained 40 % of the total variability in the first two dimensions. The first (23.3 %) was associated with yield components, while the second (16.7 %) was related to phenology, 100-seed weight, and pod length. The 100-seed weight showed a positive correlation with pod length ($r=0.80$) and a negative correlation with days to harvest maturity ($r=-0.56$). Can D8120 and Arbolito (cluster A) were the most productive lines (1402.75 and 1511.00 kg·ha⁻¹), with an intermediate 100-seed weight (49.30-51.70 g). Larán Mejorado (cluster B) stood out for its larger seed size and intermediate yield. These findings are keys for selecting high-yielding lines and incorporating them into breeding programs.

Additional Keywords: Agricultural yield, crop adaptation, cultivar selection, genotypic diversity, phenotypic variability

Editor Asociado: Dra. Marie Tamara González.

INTRODUCCIÓN

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

debido a su alto valor nutricional y su papel fundamental en la seguridad alimentaria, especialmente en América Latina, África y Asia (Farrow y Muthoni, 2020; Long *et al.*, 2020; Vásquez

Recibido: Febrero 12, 2025

Aceptado: Agosto 15, 2025

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

²Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión (UNJFSC). Huacho, Lima, Perú. e-mail: rcervantesj05@gmail.com.

et al., 2024). En Perú, este cultivo posee una gran importancia económica y social, particularmente en el valle de Chíncha, donde representa una fuente clave de ingresos para pequeños y medianos agricultores (Aybar y Luis, 2021).

La productividad del frijol está influenciada por factores agroclimáticos y genéticos, lo que puede afectar su estabilidad y rendimiento en distintas regiones (de Souza *et al.*, 2020; Carrodegua *et al.*, 2021; da Conceição *et al.*, 2022). A ello se suma la limitada disponibilidad de semilla certificada, lo que restringe el acceso a materiales de alto potencial productivo. En este contexto, la caracterización de la diversidad genética del frijol y la evaluación de la adaptabilidad y respuesta productiva de líneas promisorias en zonas productoras son aspectos fundamentales para el desarrollo de estrategias de mejoramiento. Estos estudios permiten identificar materiales con mayor potencial agronómico y contribuyen a la generación de variedades más resilientes ante las variaciones ambientales.

Investigaciones previas han demostrado que características agromorfológicas como los días a la floración, días a la madurez fisiológica, longitud del tallo principal, número de vainas por planta y rendimiento por hectárea están determinados por la interacción entre el material genético y las condiciones ambientales (Mayor *et al.*, 2016; Domínguez *et al.*, 2021; Rodríguez y Sánchez, 2021). La identificación de líneas con mejor desempeño en términos de productividad y estabilidad no solo optimiza el rendimiento del cultivo, sino que también facilita la selección de variedades más adaptadas al cambio climático (Maqueira *et al.*, 2021; Romero *et al.*, 2021).

Perú posee una alta diversidad genética de frijol común (MIDAGRI, 2024), un recurso de gran relevancia ecológica y socioeconómica, especialmente para las familias agricultoras que dependen de su producción. Sin embargo, la información sobre el desempeño agronómico de líneas promisorias en zonas productoras específicas, como el valle de Chíncha, sigue siendo limitada (Mex *et al.*, 2021). La identificación de materiales adaptados es crucial para mejorar la productividad y sostenibilidad del cultivo en estas regiones.

En este contexto, el presente estudio tuvo como objetivo analizar la fenología, el crecimiento y el rendimiento de nueve líneas de frijol común bajo las condiciones agroclimáticas del valle de Chíncha. Los hallazgos contribuirán al desarrollo de estrategias de fitomejoramiento y servirán como referencia para la selección y adopción de materiales con mayor potencial productivo por parte de los agricultores locales.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material vegetal. El material vegetal, constituido de 9 líneas de frijol común, utilizado en el estudio provino del Banco de Germoplasma del Instituto Nacional de Innovación Agraria. De las nueve líneas de frijol común, siete son de origen nacional y dos procedentes de Argentina y Colombia, con hábitos de crecimiento clasificados como determinado tipo I e indeterminado tipo II, según Muñoz *et al.* (1993), todas con amplia aceptación comercial y adaptabilidad en sus respectivas regiones de cultivo. Estas líneas, consideradas promisorias, fueron empleadas para establecer los tratamientos del estudio (Cuadro 1).

Cuadro 1. Tratamientos en estudio y hábito de crecimiento

Tratamientos	Hábito de crecimiento	Origen
Alubia 29	Indeterminado tipo II	Salta, Argentina
Waf 78/20	Indeterminado tipo II	Chíncha, Ica, Perú
Can P113	Determinado tipo I	La Molina, Lima, Perú
Can P69	Determinado tipo I	La Molina, Lima, Perú
Can D8120	Determinado tipo I	La Molina, Lima, Perú
Arbolito	Determinado tipo I	Cundinamarca, Colombia
Can 40	Indeterminado tipo II	La Molina, Lima, Perú
Can 2000	Determinado tipo I	Chíncha, Ica, Perú
Larán Mejorado	Indeterminado tipo II	Chíncha, Ica, Perú

Condiciones del área de estudio. El experimento se realizó entre julio y diciembre de 2016 en el lote 12 de la Estación Experimental Agraria Chincha (13°27'24''S, 76°07'58''W; 62 m.s.n.m.), una zona de clima semiárido con estacionalidad definida, caracterizada por

fluctuaciones en las temperaturas mínimas y máximas a lo largo del año. Durante el periodo de evaluación, la precipitación fue insignificante. Sin embargo, las temperaturas mostraron un incremento progresivo, especialmente en los meses finales del ensayo (Cuadro 2).

