



Artículo

Características morfológicas de poblaciones nativas de frijol, crecimiento indeterminadas cultivadas en asociación con maíz

Morphological characteristics of native bean populations, indeterminate growth cultivated in association with corn

Saulo Talamantes Castorena ^{1,*}, Ismael Talamantes Castorena ^{2,*}, Nidia Rosas Meza ³, Rita Isela Domínguez Domínguez ⁴ y Aracely Talamantes Castorena ⁵

¹ Universidad Autónoma de Sinaloa, México, Juan José Ríos; <https://orcid.org/0009-0003-0512-7502>

² Universidad Autónoma de Sinaloa, México, Juan José Ríos; <https://orcid.org/0009-0007-1189-2533>

³ Universidad Autónoma de Sinaloa, México, Juan José Ríos; <https://orcid.org/0009-0009-4423-4240>; rosasisabella12@hotmail.com

⁴ Universidad Autónoma de Sinaloa, México, Juan José Ríos; <https://orcid.org/0009-0001-7215-6392>; ritadominguez@uas.edu.mx

⁵ Universidad Autónoma de Sinaloa, México, Juan José Ríos; <https://orcid.org/0009-0001-8199-5518>; aracelytalamantes@favf.mx

* Correspondencia: saulo295@hotmail.com; ismaeltalamantes@uas.edu.mx

Cita: Talamantes Castorena, S., Talamantes Castorena, I., Rosas Meza, N., Domínguez Domínguez, R. I., & Talamantes Castorena, A. (2025). Características morfológicas de poblaciones nativas de frijol, crecimiento indeterminadas cultivadas en asociación con maíz. *Horizon Nexus Journal*, 3(4), 1-20. <https://doi.org/10.70881/hnj/v3/n4/88>

Recibido: 26/07/2025

Revisado: 22/09/2025

Aceptado: 23/09/2025

Publicado: 31/10/2025



Copyright: © 2025 por los autores. Este artículo es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos y condiciones de la **Licencia Creative Commons, Atribución-NoComercial 4.0 Internacional. (CC BY-NC).**

(<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

<https://doi.org/10.70881/hnj/v3/n4/88>

Resumen: En la presente investigación se estudió la variación en características morfológicas de interés agronómicas, de 50 variedades nativas de frijol común de crecimiento indeterminado. Se evaluaron en asociación con maíz (milpa), 23 poblaciones del estado de México, 3 de Morelos, 9 de Oaxaca, 10 de Guerrero y 5 de Tlaxcala, con la finalidad de generar estrategias para optimizar la conservación *in situ* y aprovechamiento de dicha diversidad del frijol común, en base a cinco características de planta, siete de vaina y siete de semilla. La información se analizó con los métodos de componentes principales y de conglomerados. Los dos primeros componentes principales, determinaron el 52.22% de la variación total. La mayor variación, en características cuantitativas, se observó en peso total de vainas, número de vainas, peso total de semilla, arquitectura de planta, peso de materia seca total y firmeza de vainas, las que mostraron coeficientes de variación de 39.64 a 54.13%; mientras que la menor variación fue para peso volumétrico de semilla, inicio de floración y distancia de entrenudos, con coeficientes de variación de 3.30 a 6.31%.

Palabras clave: diversidad, poblaciones nativas, milpa, componentes principales.

Abstract: In this study, the variation in morphological characteristics of agronomic interest of 50 native varieties of common beans of undetermined growth was studied. They were evaluated in association with corn (milpa), 23 populations in the state of Mexico, 3 in Morelos, 9 in Oaxaca, 10 in Guerrero and 5 in Tlaxcala, in order to generate strategies to optimize the *in situ* conservation and use of this diversity of the common bean, based on five plant characteristics, seven pod and seven seed. The information was

analyzed with the main component and conglomerate methods. The first two main components determined 52.22% of the total variation. The greatest variation, in quantitative characteristics, was observed in total pod weight, number of pods, total seed weight, plant architecture, total dry matter weight and pod firmness, which showed coefficients of variation of 39.64 to 54.13%; while the lowest variation was for seed volumetric weight, beginning of flowering and distance of knots, with coefficients of variation of 3.30 to 6.31%.

Keywords: diversity, native populations, milpa, main components.

1. Introducción

El frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.), junto con el maíz (*Zea mays* L.) y la calabaza (*Cucurbita* spp.), son de las especies más importantes para la seguridad alimentaria en Mesoamérica, formando parte esencial del sistema tradicional conocido como milpa. Este sistema ha sido parte importante para el sustento de comunidades indígenas y campesinas a lo largo de generaciones, gracias a su eficiencia ecológica, nutricional y social (Delgado-Martínez et al., 2014; Flores de la Cruz et al., 2018). Las variedades nativas de frijol, especialmente con crecimiento indeterminado, se ha adaptado a desarrollarse en asociación con el maíz, utilizando su tallo como soporte natural. Esta estrategia de crecimiento trepador, permite maximizar el uso del espacio vertical, lo que resulta crucial en sistemas de bajos insumos (Delgado-Martínez et al., 2014). Sin embargo, esta asociación conlleva desafíos fisiológicos como el sombreado, competencia por nutrientes y agua, y la modificación en los patrones de crecimiento del frijol (Guerra-Guzmán et al., 2021).

Las poblaciones nativas de frijol han coevolucionado en sistemas tradicionales bajo selección empírica, lo que ha generado una diversidad genética significativa. Esta diversidad, se manifiesta en características morfoagronómicas, como tamaño de semilla, forma de la vaina, color del grano, arquitectura de la planta y ciclo de madurez (Mex-Álvarez et al., 2021; García-Urióstegui et al., 2023). Diferentes estudios realizados en Campeche, Puebla y Durango, han mostrado que los frijoles nativos poseen una notable variabilidad morfométrica que puede ser aprovechada en programas de mejoramiento genético (Anaya-López et al., 2022; Morales-Reyes et al., 2021; Rosales-Serna et al., 2025). Por ejemplo, la variedad 'San Luis 22' muestra adaptaciones importantes a condiciones de temporal, además de resistencia genética a múltiples enfermedades (Anaya-López et al., 2022).

Las evaluaciones en sistema de asociación, en los frijoles ayocote del altiplano centro-oriente de Puebla y los tipos negros del norte del país, muestran características distintivas que permiten su clasificación y adaptación agroecológica (López-Báez et al., 2018). Estas evaluaciones han permitido identificar estas adaptaciones y seleccionar materiales con mejor desempeño agronómico. Según Tapia-Hernández et al., (2019) y Martínez-Gómez et al., (2021), describen a el sistema milpa, como un modelo agroecológico que ha

demostrado ser resiliente y eficiente en el uso de recursos. La interacción entre maíz y frijol, permite la fijación de nitrógeno atmosférico, reducción de malezas y diversificación de productos. No obstante, el éxito del sistema depende de factores como el arreglo topológico, la densidad de siembra y el manejo de la sombra.

