Agrofaz – Journal of Environmental and Agroecological Sciences vol 8 (1): 57-67

Agrofaz
Journal of Environmental and Agroecological Sciences

Métodos de selección para variedades de frijol resilientes a los efectos de las variaciones ambientales en Durango

Selection methods to obtain resilient common bean cultivars to the efects of environmental variations in Durango, Mexico

Rigoberto Rosales-Serna[1], Sergio Arellano-Arciniega[2*], Esteban Salvador Osuna-Ceja[2], Saúl Santana-Espinoza[3], Nery Cecilia García-de la Paz[4], Uriel González-Salas[4]

[1]INIFAP – Campo Experimental Valle del Guadiana. Carr. Durango – El Mezquital km 4.5. Durango, Dgo., México. C. P. 34170.
[2]INIFAP – Campo Experimental Pabellón. Carretera Aguascalientes-Zacatecas km 32.5. Pabellón de Arteaga, Ags., México. C. P. 20660.
[3]INIFAP – Campo Experimental La Laguna. Boulevard José Santos Valdéz 1200 Pte. Matamoros, Coah., Méx. C. P. 27440.
[4]Facultad de Agricultura y Zootecnia de la Universidad Juárez del Estado de Durango (FAZ-UJED), Carretera Gómez Palacio-Tlahualilo km 32, Venecia, Dgo., México, C. P. 35111.

*Autor para correspondencia: nery.garcia@ujed.mx

RESUMEN

El frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) proporciona alimentación y beneficios económicos y ecológicos en México. El objetivo fue identificar métodos de selección de germoplasma de frijol resiliente a los efectos de ambientes variables. El estudio se desarrolló en Durango, Dgo. Se incluyeron cinco ciclos de cultivo y seis materiales de frijol. La siembra se realizó entre el 20 de junio y 10 de julio, en un diseño completamente aleatorio con cinco repeticiones. Se aplicó la dosis de fertilización 35-50-00 (N-P_2O_5-K_2O). Se evaluó el número de días a floración y madurez, rendimiento y peso de 100 semillas. Se utilizó el análisis AMMI (SAS Ver. 9.4) y el estudio parcial de parámetros de estabilidad para el análisis estadístico de los resultados. El germoplasma con grano pinto mostró el número más bajo de días a floración (45-52 DDS) y madurez (100-111 DDS), comparado con el de grano negro (51-54 DDS, 115-117 DDS). Se obtuvieron diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$) entre años y variedades para rendimiento y peso de 100 semillas y la interacción Año x Variedad mostró significancia estadística ($p \leq 0.01$). NGO14014 (3,474 kg/ha), NGO14013 (3,381 kg/ha) y PID 2 (3,362 kg/ha) registraron el rendimiento más alto. PID 2 alcanzó un peso promedio de 40 g/100 semillas, favoreciendo su preferencia comercial. El análisis AMMI demostró que Pinto Saltillo y Negro San Luis fueron estables entre ambientes, con un nivel bajo de interacción (G x A), relacionado con su resiliencia y equilibrio intra-poblacional. PID 2, NGO94014 y NGO94013 mostraron respuesta alta entre ambientes. El método parcial de parámetros de estabilidad mostró superioridad de NGO14014 y PID 2, registrando una pendiente cercana a la unidad (b_i = 1.04-1.09) y valor alto para el coficiente de determinación (R^2 = 0.99). Este método mostró utilidad para la selección de germoplasma de frijol con valores altos de rendimiento y adaptación en ambientes variables. El mejoramiento genético generó líneas y variedades mejoradas de frijol con resiliencia a las variaciones ambientales.

Palabras clave: Adaptabilidad, mejoramiento, *Phaseolus vulgaris*, productividad.