Cuadro 2. Datos meteorológicos del área de estudio durante el periodo de evaluación

Mes	Temperatura promedio (°C) (mín – máx)	Humedad relativa promedio (%) (mín – máx)
Julio	14,7 – 21,3	74,2 – 86,4
Agosto	13,7 – 20,4	72,7 – 87,1
Setiembre	13,9 – 20,6	79,2 – 86,3
Octubre	14,6 – 22,0	78,7 – 87,2
Noviembre	14,7 – 22,3	76,3 – 92,6
Diciembre	17,4 – 24,8	78,8 – 85,8

Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI, 2025)

Características del suelo. Previo a la instalación del experimento, se realizó un muestreo de suelo en 10 puntos seleccionados al azar a una profundidad de 20-30 cm. El análisis físico-químico reveló una textura franca, con pH ligeramente alcalino (7,7) y conductividad eléctrica moderada (1,83 mS·cm⁻¹). La materia orgánica fue baja (1 %), al igual que el nitrógeno total (0,05 %) y el fósforo disponible (8 ppm), mientras que el potasio se encontró en niveles adecuados (250 ppm). Entre los cationes intercambiables, predominó el calcio (15,6 meq·100g⁻¹), seguido de magnesio (1,12 meq·100g⁻¹), potasio (0,48 meq·100g⁻¹) y sodio (0,26 meq·100g⁻¹). La capacidad de intercambio catiónico (CIC) fue de 17,5 meq·100g⁻¹.

Diseño experimental. Se empleó un diseño en bloques completamente al azar (DBCA) para reducir la variabilidad experimental asociada a factores edáficos y microclimáticos. Se establecieron cuatro bloques y nueve tratamientos, con unidades experimentales de 34 m², cada una conformada por cuatro surcos con una separación de 0,85 m entre surcos y 0,30 m entre plantas. Para la evaluación de variables, se seleccionaron cinco plantas centrales por unidad experimental. La superficie total por bloque fue de 306 m², con un área experimental total de 1224 m².

Instalación y conducción del experimento. Tras el muestreo de suelo, se preparó el terreno mediante arado, gradeo y surcado, seguido de un riego a capacidad de campo. La semilla fue

desinfectada con Vitavax® (carboxina + captán) a razón de 4 g·kg⁻¹ y sembrada en suelo húmedo. Se aplicó una única fertilización edáfica a los 15 días de la siembra con 70-70-70 kg·ha⁻¹ de N-P₂O₅-K₂O, utilizando sulfato de amonio, fosfato diamónico y sulfato de potasio; esta labor se efectuó de forma localizada con pala recta, seguida de la cobertura inmediata con suelo para favorecer la incorporación de los nutrientes. El riego se realizó por gravedad, con siete aplicaciones según los requerimientos del cultivo. El manejo fitosanitario incluyó el control de plagas como *Liriomyza huidobrensis* y *Crociosema aporema*, mediante insecticidas a base de clorpirifos y cipermetrina a una dosis de 400 ml·200L⁻¹ en ambos casos. La eliminación de malezas se realizó manualmente con pala recta a intervalos mensuales.

Variables evaluadas. Se evaluaron 14 variables de acuerdo con los descriptores del CIAT (Muñoz et al., 1993). Se registraron días a la floración (DF), madurez fisiológica (DMF), cosecha en verde (DCV) y madurez de cosecha (DMC). Se midieron la longitud del tallo principal (LTP), longitud y ancho de vaina (LV y AV), y largo y ancho de grano (LG y AG respectivamente), granos por vaina (GXV), vainas por planta (VXP), peso de 100 granos (PXG), rendimiento de granos por planta (RDP) y rendimiento estimado por hectárea (RDT).

Análisis estadístico. Los datos fueron sometidos a ANOVA para detectar diferencias

significativas en las variables evaluadas entre tratamientos. Se verificó la normalidad de los residuos con la prueba de Shapiro-Wilk y la homocedasticidad con Bartlett. Para la comparación de medias, se utilizó la prueba de Duncan, o en caso de incumplimiento de supuestos estadísticos, la prueba de Kruskal-Wallis. Adicionalmente, se realizó un análisis de correlación de Pearson para evaluar las relaciones entre las variables evaluadas, así como un análisis de componentes principales (ACP) para identificar patrones de variabilidad y agrupar características relacionadas. Para complementar estos análisis, se elaboró un dendrograma de agrupamiento jerárquico, basado en la distancia euclidiana y utilizando el método de Ward, con el fin de visualizar la similitud entre las líneas evaluadas. Todos los análisis fueron realizados en los programas R v.4.4.1 (R Core Team, 2024) y RStudio v.2024.04.2+764 (Posit Team, 2024).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización de líneas promisorias de frijol común. El ANOVA mostró diferencias altamente significativas ($p \leq 0,001$) en las variables fenológicas entre las líneas de frijol común, excepto en los DMF ($p > 0,05$) (Cuadro 3). Los DF variaron entre 47,75 días en Can P69 (línea más precoz) y 52,25 días en Arbolito (más tardía), lo que refleja la diversidad genética de las líneas y su adaptación a las condiciones agroclimáticas del valle de Chíncha, caracterizado por baja precipitación y alta radiación solar.

Las líneas Arbolito y Can 2000, de hábito determinado, presentaron DF más largos (Cuadro 3), en contraste con estudios realizados en México, donde el único cultivar con el mismo hábito de crecimiento mostró mayor precocidad, alcanzando la floración a los 39 días (da Conceição *et al.*, 2022). Esta discrepancia podría estar influenciada por factores como la sensibilidad al fotoperiodo o el estrés térmico debido al incremento de la temperatura, lo que podría inducir una floración más temprana en determinados genotipos (Anaya *et al.*, 2022). Guamán *et al.* (2020) sostienen que el estrés generado por variaciones en temperatura y humedad bajo condiciones de sequía puede alterar el desarrollo fisiológico, afectando directamente la

fenología del cultivo. En este contexto, Larán Mejorado y Can P69, al presentar ciclos cortos, se perfilan como alternativas favorables para los productores locales, ya que optimizan el uso de los recursos hídricos y reducen el riesgo de exposición a condiciones climáticas adversas en las etapas finales del cultivo, logrando rendimientos intermedios (1101,25 y 1239,00 kg·ha⁻¹ respectivamente) (Cuadro 3).