Además, Investigaciones en sistemas como MIAF (Milpa Intercalada con Árboles Frutales) han demostrado que los arreglos topológicos y labranzas, influyen significativamente en el desarrollo de los cultivos asociados. En este contexto, el frijol nativo indeterminado debe competir por luz y nutrientes, lo que influye directamente en sus características morfológicas (Medina-Covarrubias et al., 2022; Hernández-Escobar et al., 2024; Regalado-López et al., 2012).

La caracterización morfológica de frijoles nativos, cultivados en asociación permite identificar rasgos adaptativos valiosos. Entre estos se encuentran la longitud y forma de la vaina, número de semillas por vaina, tamaño del grano y características de la planta como altura y número de ramas (Pumalpa-Meneses et al., 2020; Morales-Reyes et al., 2021). Por ejemplo, los frijoles de hábito trepador tipo IV, cultivados en asociación con maíz, han mostrado buenos niveles de biomasa y contenido proteico, lo cual sugiere su potencial no solo como alimento humano, sino también como forraje (Guerra-Guzmán et al., 2021). Asimismo, las interacciones simbióticas con cepas específicas de *Rhizobium spp.* pueden mejorar la eficiencia en la fijación de nitrógeno y el rendimiento total del sistema (Lépiz-Ildefonso et al., 2025).

En el contexto actual de cambio climático, erosión genética y presión sobre los sistemas tradicionales de cultivo, resulta indispensable documentar y caracterizar las poblaciones nativas de frijol en sistemas de asociación. Esta información es esencial para su conservación *in situ*, su aprovechamiento en mejoramiento participativo y su inclusión en políticas públicas de soberanía alimentaria (Rosales-Serna et al., 2025). La literatura reciente subraya que la erosión genética del frijol criollo está estrechamente vinculada con procesos socio-económicos y tecnológicos. Según León-Rojas et al. (2020), en el sureste del Estado de México la combinación de mecanización, sustitución de cultivos y la caída del consumo nacional de 16 kg persona⁻¹ en los años ochenta a 8.4 kg está precipitando la erosión de las variedades locales, en particular las de hábito trepador asociadas a la milpa. La misma investigación demuestra que la conservación *in situ*, solo es viable cuando productores, comerciantes y consumidores sostienen circuitos cortos de comercialización, que revaloran atributos culinarios y culturales del grano, enlazando la agrobiodiversidad con la noción de soberanía alimentaria (León-Rojas et al., 2020).

El aprovechamiento de esta diversidad exige salvaguardar a los parientes silvestres. Un estudio basado en 77 expediciones en Nuevo León y Tamaulipas, clasificó once especies de *Phaseolus* con la NOM-059: *P. novoleonensis*, se catalogó “En peligro de extinción” y *P. plagiocylis* “Posiblemente extinta”,

mientras que sólo ocho especies permanecen sin riesgo inmediato (Acosta-Díaz et al., 2019). Estos hallazgos refuerzan la urgencia de fortalecer estrategias de conservación *ex situ* e *in situ*. Asimismo, la variabilidad genética, la resistencia a plagas postcosecha es prioritaria. Un estudio en Cuba, de once líneas RAZ derivadas del CIAT promediaron 1.7 t ha⁻¹ y la línea ‘RAZ 124’ superó 4.2 t ha⁻¹; se observó amplia variación en color de semilla, número de vainas y peso de 100 granos, atributos valiosos para cruzamientos regionales (Lamz-Piedra et al., 2023).

La alteración de los patrones climáticos de la tierra nos añade presiones selectivas. Las Evaluaciones de germoplasma Pinto y Flor de Mayo en el Bajío, expuesto a temperaturas diurnas $\geq 30^{\circ}\text{C}$ y nocturnas $\geq 20^{\circ}\text{C}$, mostraron que genotipos con mayor número de vainas y granos por vaina, por ejemplo, la variedad ‘Salinas’ mantuvieron rendimientos $> 3.7\text{ t ha}^{-1}$, mientras que fallas de polinización, redujeron drásticamente la productividad en materiales sensibles, La tolerancia al calor, por tanto, se consolida como criterio central en la selección de frijoles para sistemas de temporal y riego (Anaya-López et al., 2022).

Con base en estos antecedentes, se realizó el presente estudio con el objetivo de evaluar la diversidad morfológica presente en 50 poblaciones nativas de frijol común de hábitos indeterminados, provenientes de cinco regiones de México y cultivados en asociación con maíz, con base en atributos de planta, vaina y grano.

2. Materiales y Métodos

2.1 Área de estudio

El experimento se estableció en el Campus Montecillo del Colegio de Postgraduados, localizado en el municipio de Texcoco, estado de México, cuya localización geográfica es 19° 27’ 38” de latitud norte, 98° 54’ 11” de longitud oeste y 2250 m de altitud.

2.2 Material genético

Un grupo de 50 poblaciones nativas de frijol común colectadas directamente de agricultores en los estados de México, Morelos, Oaxaca, Guerrero y Tlaxcala fueron evaluadas en 2021. Las poblaciones fueron seleccionadas con base en la localidad de origen y agricultor donante, así como por sanidad y tipo de semilla (Tabla 1).

Tabla 1.

Claves de colecta, origen y nombre común de 50 poblaciones de frijol de tipo indeterminado cultivadas en asociación, de los estados de México, Morelos, Oaxaca, Guerrero y Tlaxcala evaluadas en Montecillo, estado de México en 2021.

Identificación	Clave	Localidad de origen	Entidad	Nombre Común
----------------	-------	---------------------	---------	--------------

EM-10-1	E1	Cuecucuautila (El Pueblito).	Estado de México	Rojo o Vaquita
EM-10-6	E6	Atlatlahuacan	Morelos	Colado
EM-10-10	E10	Nepantla.	Estado de México	Vaquita
EM-10-12	E12	Totolapa	Morelos	Apetito
EM-10-13	E13	Totolapa	Morelos	Cacahuate
EM-10-14	E14	San José Tlacotitlan	Estado de México	Amarillo
EM-10-15	E15	Tepetlixpa	Estado de México	Vaquita
EM-10-17	E17	San Andres Tlalamac	Estado de México	Garrapato
EM-10-21	E21	Cuecucuautila (El Pueblito)	Estado de México	Color de Rosita
EM-10-23	E23	Cuijingo	Estado de México	Coconita
EM-10-24	E24	Nepantla	Estado de México	Flor de Mayo
EM-10-25	E25	San Andrés Tlalamac	Estado de México	Vaquita
EM-10-26	E26	San Andrés Tlalamac	Estado de México	Torito
EM-10-27	E27	San Andrés Tlalamac	Estado de México	Garrapato o Morito
EM-10-31	E31	Nepantla	Estado de México	Vaca
EM-10-32	E32	San José Tlacotitlan	Estado de México	Negro Bola
EM-10-34	E34	Atlautla	Estado de México	Amarillo
EM-10-36	E36	San Andrés Tlalamac	Estado de México	Amarillo
EM-10-37	E37	San Andrés Tlalamac	Estado de México	Apetito
EM-10-38	E38	San Lorenzo Tlaltecoyac	Estado de México	Negro Bola
EM-10-39	E39	Juchitepec	Estado de México	Color de Rosa
EM-10-40	E40	Cuecucuautila (El Pueblito)	Estado de México	Cabeza de Ahuate
EM-10-41	E41	Tepetlixpa	Estado de México	Rojo
EM-10-42	E42	Tepetlixpa	Estado de México	Vaquita
EM-10-43	E43	San Mateo Tecalco	Estado de México	Frijol Negro
EM-10-45	E45	Cuecucuautila (El Pueblito)	Estado de México	Alubia o Novia
OAX-10-9	O9	Chamizal	Oaxaca	Negro Ejotero
OAX-10-28	O28	Barrio San Sebastian Tlaxiaco	Oaxaca	Frijol Colorado
OAX-10-29	O29	Santa Lucrecia.	Oaxaca	Frijol Tempranero
OAX-10-36	O36	San Martin Huamelulpan	Oaxaca	Tempranero Blanco
OAX-10-39	O39	San Pedro Molinos	Oaxaca	Frijol de Ejote
OAX-10-42	O42	Santa Maria Tataltepec	Oaxaca	Negro o Frijol Grueso
OAX-10-45	O45	Haquiniyiqui	Oaxaca	Negro Ayocote