ABSTRACT

The common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) provides food as well as economic and ecological benefits in Mexico. The objective was to identify selection methods for bean germplasm resilient to the effects of variable environments. The study was conducted in Durango, Durango. Five cropping cycles and six bean genotypes were included. Planting took place between June 20 and July 10, using a completely randomized design with

five replications. A fertilization rate of 35-50-00 (N-P2O5-K2O) was applied. Days to flowering and maturity, yield, and 100-seed weight were evaluated. AMMI analysis (SAS Ver. 9.4) and a partial study of stability parameters were used for the statistical analysis of the results. Pinto-grain germplasm showed the lowest number of days to flowering (45–52 days after sowing [DAS]) and maturity (100–111 DAS) compared to black-grain germplasm (51–54 DAS and 115–117 DAS, respectively). Highly significant differences ($p \leq 0.01$) were observed among years and varieties regarding yield and 100-seed weight, and the Year × Variety interaction was statistically significant ($p \leq 0.01$). NGO14014 (3,474 kg/ha), NGO14013 (3,381 kg/ha), and PID 2 (3,362 kg/ha) recorded the highest yields. PID 2 achieved an average weight of 40 g/100 seeds, favoring its commercial appeal. AMMI analysis demonstrated that Pinto Saltillo and Negro San Luis were stable across environments, exhibiting a low level of genotype-by-environment (G × E) interaction, which is associated with their resilience and intra-population balance. PID 2, NGO94014, and NGO94013 showed a high response across environments. The partial stability parameter method demonstrated the superiority of NGO14014 and PID 2, showing a slope close to unity (bi = 1.04–1.09) and a high coefficient of determination ($R^2 = 0.99$). This method proved useful for selecting bean germplasm characterized by high yields and adaptability to variable environments. Genetic improvement efforts yielded improved bean lines and varieties resilient to environmental fluctuations.

Keywords: Adaptability, improvement, *Phaseolus vulgaris*, productivity

INTRODUCCIÓN

El frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) es una especie de importancia ecológica, alimenticia y económica en Durango, debido a su cultivo extensivo, comercialización y consumo generalizado (Ayala *et al*., 2021). Esta especie, cumple una función ecológica fundamental para conservar el ambiente, debido a su capacidad para la fijación biológica de nitrógeno atmosférico (López *et al*., 2021). Con ello, el frijol contribuye directamente a la conservación natural de la fertilidad del suelo, cuando se incorporan los co-productos derivados de su cosecha (Dueñas *et al*., 2002). El grano de frijol obtenido durante la cosecha es utilizado por los agricultores durante todo el año para la alimentación familiar y obtención de ingresos económicos, mediante la comercialización, para luego adquirir otros bienes. Durante años se habían tenido problemas severos de comercialización del frijol, con las variedades tradicionales, algunas de grano pinto (Pinto Nacional, Pinto Burro, Pinto Villa), que mostraban tiempos de cocción prolongados (> 2 h en recipiente abierto) y oscurecimiento acelerado de la testa (Jacinto *et al*., 2017), lo que depreciaba el producto un mes después de la cosecha.

Ante los problemas de comercialización, el mejoramiento genético de frijol se orientó a la disminución del tiempo de cocción y tolerancia al oscurecimiento del grano, lo que derivó en la generación de la variedad Pinto Saltillo (Sánchez *et al*., 2004). Posterior a ello se han generado otras líneas y variedades mejoradas que conservan la tolerancia al oscurecimiento del grano y adicionalmente, tienen mejor presencia comercial en relación con Pinto Saltillo (Rosales *et al*., 2019). Entre dichas variedades ha sobresalido PID 2 (Rosales *et al*., 2025), la cual tiene granos más grandes que Pinto Saltillo y por su patrón de colores, es preferido y comercializado en varias entidades del norte de México (Durango, Coahuila y Nuevo León). Además, se introdujo la variedad Negro San Luis (Raza Jalisco), que muestra crecimiento abundante y rendimiento alto en años favorables (>450 mm de lluvia acumulada).

En la actualidad, las variedades de frijol más populares para su cultivo en Durango son Pinto Saltillo y Negro San Luis, por su productividad, aceptación comercial y consumo preferente en varias entidades de México. El cultivo extensivo y generalizado de estas variedades favoreció su equilibrio poblacional y la manifestación de genes y caracteres relacionados con la adaptación en ambientes restrictivos. Con ello, se favorecieron respuestas variables ante condiciones ambientales diversas, para obtener el rendimiento máximo ante la presencia de un tipo de estrés determinado. Las respuestas de la planta que se manifiestan en ambientes restrictivos implican la modificación de la fisiología, morfología y fenología del frijol (Zafar *et al*., 2024). En la última década, se generaron otras líneas y variedades mejoradas de frijol, las cuales fueron evaluadas en pruebas experimentales y lotes de validación semicomercial (< de 1.0 ha) y parcelas

comerciales (> de 1.0 ha). Entre ellas, se pueden mencionar PID 1, PID 2 (Rosales *et al*., 2020; Rosales *et al*., 2025) con grano pinto y las líneas mejoradas NGO14013 y NGO14014, las cuales producen grano negro-opaco con forma redondeada.