Can 2000 alcanzó los valores más altos en DCV (99,25 días) y DMC (131,00 días), mientras que Can 40 registró los más bajos (85,00 y 116,50 días, respectivamente) (Cuadro 3). A pesar de que los ciclos fenológicos más largos suelen favorecer la acumulación de biomasa y potencialmente el rendimiento (Aybar y Luis, 2021), en este estudio no se observó dicha tendencia. Aunque todas las líneas se cultivaron bajo las mismas condiciones climáticas y de manejo, estas no necesariamente fueron óptimas para cada genotipo, lo que pudo provocar estrés por exceso o déficit de factores como la temperatura y el requerimiento de agua durante etapas críticas de su desarrollo. Según Maqueira *et al.* 2021, el estrés térmico e hídrico reduce la eficiencia en la conversión de biomasa en rendimiento en el cultivo de frijol común.

La LTP presentó diferencias significativas entre tratamientos, oscilando entre 39,00 y 45,83 cm (Cuadro 3). Este crecimiento diferencial está relacionado con el hábito de crecimiento y la capacidad de captación de luz (Aleman y Calero, 2022). Estudios previos han señalado que una mayor LTP en frijol común puede representar una ventaja en ambientes con alta radiación solar y competencia por recursos (Villalobos *et al.*, 2016; Maqueira *et al.*, 2021). Sin embargo, en este estudio no se observó una relación clara entre la LTP y el RDT, las líneas Alubia 29, Waf 78/20 y Can D8120 mostraron los menores valores de LTP, mientras que Can 40 y Can 2000 registraron los mayores (Cuadro 3). Sin embargo, no se observó una relación clara entre LTP y rendimiento, ya que algunas líneas de menor talla obtuvieron rendimientos competitivos, mientras que líneas más altas no necesariamente produjeron más grano. Estos resultados sugieren que la LTP, por sí sola, no es un rasgo determinante para la selección de líneas productivas en las condiciones agroclimáticas de Chíncha.

Aybar et al. Fenología, crecimiento y rendimiento de líneas de *Phaseolus vulgaris* L.**Cuadro 3.** Resultados de variables evaluadas en líneas promisorias de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.).

Tratamiento	DF	DCV	LTP (cm)	LV (cm)	AV (mm)	GXV	LG (mm)
Can P69	47,75 a	88,25 ab	42,90 ab	11,21 b	13,53 a	5,10 ab	11,28 a
Larán Mejorado	48,00 a	85,00 a	45,40 a	14,23 a	14,05 a	4,45 bc	11,58 a
Can 40	48,25 ab	85,00 a	45,83 a	11,80 b	13,88 a	5,70 a	12,38 a
Can D8120	49,25 abc	91,25 ab	40,43 bc	11,48 b	14,88 a	4,00 c	13,75 a
Alubia 29	50,25 bcd	85,00 a	39,00 c	14,92 a	13,90 a	3,95 c	12,30 a
Can P113	50,25 bcd	91,25 ab	45,65 a	11,61 b	13,30 a	5,00 ab	12,25 a
Waf 78/20	50,75 cd	87,00 a	41,25 bc	14,33 a	14,58 a	4,05 c	12,15 a
Can 2000	51,50 d	99,25 c	45,83 a	11,83 b	14,58 a	4,40 bc	11,80 a
Arbolito	52,25 d	93,75 ab	43,60 ab	12,03 b	15,00 a	5,15 ab	13,28 a
Promedio	49,81	89,53	43,32	12,60	14,19	4,64	12,31
SD	2,01	5,75	3,29	1,73	1,03	0,74	1,69
CV (%)	4,04	6,42	7,59	13,71	7,26	15,95	13,74
Shapiro – Wilk (<i>p</i> - value)	0,6666	0,3	0,7103	0,7141	0,3215	0,3061	0,5021
Bartlett's test (<i>p</i> - value)	0,82	2,20E-16	0,4849	0,6765	2,20E-16	0,9292	0,04172
ANOVA (<i>significancia</i>)	***	***	**	***	ns	***	ns
	AG (mm)	DMF	DMC	VXP	PXG (g)	RDP (g)	RDT (kg.ha ⁻¹)
Waf 78/20	6,55 a	116,00 a	116,00 a	9,80 a	61,40 a	8,35 a	958,25 b
Can 40	6,68 a	119,25 a	116,50 a	6,35 b	49,50 b	7,14 a	860,50 b
Alubia 29	6,73 a	119,5 a	116,75 a	9,40 a	63,10 a	8,62 a	923,50 b
Larán Mejorado	6,23 a	116,25 a	118,50 a	9,20 a	59,60 a	9,85 a	1101,25 ab
Arbolito	6,50 a	113,25 a	121,75 b	9,55 a	51,70 b	12,39 a	1511,00 a
Can D8120	7,45 a	115,75 a	121,75 b	11,00 a	49,30 b	11,68 a	1402,75 ab
Can P69	6,38 a	112,00 a	122,25 b	8,00 ab	51,55 b	10,04 a	1239,00 ab
Can P113	6,43 a	116,75 a	123,50 b	10,15 a	50,10 b	10,14 a	1053,50 ab
Can 2000	5,98 a	118,00 a	131,00 c	10,85 a	49,70 b	8,55 a	986,75 b
Promedio	6,54	116,31	120,89	9,37	53,99	9,64	1115,17
SD	0,87	5,88	4,84	2,10	5,94	3,22	370,10
CV (%)	13,32	5,06	4,00	22,46	11,01	33,37	33,19
Shapiro - Wilk (<i>p</i> - value)	0,1428	0,7596	0,3561	0,655	0,5582	0,5465	0,274
Bartlett's test (<i>p</i> - value)	0,8578	0,417	0,7561	0,5373	0,9854	0,4811	0,03563
ANOVA (<i>significancia</i>)	ns	ns	***	*	***	ns	*