OAX-10-46	O46	Haquiniyiqui	Oaxaca	Cuarenteño
OAX-10-51	O51	San Isidro	Oaxaca	Amarillo
GRO-10-87	G87	Almolonga	Guerrero	Frijol Rojo
GRO-10-94	G94	Chilacachapa	Guerrero	Pintito de Vara
GRO-10-96	G96	Zoquiapan	Guerrero	Frijol negro de Vara
GRO-10-97	G97	Zoquiapan	Guerrero	Negro de Vara o Milpa
GRO-10-99	G99	Santa Ana	Guerrero	Frijol Rojo de Vara
GRO-10-103	G103	El Refugio	Guerrero	Frijol Rojo de Vara
GRO-10-118	G118	Las Trancas	Guerrero	Frijol Rojo de Vara
GRO-10-120	G120	Las Trancas	Guerrero	Rojo de Cascara Dura
GRO-10-129	G129	Zompepelco	Guerrero	Frijol Rojo de Vara
GRO-10-137	G137	El Nuevo Paraíso	Guerrero	Frijol Blanco Enredador
TLA-10-1	T1	Vicente Guerrero	Tlaxcala	Mantequilla
TLA-10-2	T2	Vicente Guerrero	Tlaxcala	Vaquita
TLA-10-3	T3	Vicente Guerrero	Tlaxcala	Moradito o Morita
TLA-10-4	T4	Vicente Guerrero	Tlaxcala	Mantequilla
TLA-10-5	T5	Vicente Guerrero	Tlaxcala	Pinto

2.3 Diseño y unidad experimental

Las 50 poblaciones nativas evaluadas, se distribuyeron con base en un diseño de bloques completos al azar con 3 repeticiones. La unidad experimental estuvo constituida por cuatro surcos de 5 m de longitud y 0.8 m de anchura.

2.4 Manejo del experimento

El experimento se estableció el 13 de mayo de 2021. La siembra se realizó en seco, colocando 2 semillas de frijol y 3 semillas de maíz cada 0.8 m. El número de plantas se ajustó a 7 de frijol y 14 de maíz por cada surco de 5 m, después del aporque, para obtener una población de 37 500 plantas por hectárea, 12 500 de frijol y 25 000 de maíz. Se aplicó riego rodado complementario a la lluvia, durante el periodo de la siembra al llenado de vainas. El control de malezas se realizó manualmente, y el cultivo y aporque se realizaron con tracción animal. La incidencia de picudo de frijol (*Apion godmani*) y de conchuela (*Epilachna varivestis*) se controló con dos aplicaciones de Sevin 80 PH (I.A. Carbaril: 1-Naftil metilcarbamato) en dosis de 1.0 kg ha⁻¹, durante el llenado de vaina. En la etapa de formación y llenado de vaina, entre el 4 y 6 de noviembre, ocurrieron heladas

que dañaron severamente a las plantas, y que afectaron con mayor intensidad a las poblaciones más tardías. La cosecha se realizó en 5 plantas con competencia completa, en matas con maíz y frijol.

2.5 Variables estudiadas

2.5.1. Semilla

En las colectas originales se evaluaron longitud (LON S) (cm), anchura (ANC S) (cm), grosor (GRO S) (cm), peso de 100 semillas (P100S) (g), volumen de 100 semillas (V100S) y peso volumétrico (PVS) (g/cm³). De cada población se tomaron 10 muestras con 100 semillas representativas de la población. La longitud, anchura y grosor se midieron en grupos de 100 semillas de las que se obtuvo el promedio. El peso y volumen se obtuvieron por muestra individual.

2.5.2. Inicio de floración (IF)

Se registró en días, cuando 50 % de las plantas presentaron al menos una flor abierta, en las 3 repeticiones.

2.5.3. Sanidad general (SND)

Se registró con base en la presencia de conchuela y antracnosis, con la escala siguiente: (1) ausencia de daño; (2) inicio de daño; (3) daño en 40% de la planta; (4) daño en 80% en la planta; y (5) daño cercano a 100%.

2.5.4. Arquitectura de planta (ARQ P)

Se registró en las 3 repeticiones. Se calificó con base en la escala siguiente: 1. Vainas a lo largo de la planta, desde la base hasta la parte apical de la planta, sin mucho follaje; 2. Plantas con vainas sólo en la parte inferior de la planta; 3. Vainas en la parte superior de la planta; 4. Vainas en la parte media de la planta, con abundante follaje; y 5. Vainas en la parte superior de la planta con follaje abundante.

2.5.5. Distancia de entrenudos (DN) (cm)

Se midió cuando la planta estaba en formación de vainas, se tomaron cinco medidas de la parte media de la planta con una regla de 30 cm, en cada parcela y se calculó el promedio por parcela.

2.5.6. Vaina. Se registraron la longitud (LON V) (cm)

La anchura (ANC V) (cm), el grosor (GRO V) (cm) y número de semillas por vaina (SXV). Estos atributos se registraron en estado de ejote verde, en 3 de 10 vainas seleccionadas. La firmeza (FIR V) se midió con un penetrómetro (FORCE FIVE Modelo FDV-30) en 3 vainas por parcela, registrando la resistencia de la piel de la vaina a la punción (Newton).

2.5.7. Rendimiento y sus componentes

Se disecaron 5 plantas por parcela en las que se determinó materia seca total de tallo y vaina, peso de vaina y peso de grano, en algunas parcelas no fue posible obtener el rendimiento debido al daño sufrido en las vainas por las fuertes heladas registradas en el mes de noviembre durante la etapa de formación y llenado de vaina.