Durante años, se han buscado variedades que se adapten en ambientes múltiples, para favorecer su adopción masiva en las entidades más importantes para la producción de frijol en México. Derivado de los estudios en ambientes múltiples sobresalieron Pinto Villa y Pinto Saltillo, que fueron evaluados en más de 20 ambientes productivos antes de su registro como variedades comerciales. Se ha deliberado sobre la importancia que tienen la adaptación general y específica de las variedades de frijol y otros cultivos. Para ello, se han desarrollado diferentes métodos de evaluación y selección, entre los que sobresalen el método de parámetros de estabilidad (Córdova, 1991; Li, 2025) y el método AMMI (additive main-effects and multiplicative interaction) (Vargas y Crossa, 2000; Sa´diyah y Hadi, 2016). Con dichos métodos, es posible seleccionar variedades que muestran rendimiento estable entre ambientes variables de cultivo, produciendo algo de rendimiento en condiciones altamente restrictivas para la producción agrícola.

En la actualidad se requiere celeridad y eficiencia en los procesos de selección de variedades de frijol más productivas en un ambiente en particular (Adaptación Específica) y de preferencia en multiples ambientes (Adaptación General; Adaptabilidad Amplia). Es decir, se busca identificar variedades resilientes, que tengan capacidad para adaptarse a los cambios drásticos entre ambientes de producción. Los cambios ambientales se manifiestan en un mismo sitio a lo largo del ciclo de cultivo y entre años; aunque también, se observan cambios más drásticos entre sitios de producción durante el mismo ciclo productivo. Las modificaciones más importantes ante una exigencia ambiental se observan en la fisiología de la planta, que modifica su funcionamiento para ajustarse ante el estrés hídrico, térmico y nutricional (Zafar *et al*., 2024). Si el estrés se prolonga, entonces se presentan las respuestas morfo-fenológicas, mediante la modificación del dosel (forma) de la planta y duración de las etapas de desarrollo. El germoplasma de la raza Durango (Singh *et al*., 1991), con grano bayo y pinto, muestra modificación significativa de la fenológica ante la presencia de diferentes tipos de estrés ambientales. Con base en lo anterior, se requiere facilitar la selección de germoplasma mejorado con métodos prácticos y eficientes para el desarrollo de variedades de frijol con respuesta positiva y sobresaliente en ambientes variables. El objetivo fue evaluar el uso de diferentes métodos para su uso en la selección de variedades de frijol resilientes a las variaciones del ambiente en Durango.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del sitio.

El presente estudio se desarrolló en el Campo Experimental Valle del Guadiana (INIFAP), situado en las coordenadas 23° 59’ 21” N, 104° 37’ 33” O y una altitud de 1 877 m. En el sitio de siembra predomina el suelo del tipo franco-arcilloso (Castañozem), con profundidad intermedia, capacidad media para la retención de humedad, pendiente de 0 a 4%, pH de 7.9 y valores bajos para el contenido de materia orgánica, fósforo y nitrógeno. El clima predominante en la región es templado semiárido [BS_1 kw (w) (e)], con régimen de lluvias en verano, variación fuerte de temperatura y un valor promedio anual de 17.4 °C (García, 1987). La lluvia acumulada durante el año alcanza un promedio de 476 mm, con valores altos entre junio y septiembre (Medina *et al*., 2005). En el área de estudio es común observar periodos sin lluvia considerable y temperaturas altas, lo que causa estrés hídrico, incidencia fuerte de enfermedades (bacteriosis común y puriciones de raíz) y reducción del crecimiento de la planta y tamaño del grano.

Ambientes.