Nota: Los valores dentro de cada columna seguidos por la misma letra no presentan diferencias significativas según la prueba de Duncan ($p \leq 0,05$) o Kruskal-Wallis (aplicada en DCV, AV y RDT debido a la falta de homocedasticidad). Se considera: ns (no significativo, $p > 0,05$), * ($p \leq 0,05$), ** ($p \leq 0,01$) y **** ($p \leq 0,001$). CV: coeficiente de variación. DF: días a la floración, DMF: días a la madurez fisiológica, DCV: días a la cosecha en verde, DMC: días a la madurez de cosecha, LTP: longitud del tallo principal, LV: longitud de vaina, AV: ancho de vaina, LG: longitud de grano, AG: ancho de grano, GXV: granos por vaina, VXP: vainas por planta, PXG: peso de 100 granos, RDP: rendimiento de granos por planta y RDT: rendimiento estimado por hectárea.

La LV fue mayor en Alubia 29 (14,92 cm), Waf 78/20 (14,33 cm) y Larán Mejorado (14,23

cm) (Cuadro 3), mientras que el AV no mostró diferencias significativas ($p > 0,05$), con un

promedio de 14,19 mm. Estudios previos han sugerido que vainas más largas pueden contener más granos (Ribeiro *et al.*, 2019; Hawkins *et al.*, 2022). Sin embargo, en este estudio se hallaron diferencias significativas en los GXV ($p \leq 0,001$) y se encontró una correlación negativa entre la LV y GXV (Figura 4), lo que podría estar relacionado con la estrategia de asignación de fotoasimilados en estas líneas (Romero *et al.*, 2021).

Los granos de las líneas de frijol común mostraron tamaños semejantes (Figura 1) sin presentar diferencias significativas ($p > 0,05$). La LG con valores entre 11,28 mm en Can P69 y 13,75 mm en Can D8120 (Cuadro 3). De manera similar, el AG mostró un promedio de 6,54 mm, con valores entre 5,98 mm en Can 2000 y 7,45 mm en Can D8120. Pumalpa *et al.* (2020), señalaron que el tamaño del grano está determinado principalmente por factores genéticos; sin embargo, estudios previos han reportado mayor variabilidad en el tamaño del grano en frijoles nativos de Costa Rica, lo que evidencia que el ambiente y el manejo agronómico también pueden influir en esta característica (Oreamuno *et al.*, 2023).



Figura 1. Granos de las líneas de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) evaluadas en el estudio.

La caracterización permitió diferenciar el comportamiento fenológico, de crecimiento y productivo de las líneas evaluadas. Si bien el diseño experimental empleado (DBCA) minimiza

la variabilidad dentro del ensayo y permite obtener estimaciones confiables del comportamiento de las líneas en el ámbito de estudio (Baque y Martínez, 2021), este estudio se realizó en una única campaña productiva. Por ello, no es posible confirmar la estabilidad productiva de las líneas a largo plazo, ya que la variabilidad interanual puede afectar significativamente la expresión fenotípica y el rendimiento (Carrodeguas *et al.*, 2021).

Análisis de componentes principales (ACP).

La distribución de las líneas de frijol común en función de los dos primeros componentes principales (Figura 2) revela patrones claros de variabilidad dentro de la población evaluada. Se observa que las líneas Alubia 29, Larán Mejorado y Waf 78/20 presentan una menor dispersión a lo largo de los ejes principales y se agrupan en proximidad, mostrando una mayor similitud fenotípica. En contraste, las líneas pertenecientes a los grupos Arbolito y Canarios (Can) exhiben una mayor dispersión y menor proximidad entre sí, lo que evidencia una mayor diversidad genética dentro de estos materiales. Esta variabilidad estaría influenciada por la interacción genotipo-ambiente, diferencias en la arquitectura de la planta y estrategias de adaptación a las condiciones agroclimáticas del ámbito de estudio (Maqueira *et al.*, 2021).

El ACP muestra que las dimensiones 1 y 2 (Dim1 y Dim2, respectivamente) explican conjuntamente el 40 % de la variabilidad total (Figura 3a). Dim1 (23,3 %) está asociada principalmente con variables de rendimiento como VXP, RDP y RDT, relacionándola directamente con la productividad. Por otro lado, Dim2 (16,7 %) está determinada por variables fenológicas como los DCV y los DMC, así como por variables morfológicas como la LV y de rendimiento como el PXG. Estudios previos han reportado que los dos primeros componentes pueden explicar entre el 24 % y 70 % de la variabilidad en frijol común, con la Dim1 generalmente asociada a fenología y crecimiento, y Dim2 a variables reproductivas y productivas (Long *et al.*, 2020; Dadther *et al.*, 2024).

La sedimentación (Figura 3b) muestra que los cuatro primeros componentes explican el 68 % de la variabilidad total. La incorporación de Dim3

(15,9 %) y Dim4 (12,1 %) permite una caracterización más precisa de la variabilidad observada, posiblemente vinculada a diferencias en el crecimiento vegetativo y la eficiencia en la formación de estructuras reproductivas. Estos resultados coinciden con investigaciones previas en germoplasma de frijol común, donde se ha demostrado que la variabilidad genética está influenciada por un conjunto de atributos fenológicos, morfológicos y de rendimiento, reflejando la interacción genotipo-ambiente en los materiales evaluados (Lamz *et al.*, 2023), lo que justifica la inclusión de hasta la Dim4 para una mejor explicación a la varianza total (Long *et al.*, 2020).

La correlación entre PXG y Dim2 (Figura 3a) muestra que el peso del grano es un rasgo altamente dependiente del ciclo fenológico de la planta. En contraste, las variables de rendimiento (RDT y RDP) están más alineadas con Dim1, lo que permite inferir que la productividad está menos influenciada por la duración del ciclo y más relacionada con la capacidad de formación de estructuras reproductivas. En este sentido, Larán Mejorado resalta por la combinación de precocidad con altos valores de PXG y RDT intermedio, colocándola como una línea clave para mejorar la competitividad del cultivo en mercados especializados.