2.6 Análisis estadístico

Las características se analizaron con base en el modelo de bloques completos al azar con tres repeticiones. Además, se realizó un análisis de componentes principales (ACP) con base en la matriz de correlaciones de los promedios de las características cuantitativas, y se graficó la distribución de las poblaciones con base en los dos primeros componentes principales. Las relaciones entre las 50 variedades nativas de frijol común, se establecieron con base en un análisis de conglomerados con datos estandarizados a la distribución normal (0, 1), en el que las distancias euclidianas se emplearon como coeficientes de disimilitud, la agrupación jerárquica se obtuvo con el método de ligamiento promedio (UPMGA). Los análisis se realizaron con los paquetes estadísticos SAS v. 9.0 (SAS, 2004)

3. Resultados y discusión

3.1 Diversidad morfológica

La variación fue marcada en los rasgos más estrechamente ligados al rendimiento: número de vainas, peso total de vainas, peso de semilla por planta, biomasa (PMST), arquitectura de planta y firmeza de vaina; todos con Coeficientes de Variación elevados (40–54%), lo que indica amplio margen de diferenciación y potencial para selección intra/Inter poblacional. En contraste, peso volumétrico de semilla, inicio de floración y distancia entre nudos presentaron Coeficientes de Variación bajos (3–6%), sugiriendo estabilidad relativa y menor aportación a la separación entre materiales pese a las condiciones por las heladas ocurridas durante las etapas de formación y llenado de vaina. Los intervalos son informativos para el mejoramiento: por ejemplo, NV = 3–27, PTV = 6.4–67.93 g, PTSP = 1.6–41.47 g y PMST = 45–150.33 g, con medias intermedias; ello confirma la presencia de genotipos tanto élite como de bajo desempeño dentro de los materiales estudiados. En atributos de estructura, las vainas y semillas muestran rango amplio pero consistente, como en longitud de vaina 7.77–13.61 cm, semillas por vaina 4–7.67, mientras que el peso volumétrico 1.15–1.34 g·cm⁻³ se mantiene estrecho, coherente con materiales de una misma especie (Tabla 2).

Tabla 2.

Intervalos de variación, media, desviación estándar (D.E.) y coeficiente de variación (C.V.) de 50 poblaciones nativas de frijol común evaluadas en Montecillo, estado de México en 2021.

Característica	Intervalo	Media	D.E.	C.V.
----------------	-----------	-------	------	------

Peso de Materia Seca Total (g)	45.00 - 150.33	89.34	42.70	46.76
Numero de Vainas	3.00- 27.00	13.02	7.99	52.39
Peso Total de Vainas (g)	6.40 - 67.93	24.72	16.11	54.13
Peso Total de Semillas (g)	1.60 - 41.47	13.59	9.91	51.64
Inicio de Floración (d)	87 – 122	112.74	11.10	5.77
Sanidad de Planta	1.00 - 1.83	1.27	0.42	33.51
Arquitectura de Planta	1.00 - 4.66	2.45	1.48	47.84
Distancia Entre Nudos (cm)	13.26 – 23.03	18.81	2.11	6.31
Longitud de Vainas (cm)	7.77 – 13.61	11.35	3.01	15.40
Anchura de Vainas (cm)	0.58 – 1.47	9.62	2.72	14.72
Grosor de Vainas (cm)	0.35 – 0.77	4.95	1.55	19.84
Semillas por Vaina	4.00 - 7.67	6.08	1.73	17.91
Firmeza de Vaina (Newton)	6.52 - 25.41	12.32	6.61	39.64
Longitud de Semilla (cm)	0.97 - 1.70	1.31	0.19	14.97
Anchura de Semilla (cm)	0.61 - 1.11	0.879	0.13	15.60
Grosor de Semilla (cm)	0.46 - 0.73	0.604	0.07	11.93
Peso de 100 Semillas (g)	22.40 - 68.30	39.90	10.83	25.90
Volumen de 100 Semillas (cm ³)	16.90 - 55.00	32.18	8.38	25.40
Peso Volumétrico Semilla (gcm ⁻³)	1.15 - 1.34	1.242	0.04	3.30

3.2 Agrupamiento de la diversidad

Los dos primeros componentes explican 52.22% de la variación (CP1 = 34.68%, CP2 = 17.55%; acumulado 78.03% con cinco Componentes Principales), suficiente para visualizar patrones robustos. El CP1 está dominado por biomasa y productividad (cargas altas y positivas en PMST, NV, PTV, PTSP, además de dimensiones de vaina/semilla), por lo que separa materiales de alto vs. bajo rendimiento. El CP2 concentra el tamaño de semilla (cargas positivas en P100S, V100S, anchura y longitud de semilla), generando un gradiente morfológico de grano pequeño a grande. Otros rasgos se organizan en componentes subsiguientes: CP4 en arquitectura de planta, inicio de floración carga en CP3, y sanidad aparece con peso fuerte en CP5; esto sugiere que precocidad y condición fitosanitaria añaden dimensiones adicionales de variación, pero secundarias frente a productividad y tamaño de semilla en este ambiente (Tabla 3).

Tabla 3.

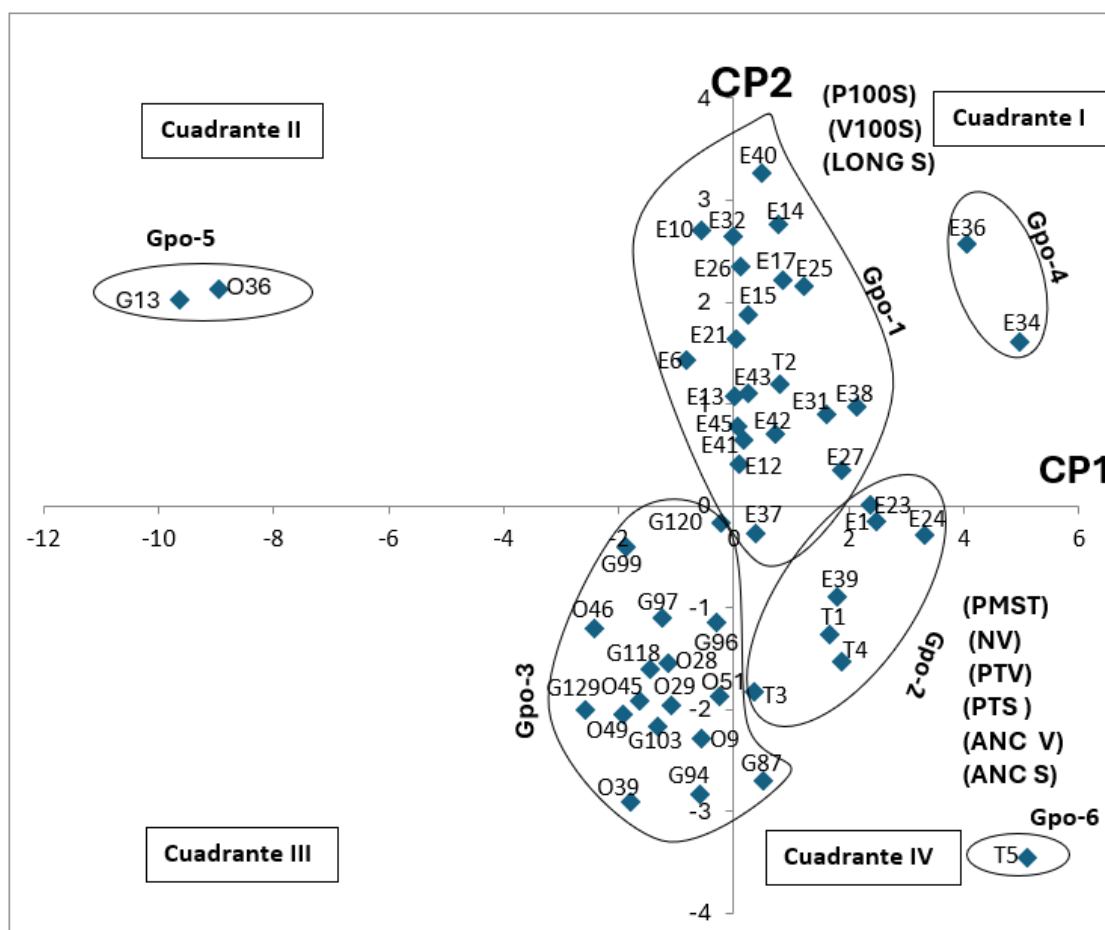
Valores y vectores propios del análisis de componentes principales (CP) de 50 poblaciones nativas de *Phaseous vulgaris* L. del estado de México, Guerrero, Oaxaca y Tlaxcala, evaluadas en Montecillo, estado de México, en 2021.