Los ambientes consistieron en los diferentes ciclos de cultivo establecidos en Durango, Dgo., en los que se sembraron los seis materiales de frijol en parcelas de validación-demostración. Se incluyeron cinco ciclos de cultivo de los periodos Primavera-Verano: 2017, 2018, 2023, 2024 y 2025. Se utilizó la condición de riego, para establecer el potencial de rendimiento en cada uno de los materiales de frijol incluidos en el estudio (Cuadro 1). Se consideraron variedades de diferente condición genética (nativas y mejoradas), razas genéticas (Singh *et al*., 1991), ciclo biológico y respuesta fenológica ante el estrés hídrico y térmico. En la raza Durango predominan las variedades de ciclo precoz e intermedio sensibles al fotoperiodo y tienen capacidad de reducir su ciclo biológico en respuesta al estrés (Rosales *et al*.,

2004). Mientras que en la raza Mesoamérica predominan las variedades de ciclo intermedio-tardío, neutrales al fotoperiodo y sin capacidad para ajustar la fecha de madurez (Rosales *et al*., 2001). La variedad Negro San Luis, perteneciente a la raza Jalisco, es tardía, sensible al fotoperiodo y las poblaciones seleccionadas por los productores de Durango muestran capacidad para ajustar su ciclo biológico en respuesta al estrés hídrico y temperaturas bajas.

Tabla 1. Variedades de frijol utilizadas en el estudio de métodos de selección de germoplasma resiliente a las variaciones ambientales en Durango.

Línea/Variedad	Condición	Raza Genética	Ciclo Biológico
NGO14014	Mejorada	Mesoamérica	Tardío
NGO14013	Mejorada	Mesoamérica	Tardío
Negro San Luis	Nativa	Jalisco	Tardío
PID 1	Mejorada	Durango	Intermedio
PID 2	Mejorada	Durango	Intermedio
Pinto Saltillo	Mejorada	Durango	Intermedio

Siembra.

La siembra se realizó entre el 20 de junio y 10 de julio, que coincidió con las fechas óptimas para la siembra que se recomiendan en Durango, para la condición de riego (Tijerina *et al*., 2017). La siembra se realizó después del riego de pre-siembra y en los casos que coincidió se aprovechó el agua de lluvia, cuando ésta fue suficiente para la germinación de la semilla y emergencia de las plántulas de frijol.

Manejo experimental.

Se utilizó un diseño completamente aleatorio, con cinco repeticiones y la parcela útil fue de dos surcos de 5.00 m de longitud, con una separación de 0.81 m (8.10 m^2). Se aplicaron las recomendaciones del INIFAP para el cultivo de frijol en riego (Tijerina *et al*., 2017), que incluye principalmente, la aplicación de la dosis de fertilización 35-50-00 (N-P_2O_5- K_2O); así como, el control de la maleza con dos escardas y una aplicación de herbicida (fomesafen). Los insectos plaga (*Epilachna varivestis*, *Trichapion godmani* y ocasionalmente *Brachystola magna*) se controlaron mediante la aplicación, de manera rotativa, de los insecticidas spinetoram y dimetoato, en un total de tres y hasta seis ocasiones.

Registro de datos.

Se registraron datos para variables fenológicas (días a floración y madurez), reacción a enfermedades, rendimiento y peso de 100 semillas. El número de días a floración se registró cuando más del 50% de las plantas, en cada variedad y repetición, mostraron al menos una flor abierta en forma reciente (CIAT, 1987). Por su parte, la madurez se determinó cuando más del 50% de las plantas de cada variedad y repetición pasaron del verde, característico de la variedad, al amarillo relacionado con la madurez fisiológica de la planta. La reacción a las enfermedades más comunes (antracnosis, roya y bacteriosis) se evaluó en la etapa del llenado de grano, con base en la escala de 1 a 9, propuesta por el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT, 1987), donde los valores entre 1 y 3 se consideran resistentes; 4 a 6 son intermedios y 7 a 9 se consideran susceptibles. En la etapa de madurez se determinó el rendimiento de grano y peso de 100 semillas. Para estimar el rendimiento en kg/ha, se cortaron muestras de dos surcos de cinco metros y separación de 81.0 cm (8.1 m^2). Las muestras se secaron al sol por dos semanas, para luego trillarse, limpiarse mecánicamente y obtener el peso en gramos por parcela (g/parcela). Además, se tomaron al azar 100 granos completos y sin defectos, detectables visualmente, para determinar la variable peso de 100 semillas.

Análisis estadístico.