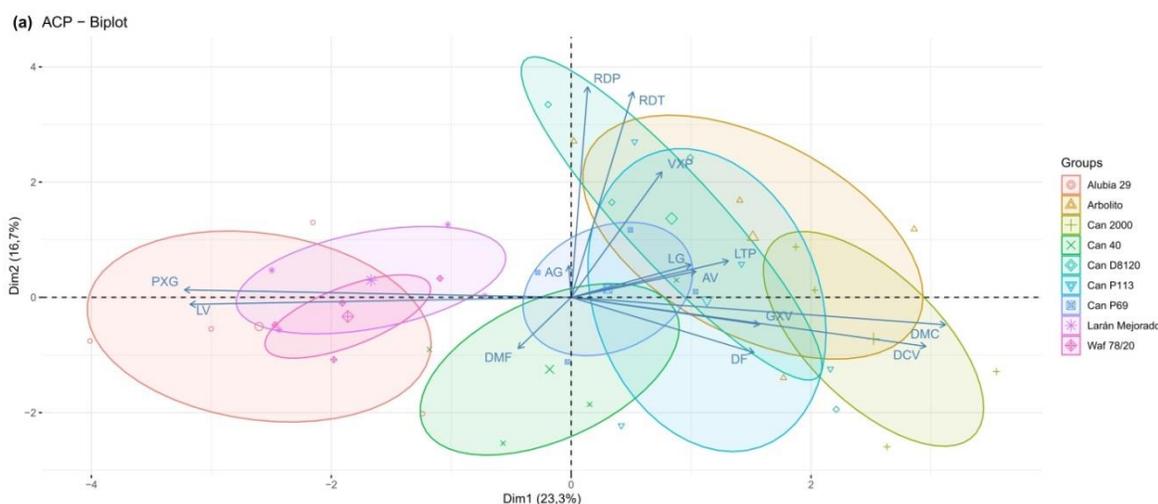


Figura 2. ACP, Distribución espacial de las líneas de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) en las dos primeras dimensiones. DF: días a la floración, DMF: días a la madurez fisiológica, DCV: días a la cosecha en verde, DMC: días a la madurez de cosecha, LTP: longitud del tallo principal, LV: longitud de vaina, AV: ancho de vaina, LG: longitud de grano, AG: ancho de grano, GXV: granos por vaina, VXP: vainas por planta, PXG: peso de 100 granos, RDP: rendimiento de granos por planta y RDT: rendimiento estimado por hectárea.

Coefficiente de correlación de Pearson. La LV mostró una correlación positiva muy fuerte con el PXG ($r=0,80$; $p\leq 0,001$) y moderada y negativa con el GXV ($r=-0,50$; $p\leq 0,01$) y los DMC ($r=-0,53$; $p\leq 0,001$) (Figura 4), lo que sugiere que vainas más largas contienen menos GXV, pero con mayor PXG, y alcanzan la madurez en menor tiempo. Sin embargo, Vásquez *et al.* (2024) reportaron una relación positiva entre la LV y el GXV en accesiones de Amazonas, Perú, aunque también coincidieron en la correlación negativa entre la LV y los DMC. Estas variaciones podrían estar influenciadas por condiciones ambientales que afectan la fenología

del cultivo y la redistribución de recursos hacia las estructuras reproductivas.

Se observó una correlación positiva muy fuerte entre el RDP y el RDT ($r=0,94$; $p\leq 0,001$), evidenciando que un mayor rendimiento individual por planta contribuye significativamente a la producción total por hectárea. Sin embargo, esta relación está influenciada por la densidad de siembra, ya que mayores densidades pueden incrementar el rendimiento por unidad de superficie a expensas del crecimiento individual de las plantas, mientras que densidades más bajas favorecen el desarrollo individual pero reducen la eficiencia en el uso del espacio (Calero *et al.*, 2018).

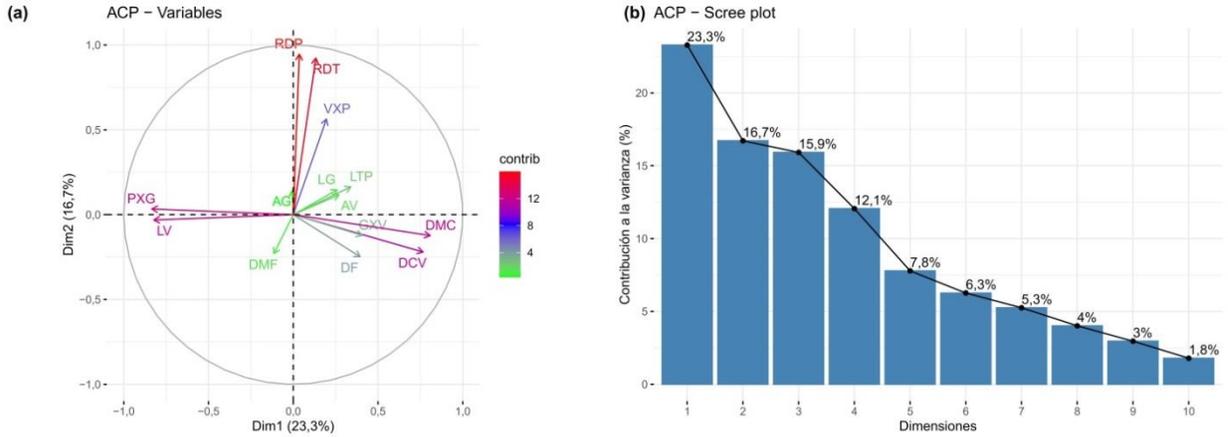


Figura 3. ACP, (a) Contribución de las variables evaluadas a la varianza total en Dim1 y Dim2, y (b) Proporción de la varianza explicada por cada componente principal. DF: días a la floración, DMF: días a la madurez fisiológica, DCV: días a la cosecha en verde, DMC: días a la madurez de cosecha, LTP: longitud del tallo principal, LV: longitud de vaina, AV: ancho de vaina, LG: longitud de grano, AG: ancho de grano, GXV: granos por vaina, VXP: vainas por planta, PXG: peso de 100 granos, RDP: rendimiento de granos por planta y RDT: rendimiento estimado por hectárea.