Características	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5
Peso de Materia Seca Total	0.315	-0.072	0.109	0.307	0.015
Numero de Vainas	0.276	-0.266	-0.129	0.289	-0.057
Peso Total de Vainas	0.286	-0.241	-0.186	0.285	-0.051
Peso Total de Semillas	0.284	-0.204	-0.273	0.225	0.022
Inicio de Floración	-0.043	0.095	0.524	-0.006	-0.374
Sanidad de Planta	0.0596	-0.000	-0.041	-0.182	0.747
Arquitectura de Planta	0.111	0.088	0.221	0.470	0.023
Distancia Entre Nudos	-0.056	-0.037	0.177	0.132	0.430
Longitud de Vainas	0.251	-0.192	0.418	-0.176	0.065
Anchura de Vainas	0.345	-0.030	0.053	-0.254	-0.036
Grosor de Vainas	0.268	-0.216	0.028	-0.369	0.065
Semillas por Vaina	0.217	-0.218	0.392	-0.109	-0.029
Firmeza de Vaina	0.234	-0.120	-0.177	-0.251	-0.186
Longitud de Semilla	0.220	0.330	0.223	0.090	0.173
Anchura de Semilla	0.281	0.350	-0.093	-0.006	0.030
Grosor de Semilla	0.166	0.228	-0.281	-0.218	-0.170
Peso de 100 Semillas	0.252	0.404	-0.016	-0.026	-0.013
Volumen de 100 Semillas	0.257	0.382	-0.020	-0.052	-0.024
Peso Volumétrico Semilla	-0.010	0.251	-0.001	0.223	0.041
Valor propio	6.588	3.333	1.926	1.754	1.222
Variación explicada (%)	34.68	17.55	10.14	9.24	6.43
Variación acumulada (%)	34.68	52.22	62.36	71.6	78.03

La dispersión de las poblaciones en el plano formado por los dos primeros componentes principales (Figura 1) y la distribución de las poblaciones en el dendrograma derivado del análisis de conglomerados (Figura 2) muestra que las poblaciones nativas se integraron en seis y ocho grupos respectivamente.

Figura 1.

Dispersión de 50 poblaciones de frijol común con base en los dos primeros componentes principales (52.22%) y nueve características morfológicas. (peso de materia seca total (PMST), número de vainas (NV), peso total de vaina (PTV), Peso total de semillas por planta (PTSP), ancho de vaina (ANC V), ancho de semilla (ANC S), peso de 100 semillas (P100S), volumen de 100 semillas (V100S) y longitud de semilla (LONG S).



esquemas de selección participativa en mercados que privilegian granos grandes. En mejoramiento, funcionan como donadores tanto en productividad como en tamaño de grano, para incrementar simultáneamente el número de vainas y el peso de 100 semillas. Agronómicamente, se recomiendan densidades y fechas de siembra que sostengan el llenado, así como manejo fitosanitario que evite pérdidas en pos-floración. La expectativa es de estabilidad relativa, en ambientes sin heladas ni estrés hídrico severo durante el llenado de vaina.

Cuadrante II (CP1 < 0, CP2 > 0)

En este cuadrante se concentran genotipos con semilla grande, pero rendimiento por debajo de la media, reflejados en CP1 negativo y CP2 positivo. El perfil típico muestra NV, PTV y PTSP reducidos pese a P100S y V100S altos, lo cual sugiere un desbalance fuente–demanda (capacidad de llenado sin suficiente fructificación), o competencia excesiva bajo milpa. Desde el manejo, resulta pertinente optimizar fecha de siembra y densidad para elevar CP1, sin sacrificar el tamaño del grano, y asegurar disponibilidad de agua y nutrientes durante floración y el llenado. En programas de mejoramiento, estos materiales son donadores estratégicos de tamaño; al cruzarse con accesiones del cuadrante I o IV pueden recombinarse tamaños preferidos con mayor productividad. En validación multi-ambiente, conviene monitorear sanidad y velocidad de llenado, para descartar deficiencias fisiológicas. Para mercados que priorizan granos grandes, pueden sostenerse como líneas base, mientras se avanza en incrementar la tasa reproductiva y el número de vainas por planta.

Cuadrante III (CP1 < 0, CP2 < 0)

El cuadrante III agrupa materiales de bajo rendimiento y semilla pequeña (CP1 y CP2 negativos), con PMST, NV, PTV y PTSP consistentemente por debajo del promedio y valores bajos de P100S y V100S. Este patrón puede obedecer a ciclos más tardíos, menor vigor vegetativo efectivo o mayor susceptibilidad a heladas y estrés durante el llenado. Su valor principal radica en la conservación de la diversidad y en su uso como contraste en estudios de interacción genotipo-ambiente; asimismo, pueden aportar variación para rasgos funcionales no capturados directamente por CP1–CP2. Desde el manejo, mover fechas de