Los datos obtenidos para rendimiento y peso de 100 semillas se utilizaron en el análisis estadístico mediante el modelo AMMI (Vargas y Crossa, 2000) para cinco ambientes y seis variedades en el programa de cómputo SAS Ver. 9.4. Además, se incluyó el estudio parcial de parámetros de estabilidad para el rendimiento de grano, sustentado con datos de cinco ambientes de cultivo. Este último análisis se obtuvo, para la comparación de la respuesta de algunas líneas mejoradas de frijol, con respecto a los testigos comerciales más utilizados en Durango (Negro San Luis y Pinto Saltillo). Lo anterior, mediante el estudio del Índice Ambiental de cada uno de los sitios; así como, el coeficiente de determinación (R^2), pendiente de la ecuación lineal (b_i = 1). El programa Excel de Microsoft Office® se utilizó para la obtención de algunos parámetros estadísticos y generación de gráficas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Variables fenológicas.

Se observaron diferencias numéricas entre años y materiales de frijol para la cantidad de días a floración y madurez fisiológica (Tablas 2 y 3). Las variedades con grano pinto, de la raza Durango, mostraron un número menor de días a la floración (45-52 días después de la siembra; DDS) y madurez (100-111 DDS); mientras que, las más tardías fueron las de la raza Jalisco y Mesoamérica (51-54 DDS, 115-117 DDS). Lo anterior, incrementó los riesgos por las temperaturas bajas, que pueden causar heladas tempranas y la incidencia de déficit hídrico, factores que reducen el rendimiento y peso de la semilla. De esta forma, se observó que 2023 fue el año más severo para la producción agropecuaria en Durango, debido a la cantidad baja de lluvia acumulada (263 mm) y las temperaturas bajas que se presentaron a partir del mes de octubre (Figura 1). Lo anterior, tuvo efectos sobre la fenología, rendimiento y peso de la semilla, tanto en las condiciones de temporal como en riego. En ese año, se redujo la duración promedio de las fases de desarrollo en todos los materiales de frijol, tanto para floración (49 días después de la siembra, DDS), como para la madurez (104 DDS). Los efectos negativos se observaron en el rendimiento promedio de grano, por lo que durante ese año se registró el nivel más bajo de productividad.

Rendimiento y peso de 100 semillas.

Se obtuvieron diferencias altamente significativas (p 0.01) entre años y variedades para el rendimiento y peso de 100 semillas (Tablas 2 y 3). Además, la interacción Año x Variedad mostró significancia (p 0.01), lo que se relacionó principalmente con la variación en la respuesta de los materiales de frijol entre años de evaluación, los cuales mostraron variabilidad considerable en la variables climáticas. El rendimiento más alto fue obtenido por la línea mejorada NGO14014 (3,474 kg/ha), seguida por la línea NGO14013 (3,381 kg/ha) y la variedad PID 2 (3,362 kg/ha). Con base en los resultados obtenidos, puede decirse que se logró avance genético para el rendimiento obtenido con frijol en Durango, aunque esto se puede verificar únicamente en la condición de riego. En dichos logros se incluyeron los trabajos realizados en los programas de mejoramiento genético de frijol desarrollados por el INIFAP en Durango, Dgo. y Celaya, Gto. La variedad PID 2, se liberó comercialmente en 2025, a partir de la línea mejorada PT14053, seleccionada en diferentes ambientes principalmente de riego y algunos temporal del Altiplano Semiárido de México (Rosales et al., 2025). Dicha variedad, ha resultado exitosa por su productividad, aceptación y calidad comercial, esto último en diferentes entidades del norte de México (Durango, Coahuila y Nuevo León).

Cuadro 2. Análisis de varianza (AMMI) para variables fisiológicas evaluadas en germoplasma de frijol común cultivado en cinco ambientes de producción en Durango.

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Rendimiento kg/ha	Días a Floración	Días a Madurez Fisiológica	Peso de 100 Semillas (g)
Ambientes (A)	4	11.2**	--	--	257.3**
Variedades (V)	5	2.0**	--	--	393.8**
A x V	18	0.8**	--	--	27.6**
Error	120	0.2	--	--	1.5
Promedio		3,216	--	--	35
[1]C. V. (%)		14.3	--	--	3.4

** = altamente significativo ($p \leq 0.01$), [1]C. V. = coeficiente de variación.

Tabla 3. Análisis de varianza para variables morfo-fisiológicas evaluadas en germoplasma de frijol común cultivado en cinco ambientes de producción en Durango.