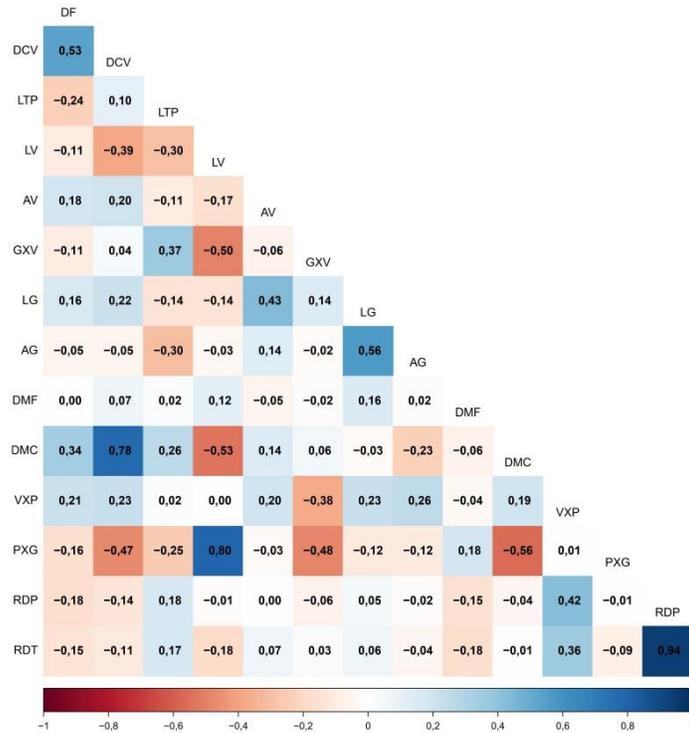


Figura 4. Diagrama de calor de las correlaciones de Pearson entre las variables fenológicas, de crecimiento y rendimiento en nueve líneas de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.), con intervalos de confianza del 95 %. DF: días a la floración, DMF: días a la madurez fisiológica, DCV: días a la cosecha en verde, DMC: días a la madurez de cosecha, LTP: longitud del tallo principal, LV: longitud de vaina, AV: ancho de vaina, LG: longitud de grano, AG: ancho de grano, GXV: granos por vaina, VXP: vainas por planta, PXG: peso de 100 granos, RDP: rendimiento de granos por planta y RDT: rendimiento estimado por hectárea.

El PXG presentó correlaciones moderadas y negativas con los DCV ($r=-0,47$; $p\leq 0,01$), el GXV ($r=-0,48$; $p\leq 0,01$) y los DMC ($r=-0,56$; $p\leq 0,001$) (Figura 3), lo que indica que las líneas con mayor peso de grano tienden a exhibir ciclos fenológicos cortos y menor cantidad de granos por vaina, lo que representa una ventaja en términos de calidad comercial. Estudios previos han señalado que el peso del grano está influenciado tanto por factores genéticos como ambientales, y que una reducción en la duración del ciclo fenológico puede optimizar la acumulación de fotoasimilados en menos

tiempo sin comprometer la calidad del grano (Maqueira *et al.*, 2021). Además, se ha reportado que cultivares con menor GXV suelen presentar mayor PXG, lo que es indicativo de una estrategia de compensación en la asignación de recursos (Rodríguez *et al.*, 2015; Romero *et al.*, 2021).

Agrupamiento jerárquico. El análisis de agrupamiento jerárquico clasificó las líneas de frijol en tres grupos (A, B y C) en función de su similitud fenotípica, utilizando la distancia euclidiana y el método de Ward (Figura 5).

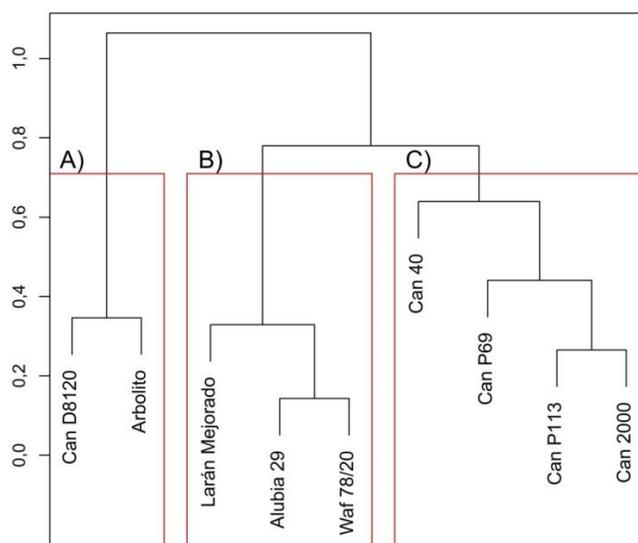


Figura 5. Dendrograma de agrupamiento jerárquico de líneas de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) basado en variables de fenología, crecimiento y rendimiento, utilizando distancia euclidiana y el método de Ward.

El clúster A agrupó las líneas con mayor RDT y mayor tamaño de grano, características clave para la selección de materiales promisorios en el valle de Chíncha. Can D8120 y Arbolito se caracterizaron por su mayor número de días a la madurez de cosecha, lo que respalda la necesidad de un período prolongado para el llenado de grano, favoreciendo la acumulación de biomasa y el aumento en el PXG (Rosales *et al.*, 2019). La duración del ciclo fenológico puede influir en la acumulación de materia seca y, en algunos casos, en el rendimiento final en frijol común (Domínguez *et al.*, 2021). Sin embargo, su impacto varía según las condiciones agroclimáticas y la eficiencia en la conversión de biomasa en grano.