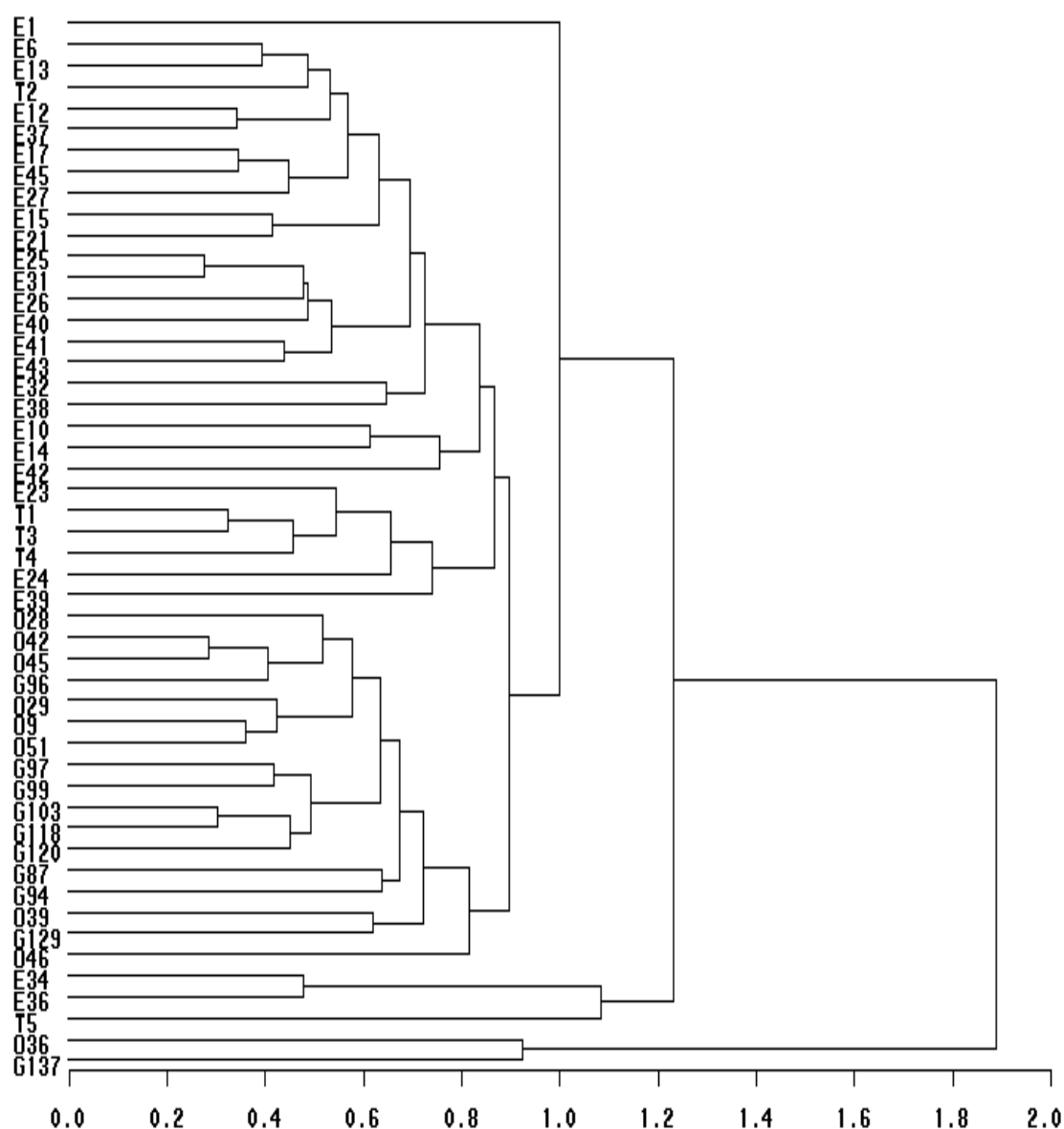
siembra, ajustar espaciamientos y reducir competencia podría mejorar parcialmente CP1, aunque su utilización productiva requiere ambientes menos limitados. En cruzamientos, se recomienda emplearlos como fuente secundaria y recuperar rendimiento mediante retrocruzas hacia materiales con CP1. En validación, es crítico estratificar por precocidad y evitar ventanas climáticas con riesgo de helada en etapas reproductivas.

Cuadrante IV (CP1 > 0, CP2 < 0)

Los materiales del cuadrante IV combinan alto rendimiento con semilla de menor tamaño (CP1 positivo, CP2 negativo). Su estrategia productiva descansa en una elevada tasa reproductiva, particularmente en el número de vainas y la eficiencia de llenado, más que en el tamaño individual de la semilla; por ello, presentan NV, PTV y PTSP por encima del promedio, mientras P100S y V100S son moderados o bajos. Son opciones idóneas para mercados que demandan granos pequeños y para programas de mejoramiento, como donadores de productividad; cruzados con materiales del cuadrante II permiten elevar rendimiento sin perder el tamaño del grano. En manejo, conviene utilizar densidades que maximicen estructuras reproductivas sin inducir sombreado excesivo, y asegurar suministro hídrico y nutrimental en floración y llenado. Frecuentemente, los materiales precoces de este cuadrante muestran mayor capacidad de escapar a eventos climáticos adversos, lo que favorece su estabilidad interanual y su potencial para validación y registro.

Figura 2.

Agrupamiento de 50 poblaciones de frijol común (*Phaseolus vulgaris*) de los estados de México (E), Guerrero (G), Oaxaca (O) y Tlaxcala (T), con base a las distancias euclidianas de la combinación de 19 variables morfológicas.



El análisis de conglomerados con punto de corte reportado separa ocho grupos. Se observa alta correspondencia con el ACP: grupos de alto rendimiento se agrupan (coincidentes con CP1 positivo), mientras que materiales de bajo rendimiento y grano pequeño se aglomeran en ramas separadas. El dendrograma resalta, además, grupos extremos: (1) un conjunto élite (elevados NV, PTV y PTSP) que puede representar donadores para productividad; (2) un grupo susceptible a heladas (o de ciclo muy tardío) con rendimiento nulo o bajo.

La amplitud de la variación morfológica observada en las 50 poblaciones con coeficientes de variación altos (40–54%) en rasgos directamente asociados al rendimiento (número de vainas, peso total de vainas, peso de semilla por planta, biomasa/PMST, arquitectura de planta y firmeza de vaina) y valores bajos (3–6%) en peso volumétrico de semilla, inicio de floración y distancia entre nudos, aun bajo heladas durante formación y llenado de vaina, confirma la existencia de