Factor	Rendimiento kg/ha	Días a Floración	Días a Madurez Fisiológica	Peso de 100 Semillas (g)
Variedades				
NGO14014	3,474	54	115	32
NG San Luis	3,166	52	117	34
NGO14013	3,381	51	116	30
PID 1	2,936	45	102	40
Pinto Saltillo	2,842	47	100	37
PID 2	3,362	52	111	40
Ambientes				
2017	2,732	50	111	38
2018	3,468	54	118	35
2023	2,410	49	104	37
2024	3,736	47	107	33
2025	3,736	50	111	34
Promedio	3,216	50	110	35
[1]C.V. (%)	14.3			

[1]C. V. = coeficiente de variación.

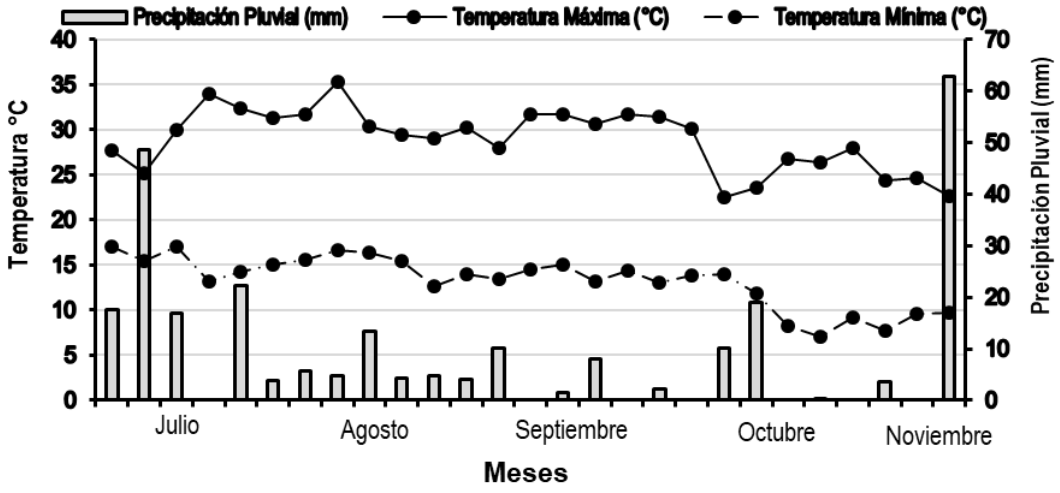


Figura 1. Variables climáticas registradas en el Campo Experimental Valle del Guadiana (INIFAP), en Durango, Dgo. 2023.

El peso de 100 semillas registrado en las variedades liberadas recientemente (PID 1 y PID 2), alcanzó un peso promedio de 40 g/100 semillas, lo que favoreció la aceptación comercial. Dichas variedades, mostraron mejor calidad comercial, comparadas con el testigo comercial Pinto Saltillo (37 g/100 semillas), debido a que mostraron tamaño mayor del grano y patrón de colores más atractivos para el consumidor. En el caso de las líneas y variedades de grano negro, se observaron niveles intermedios para el peso del grano (30-34 g/100 semillas). Con ello, se pudo acanzar la clase comercial Negro Jamapa y Negro Michigan, aunque se reduzca el tamaño del grano, por efecto del estrés hídrico registrado en Durango al final del ciclo de cultivo (octubre). Debido a lo anterior, se observó efecto ambiental significativo (Tabla 2), por efecto del estrés hídrico y la reducción de la temperatura que disminuyen el crecimiento y desarrollo de la planta de frijol; así como, el tamaño de la semilla. Tal fue el caso de 2024, en los que se obtuvo el rendimiento promedio más alto y el peso de la semilla más bajo, debido a la compensación entre los componentes del rendimiento, similar a los resultados obtenidos en otros estudios previos (Fernández, 2024). En contraste, en algunos ambientes, se observó incremento en el peso de las semillas, especialmente cuando se redujo el rendimiento de grano.