El clúster B agrupó líneas con un equilibrio entre RDT y calidad comercial, aunque su rendimiento fue intermedio, presentaron granos de mayor tamaño, lo que les otorga un alto valor en mercados que priorizan granos grandes (Morales *et al.*, 2019). Entre estas líneas, Larán Mejorado destacó por su elevado PXG y un RDT intermedio. Se ha reportado que el peso del grano está estrechamente ligado a la acumulación de fotoasimilados en etapas tardías del desarrollo, siendo influenciado tanto por la genética como por el manejo agronómico (da Conceição *et al.*, 2022).

El clúster C, conformado únicamente por líneas de frijol Canario, presentó un RDT aceptable, pero con el mayor número de DMC, lo que demuestra un equilibrio entre rendimiento y

adaptación a las condiciones agroclimáticas de Chincha. No obstante, su potencial productivo fue inferior al del clúster A. Si bien un ciclo fenológico prolongado puede favorecer la productividad en ciertos ambientes (Tosquy *et al.*, 2018), en este estudio las líneas del clúster C no alcanzaron el rendimiento del clúster A. Esto indica que, además de la duración del ciclo, factores como la eficiencia en la conversión de biomasa en grano y la capacidad fotosintética pueden ser determinantes en la productividad final.

Otras investigaciones han determinado que los grupos formados en los dendrogramas están influenciados principalmente por la variabilidad en los ciclos fenológicos, como los días a la floración, y en los componentes de rendimiento, especialmente aquellos relacionados al grano (Dadther *et al.*, 2024; Vásquez *et al.*, 2024).

CONCLUSIONES

Existen diferencias significativas en la fenología, el crecimiento y el rendimiento de nueve líneas de frijol común en el valle de Chincha.

La longitud del tallo principal no representa una variable determinante en las líneas estudiadas ya que no mostraron una relación consistente con el rendimiento. Sin embargo, la precocidad y la eficiencia en la formación de estructuras reproductivas sí resultaron decisivas en el desempeño productivo de las líneas evaluadas. Se observó que el peso de 100 granos presentó una relación negativa con los días a la madurez de cosecha, lo que indica que líneas más precoces pueden producir granos de mayor peso, favoreciendo su aceptación comercial.

Can D8120 y Arbolito mostraron mayor rendimiento, mientras que Larán Mejorado destacó por su mayor peso de granos y rendimiento intermedio. Estas tres líneas se perfilan como materiales promisorios para programas de fitomejoramiento y su adopción por productores locales.

Dado que el estudio se realizó en una única campaña productiva, es necesario validar estos hallazgos en múltiples ciclos agrícolas para confirmar la estabilidad productiva a largo plazo de las líneas evaluadas.

LITERATURA CITADA

1. Alemán-Martínez, M. y L.A., Calero-Narváez. 2022. Fertilización orgánica y sintética en el crecimiento y rendimiento de frijol (*Phaseolus vulgaris* L) en Masatepe, Masaya 2021 [Tesis de grado, Universidad Nacional Agraria]. Repositorio Institucional Universidad Nacional Agraria. <https://repositorio.una.edu.ni/4536/>
2. Anaya-López J.L., L.M. Rojas-Tovar, H.C. Cisneros-López y J.A. Acosta-Gallegos. 2022. Rendimiento e índice de cosecha de germoplasma de frijol Pinto y Flor de Mayo bajo estrés por temperatura alta. *Revista Fitotecnia Mexicana* 45(1): 33-41.
3. Aybar, L. y D.B. Luis. 2021. Evaluación agronómica de seis genotipos de frijol canario en condiciones del valle de Chincha, Ica, Perú. *Peruvian Agricultural Research* 3(1): 18-22.
4. Baque, W.A. y M.S. Martínez. 2021. Diseño experimental aplicado a ciencias agrarias y comerciales. Biblioteca Colloquium. Guayaquil, Ecuador.
5. Calero-Hurtado, A., Y. Castillo, E. Quintero, Y. Pérez y D. Olivera. 2018. Efecto de cuatro densidades de siembra en el rendimiento agrícola del frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.). *Revista Facultad de Ciencias* 7(1): 88-100.
6. Carrodegua-Díaz, S., Y. Santana-Baños y A. Linares-Camejo. 2021. Rendimiento de cultivares de frijol común en dos localidades de Pinar del Río. *Avances* 23(4): 397-404.
7. da Conceição-dos Santos, L.F., E. Ruiz-Sánchez y J.J. Jiménez-Osornio. 2022. Caracterización agro-morfológica de 20 cultivares de frijol caupí (*Vigna unguiculata* [L.] Walp.) en Yucatán, México. *Acta Universitaria* 32: e3216.
8. Dadther-Huaman, H., T.A. Gambini-de la Cruz, B. Coaquira-Mendoza, D. Garay-Duran, J. Parco-Quinchori, R. Quispe-Castro, L. Aybar-Peve *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.
9. de Souza Lima, A.L., J.A. dos Santos Silva, C.M. Giroletta dos Santos y D. Prevedel Capristo. 2020. Agronomic performance of common bean lines and cultivars in the Cerrado/Pantanal ecotone region. *Research, Society and Development* 9(7): e3669743666.
 10. Domínguez-Suárez, A., R. Darias Rodríguez, Y. Martínez Dávalos, M. Sosa del Castillo y D. Sosa del Castillo. 2021. Selección de variedades de frijol común rojo (*Phaseolus vulgaris* L.), tolerantes a la sequía en diferentes condiciones de riego en campo. *Revista Bionatura* 6(1): 1473-1480.
 11. Farrow, A. y R. Muthoni-Andriatsitohaina (eds.). 2020. Atlas of common bean production in Africa: Second Edition. Pan-Africa Bean Research Alliance (PABRA); International Center for Tropical Agriculture (CIAT). Nairobi, Kenya.
 12. Guamán R.N., T.X. Desiderio-Vera, A.F. Villavicencio-Abril, S.M. Ulloa-Cortázar y E. J. Romero-Salguero. 2020. Adaptabilidad de cuatro variedades de fréjol (*Phaseolus vulgaris* L.) en la parroquia Luz de América-Ecuador. *Siembra* 7(1): 001-011.
 13. Hawkins-Martínez, J.J., A.N. Ortiz-Aragón y R.C. Larios-González. 2022. Siembra a doble surco y surco sencillo y su efecto en el rendimiento de semilla de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.). *La Calera* 22(39): 127-133.
 14. Lamz-Piedra, A., A. Morales-Soto, B.P. Delgado-Oramas y M. Florido-Bacallao. 2023. Caracterización de 11 líneas de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) resistentes a *Zabrotes subfasciatus* Boheman en Cuba. *CienciaUAT* 18(1): 178-190.
 15. Long, J., J. Zhang, X. Zhang, J. Wu, H. Chen, P. Wang et al 2020. Genetic diversity of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) germplasm resources in Chongqing, evidenced by morphological characterization. *Frontiers in Genetics* 11: 697.
 16. Maqueira-López, L.A., O. Roján-Herrera, J. Solano-Flores, I.M. Santana-Ges y D. Fernández-Márquez. 2021. Productividad del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). Parte I. Rendimiento en función de variables meteorológicas. *Cultivos Tropicales* 42(3): e07.
 17. Mayor-Duran, V.M., B. Raatz y M.W. Blair. 2016. Desarrollo de líneas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) tolerante a sequía a partir de cruces interacervo con genotipos procedentes de diferentes orígenes (Mesoamericano y Andino). *Acta Agronómica* 65(4): 431-437.
 18. Mex-Álvarez, R.M.J., P.M. Garma-Quen, D. Yanez-Nava, M.M. Guillen-Morales y M.I. Novelo-Pérez. 2021. Caracterización morfológica de *Phaseolus vulgaris* en Campeche, México. *Revista CENIC Ciencias Biológicas* 52(1): 32-38.
 19. MIDAGRI (Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego). 2024. <https://www.gob.pe/midagri>
 20. Morales-Morales, A.E., R.H. Andueza-Noh, C. Márquez-Quiroz, A. Benavides-Mendoza, J.M. Tun-Suarez, A. González-Moreno y C.J. Alvarado-López. 2019. Caracterización morfológica de semillas de frijol caupí (*Vigna unguiculata* L. Walp) de la Península de Yucatán. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 6(18): 463-475.
 21. 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.
 22. Oreamuno-Fonseca P., J.E. Monge-Pérez y M. Loría-Coto. 2023. Caracterización morfológica de las semillas de frijoles nativos de Guanacaste, Costa Rica. *UNED Research Journal* 15(2): e4690.
 23. Posit Team. 2024. RStudio: Integrated Development Environment for R. Posit Software, PBC. Boston, Massachusetts. <http://www.posit.co/>
 24. Pumalpa-Meneses, D., H. Cantaro-Segura, R. Estrada-Cañari y A. Huaranga-Joaquín. 2020. Caracterización fenotípica y agronómica de líneas avanzadas de fréjol voluble (*Phaseolus vulgaris* L.) resistentes a virus en Perú. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales* 7(1): 7-20.