un reservorio amplio para la selección intra/inter poblacional y de rasgos fenológicos relativamente conservados. Los intervalos (por ejemplo, NV = 3–27, PTV = 6.4–67.93 g, PTSP = 1.6–41.47 g, PMST = 45–150.33 g; longitud de vaina = 7.77–13.61 cm; 4–7.67 semillas por vaina; y un peso volumétrico estrecho de 1.15–1.34 g·cm⁻³) apuntan a la coexistencia de genotipos élite y de bajo desempeño dentro del acervo analizado, lo cual es coherente con la alta diversidad fenotípica esperada en frijol nativo y con la eficacia de descriptores morfológicos, complementados con marcadores para discriminar acervos y reflejar la estructura genética andina vs. mesoamericana (de Paula et al., 2024). La estructura multivariada derivada del ACP, donde el CP1 sintetiza productividad/biomasa y el CP2 el tamaño de semilla (peso y volumen de 100 semillas, dimensiones de grano), reproduce patrones ya descritos en Oaxaca, donde el peso de 100 semillas y los días a formación/llenado/maduración de vainas emergen como rasgos clave para ordenar materiales y explicar la variación, aun sin correspondencia estricta con el origen geográfico (García-Narváez et al., 2020). La congruencia entre la dispersión en el plano CP1–CP2 y el análisis de conglomerados confirma la presencia de conjuntos contrastantes, incluido un grupo élite con elevados NV, PTV y PTSP y otro con susceptibilidad a heladas/ciclos muy tardíos, con la evidencia clásica del oriente del Estado de México: en sistemas maíz–frijol (milpa) y bajo intercambio regional de semilla persisten tipos trepadores de hábito indeterminado y una marcada diversidad de tamaño y color de grano (Castillo-Mendoza et al., 2006). En conjunto, los resultados sustentan estrategias de mejoramiento diferenciadas por cuadrantes: materiales del cuadrante I, como donadores duales (productividad y grano grande), del II como reservorios de tamaño a combinar con I/IV para elevar rendimiento, del III como testigos y fuente de variación para estudios Genotipo-Ambiente y conservación, del IV como donadores de productividad para mercados de grano pequeño; todo ello a validar en esquemas multi-ambiente y selección participativa en milpa.

4. Conclusiones

La caracterización morfológica de 50 poblaciones nativas de frijol común en asociación con maíz mostró una amplia variación en los rasgos directamente ligados al rendimiento en número de vainas, peso total de vainas, peso de semilla por planta, biomasa (PMST), arquitectura de planta y firmeza de vaina, con coeficientes de variación altos (40–54%), lo que confirma un reservorio efectivo para selección intra/inter poblacional, mientras que el peso volumétrico de semilla, el inicio de floración y la distancia entre nudos presentaron baja variación (3–6%), sugiriendo estabilidad relativa aún bajo heladas durante formación y llenado de vaina; los intervalos en (NV = 3–27; PTV = 6.4–67.93 g; PTSP = 1.6–41.47 g; PMST = 45–150.33 g; longitud de vaina = 7.77–13.61 cm; 4–7.67 semillas por vaina; peso volumétrico = 1.15–1.34 g·cm⁻³) evidencian la coexistencia de genotipos élite y de bajo desempeño, por tanto, un alto potencial de respuesta a la selección sin comprometer atributos fenológicos conservados;

el análisis de componentes principales estructuró la variación en ejes interpretables, con un CP1 (34.68%) asociado a productividad/biomasa y un CP2 (17.55%) al tamaño de semilla, explicando juntos 52.22% (78.03% con cinco CP) y mostrando congruencia con el agrupamiento jerárquico, que delimita conjuntos contrastantes, incluido un grupo élite con NV, PTV y PTSP elevados y otro susceptible a heladas o de ciclo muy tardío; operacionalmente, la partición por cuadrantes guía rutas de mejoramiento y manejo: materiales del cuadrante I (alto rendimiento y semilla grande) son candidatos a selección participativa; los del cuadrante II (semilla grande y rendimiento bajo) son donadores de tamaño a recombinar con I/IV optimizando fecha y densidad; los del cuadrante III (bajo rendimiento y semilla pequeña) sirven como contrastes para estudios Genotipo-Ambiente y conservación; y los del cuadrante IV (alto rendimiento y semilla pequeña) aportan productividad para mercados de grano pequeño, con densidades que maximicen estructuras reproductivas; en conjunto, los resultados validan la utilidad de descriptores morfo-agronómicos para discriminar materiales nativos y orientar estrategias diferenciadas por objetivo de mercado y ambiente (riesgo de heladas, agua y nutrimentos), mientras que la estabilidad de rasgos como el peso volumétrico puede emplearse como criterio de calidad, por lo que se recomienda avanzar con validación multi-ambiente, selección participativa en milpa, e integración de marcadores moleculares y atributos de calidad culinaria/nutricional para conformar colecciones núcleo, así como cruzamientos dirigidos (I×II, IV×II) que combinen tamaño de grano y productividad manteniendo la diversidad in situ que sustenta la capacidad de adaptación del sistema maíz–frijol.

Contribución de los autores: Contribución de los autores: Conceptualización: S T.C., R-I D.D., A T.C.; Metodología: S T.C., I T.C., N-I R.M.; Software: S T.C., R-I D.D.; Validación: S T.C., I T.C.; Análisis formal: N-I R.M., R-I D.D., A T.C.; Investigación: S T.C., N-I R.M., A T.C.; Recursos: S T.C., I T.C.; Redacción del borrador original: S T.C., R-I D.D., A T.C.; Redacción, revisión y edición: I T.C., N-I T.C.; Visualización: S T.C., R-I D.D.; Supervisión: N-I R.M., A T.C.; Todos los autores han leído y aceptado la versión publicada del manuscrito.

Financiamiento: Esta investigación no ha recibido financiación externa

Declaración de disponibilidad de datos: Los datos están disponibles previa solicitud a los autores de correspondencia: saulo295@hotmail.com

CONFLICTO DE INTERESES. - Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses

Referencias Bibliográficas

- Acosta Díaz, E., Baez González, A. D., Hernández Torres, I., Padilla Ramírez, J. S., Almeyda León, I. H., & Zavala García, F. (2019). Estado de conservación de once especies de frijol silvestre (*Phaseolus* spp.) en el noreste de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(2), 417-429. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i2.1475>
- Anaya López, J. L., Guerrero Aguilar, B. Z., Jiménez Hernández, Y., Chiquito Almanza, E., Prado García, A. A., & Acosta Gallegos, J. A. (2022). San Luis 22: variedad de frijol negro brillante de temporal para el centro-norte de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 16(2), e3411. <https://doi.org/10.29312/remexca.v16i2.3411>
- Castillo Mendoza, M., Ramírez Vallejo, P., Castillo González F., & Miranda Colin, S. (2006) Diversidad morfológica de poblaciones nativas de frijol común y frijol ayocote del oriente del estado de México. *Rev. Fitotecnia Mexicana*. 29 (2): 111-119. <https://www.redalyc.org/pdf/610/61029203.pdf>
- Delgado Martínez, R., Salvador Escalante Estrada, J. A., Díaz Ruíz, R., Trinidad Santos, A., Morales Rosales, E. J., & Sosa Montes, E. (2014). Defoliación en maíz y su efecto sobre el rendimiento de frijol-maíz en asociación. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5(6), 1015-1027. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342014000600009
- de Paula, E., Almeida, R. N. de, Santos, T. de O., Souza Neto, J. D. de, Riva-Souza, E. M., Posse, S. C. P., Souza, M. N., Madella de Oliveira, A. de F., Santos Júnior, A. C., Santos, J. O., Pimenta, S., dos Santos, B. C., & Moulin, M. M. (2024). Genetic diversity of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) landraces based on morphological traits and molecular markers. *Plants*, 13(18), 2584. <https://doi.org/10.3390/plants13182584>
- Flores de la Cruz, M. J., García Esteva, A., García Nava, J. R., Kohashi Shibata, J., & Ybarra Moncada, M. C. (2018). Diferencias fenológicas, morfológicas y de componentes del rendimiento entre una forma silvestre y domesticada de frijol común. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 9(1), 137–149. <https://doi.org/10.29312/remexca.v9i1.854>
- García-Narváez, A. L., Hernández-Delgado, S., Chávez-Servia, J. L., & Mayek-Pérez, N. (2020). Morphological and agronomic variability of bean germplasm cultivated in Oaxaca, Mexico. *Revista Bio Ciencias*, 7, e876. <https://doi.org/10.15741/revbio.07.e876>
- García Urióstegui, A., García Nava, J. R., Uscanga Mortera, E., García Esteva, A., Kohashi Shibata, J., & García de los Santos G. (2025). Rendimiento,

- biomasa y fenología de la cruz entre frijol silvestre y domesticado. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 16(2), e3507. <https://doi.org/10.29312/remexca.v16i2.3507>
- Guerra Guzmán, D., Guevara Ohara, J. E., & Morazán Nuñez, H. J. (2021). Selección de leguminosas de hábito trepador tipo IV en asocio con maíz para alimentación bovina. *Agronomía Costarricense*, 45(1), 129–141. https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0377-94242021000100129
- Hernández Escobar, M. R., Cortés Flores, J. I., Turrent Fernández, A., & Camas Gómez, R. (2024). Maíz y frijol en MIAF con diferentes labranzas y arreglos topológicos. *Terra Latinoamericana*, 42, 1–16. <https://doi.org/10.28940/terra.v42i0.1388>
- Lamz Piedra, A., Morales Soto, A., Peteira Delgado-Oramas, B. P., & Florido Bacallao, M. (2023). *Caracterización de 11 líneas de frijol común (Phaseolus vulgaris L.) resistentes a Zabrotes subfasciatus Boheman en Cuba*. *CienciaUAT*, 18(1), 178-190. <https://doi.org/10.29059/cienciauat.v18i1.1680>
- León Rojas, G. I., Rodríguez Soto, C., & Padilla Loredó, S. (2020). La conservación *in situ* del frijol criollo: construyendo soberanía alimentaria en el sureste del Estado de México. *Revista CoPaLa. Construyendo Paz Latinoamericana*, 5(9), 125-141. <https://doi.org/10.35600/25008870.2020.9.00159>
- Lépiz Ildefonso, R (1984) Avances de investigación en sistemas de producción que involucran frijol en México. *Germen* 2 (2): 1-46. <https://revfitotecnia.mx/index.php/RFM/article/view/1963/1869>
- Lépiz Ildefonso, R., López Alcocer, J. J., David Rodríguez, W., & Rodríguez Guzmán, E. (2025). Interacción simbiótica entre genotipos de frijol común y cepas de *Rhizobium spp.* *Revista Fitotecnia Mexicana*, 40(2), 157–166. <https://doi.org/10.28940/terra.v43i.1065>
- López Báez, L. L. Taboada Gaytán, O. R., Gil Muñoz, A., López, P. A., Ortiz Torres, E., Vargas Vázquez, M. L. & Díaz Cervantes, R. (2018). Diversidad morfoagronómica del frijol ayocote en el altiplano centro-oriente de Puebla. *Agricultura, sociedad y desarrollo*. 41(4), 487-497. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0187-73802018000500487&script=sci_arttext
- Martínez Gómez, G., Santos Corral, M. J., de Gortari Rabiela, R. N., Romo Lozano, J. L. & Vega Martínez, D. (2021). Aprendizaje cooperativo para la transferencia de la tecnología MIAF: los mixes de Oaxaca. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 12(1), 89–100. <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i1.2706>

- Medina Covarrubias, M. A., Arrieta Ramos, B. G., Jiménez Meza, V. M., & Pérez Robles, K. (2022). Arreglos topológicos en el cultivo intercalado de maíz y frijol en el sistema MIAF. *Revista Chapingo serie agricultura tropical*, 2(1), 45–57. https://www.researchgate.net/publication/369922909_Arreglos_topologicos_en_el_cultivo_intercalado_de_maiz_y_frijol_en_el_estado_de_Nayarit_Mexico
- Mex Álvarez, R. M. J., Garma-Quena, P. M., Yáñez Nava, D., Guillén Morales, M. M., & Novelo Pérez, M. I. (2021). Caracterización morfométrica de *Phaseolus vulgaris* en Campeche, México. *Revista CENIC Ciencias Biológicas*, 52(1), 32–38. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2221-24502021000100032
- Morales Reyes, J. L., Acosta Meza, H. G., Aquino Bolaños, E. N., Herrera Meza, S., Cruz Ramírez, N., & Chávez Servia, J. L. (2021). Clasificación de poblaciones nativas de frijol utilizando visión artificial. *Revista de tecnología e innovación en educación superior*, 4. 2 – 11. <https://doi.org/10.22201/dgtic.26832968e.2021.4.2>
- Pumalpa Meneses, D., Cantaro Segura, H., Estrada Cañari, R., & Huaranga Joaquín, A. (2020). Caracterización fenotípica y agronómica de líneas avanzadas del frijol. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 7(1), 7–20. http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2409-16182020000100003
- SAS institute inc (2004) SAS software release 9.0. SAS institute inc. Cary. NC.
- Regalado López, J., Castellanos Alanis, A., Pérez Ramírez, N., Méndez Espinoza, J. A., & Hernández Romero, E. (2012). Modelo asociativo para transferir la tecnología MIAF. *SAGARPA-INIFAP*, 30(56), 1–32. <https://doi.org/10.24836/es.v30i56.983>
- Rocandio M., Ramírez Vallejo, P., Castillo González, F., Miranda Colin, S., Gómez Estrada, J. A. (2009) Diversidad en características de interés agronómico de poblaciones nativas de frijol común en asociación con maíz. Int: Memoria del X Simposio Internacional y V Congreso Anual de Agricultura Sostenible. Sociedad Mexicana de Agricultura Sostenible, A.C. (ed). 9-14 de noviembre. Chiapas, México. pp 44-52.
- Rosales Serna, R., Almaraz Abarca, N., Sierra Zurita, D., Chaidez Ayala, A. I., & Delgado Alvarado, E. A. (2025). Diversidad genética en el complejo poblacional de la raza Durango de frijol *Phaseolus vulgaris* L. *Polibotánica*, 59, 313–327. <https://doi.org/10.18387/polibotanica.59.20>

Tapia Hernández, A., Aldasoro Maya, M. E., Rodríguez Robles, U., Martínez Zurimendi, P., & Rosset, P. (2019). Milpa intercalada con árboles frutales: revisión y estudio de caso en el Cañón del Usumacinta, Tabasco, México. *Agricultura, sociedad y desarrollo*. 21(2), 168-185. <https://doi.org/10.22231/asyd.v21i2.1580>