- 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.
25. R Core Team. 2024. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing. Viena, Austria. <https://www.R-project.org/>
26. Ribeiro L.N., M. de Sousa, L. da Costa, C.H. Campos y J.C. Dovale. 2019. Agronomic potential and genetic diversity of landraces of cowpea of the state of Ceará. Revista Caatinga 32(3): 698-708.
27. Rodríguez-Rodríguez J.R., O.H. Tosquy-Valle y E. López-Salinas. 2015. Genotipos de frijol negro y su tolerancia a sequía terminal en Veracruz, México. En: Figueroa-Hernández E., L. Godínez-Montoya y F. Pérez-Soto (eds.). Ciencias de la Biología y Agronomía: Handbook T-I. Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco de Mora, México, pp. 161-170.
28. Rodríguez-Fernández, P. y C. Sánchez-Mora. 2021. Producción ecológica de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en las condiciones edafoclimáticas del III Frente. Ciencia en su PC 1(2): 60-70.
29. Romero-Félix C.S., C. López-Castañeda, J. Kohashi-Shibata, C.G. Martínez-Rueda, S. Miranda-Colín y V.H. Aguilar-Rincón. 2021. Rendimiento y biomasa acumulada en frijol común bajo riego y secano. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 12(8): 1363-1376.
30. Rosales-Serna R., H. Flores-Gallardo, C.A. Nava-Berumen e I.A. Ortiz-Sánchez. 2019. Rendimiento y calidad de grano en líneas mejoradas de frijol cultivadas bajo riego en Durango, México. Revista Fitotecnia Mexicana 42(1): 39-46.
31. SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú). 2025. Datos hidrometeorológicos. <https://n9.cl/9ypfc>
32. Tosquy-Valle O.H., E. López-Salinas, B. Villar-Sánchez, R. Zetina-Lezama, J.A. Acosta-Gallegos, J.R. Rodríguez-Rodríguez y F.J. Ibarra-Pérez. 2018. Rendimiento y adaptación de genotipos de frijol negro opaco en ambientes con y sin sequía terminal. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 9(4): 827-839.
33. Vásquez J, N.C. Vilca-Valqui, R. Malqui, E. Fernández, E. Duarez y R. Ayala. 2024. Caracterización agromorfológica de accesiones de *Phaseolus* spp. en la región Amazonas, Perú. Bioagro 36(2): 129-142.
34. Villalobos Olivera, A., A. González Morales, F. Santiago Batista, A. Iglesias Alfonso, J. Martínez Rodríguez y M.E. Martínez Montero. 2016. Comportamiento agroproductivo de diferentes cultivares de frijol negro (*Phaseolus vulgaris* L.) en la finca «Las Marías» del municipio Primero de Enero. Universidad & Ciencia 5(2): 52-78.