Los resultados del análisis AMMI mostraron que la variedad mejorada Pinto Saltillo se ubicó en el punto más cercano al origen, de ambos ejes (X y Y), lo cual se relacionó con una respuesta estable entre ambientes de evaluación (Figura 2). Con ello, se demostró un nivel bajo de interacción con las condiciones agro-meteorológicas registradas durante el periodo de evaluación (ambientes de prueba). Situación similar se observó en la variedad nativa Negro San Luis, la cual presentó cercanía al eje X relacionado con la respuesta a los factores principales (ambientes y variedades); mientras que, el eje Y se relacionó con la interacción entre dichos factores (Ambiente x Variedad) (Mullualem *et al*., 2024). El nivel bajo de interacción con el ambiente, pudo resultar del equilibrio en las poblaciones de estas variedades, debido a que tienen décadas de cultivo continuo en el Altiplano Semiárido de México. En cambio, el resto de las variedades y líneas mejoradas mostraron un nivel alto de interacción con los ambientes de prueba y pueden considerarse como materiales con adaptación específica en algunos ciclos de cultivo (Mullualem *et al*., 2024).

La respuesta observada en el germoplasma de frijol se relacionó con los ambientes de selección y cultivo, durante el periodo de generación, validación y siembra comercial en entidades diferentes de México. De esta forma, la variedad Pinto Saltillo mostró un nivel bajo de interacción (Ambiente x Variedad), debido a que fue seleccionada y tiene décadas de cultivo en ambientes múltiples, de riego y temporal, del Altiplano Semiárido de México. Por su parte, Negro San Luis es una variedad nativa (criolla) que se ha cultivado durante décadas en ambientes variados de Durango, Zacatecas y Jalisco. Por ello, las poblaciones de ambas variedades se han equilibrado y muestran resiliencia en ambientes de cultivo variables, tanto en temperatura como de precipitación pluvial. Por su parte, las variedades PID 1 y PID 2; así como, las líneas NGO14013 y NGO14014, fueron generadas, en la última década, principalmente en la condición de riego, por lo que su respuesta se incrementa en esa condición de cultivo. En el presente estudio únicamente se aplicó riego de auxilio para evitar el estrés hídrico severo, a pesar de ello, la demanda ambiental se incrementó en años con precipitación pluvial escaza y temperaturas superiores a los promedios históricos, como fue el caso del ciclo 2023. Estos materiales presentan rendimiento drásticamente variable a través de los ambientes de cultivo. Algunos autores consideran que la identificación de variedades con adaptación específica es crucial para mejorar la productividad de los cultivos y los programas de mejoramiento genético que se desarrollan en un área determinada.

En Durango, se han seleccionado líneas y variedades mejoradas con adaptación específica, las cuales pueden usarse para incrementar significativamente el rendimiento en ambientes de riego y buen temporal de la región de Los Llanos de Durango; así como, en otras regiones de México con condiciones similares de cultivo. Con base en los resultados, las líneas NGO14013, NGO14014 y la variedad PID 2 fueron las de rendimiento más alto en la mayoría de los ambientes de prueba, gracias a su potencial de rendimiento alto, demostrado en los años de productividad mayor. Las variedades que se ubicaron en el cuadrante positivo fueron las de grano pinto (PID 1 y PID 2), debido a su resiliencia que favoreció su adaptación en condiciones

agroclimáticas variables. Dichas variedades son utilizadas comercialmente en diferentes áreas productoras de Durango, como son los Valles de Canatlán y el municipio de Guadalupe Victoria. En este último municipio, el uso extensivo de PID 2 favoreció el comercio en varias entidades del norte de México, donde es apreciado por su tamaño y color de grano.

Las variedades más exitosas en la actualidad, Negro San Luis, se ubicaron en el cuadrante negativo, aunque presentaron cercanía al eje X, lo que se interpretó como estabilidad del rendimiento entre ambientes de evaluación. La ubicación en el cuadrante negativo se relacionó con las deficiencias en la respuesta fenológica, rendimiento y peso de 100 semillas. Es decir, Negro San Luis tiene riesgo alto de producción, debido a la madurez tardía (115-120 DDS) que contrasta con la estación de cultivo de temporal, que tiene una duración máxima de 96 días después de la siembra. Lo anterior, si se consideran las posibilidades mínimas de una helada tardía (segunda semana de mayo), el inicio del periodo de lluvias (segunda quincena de junio), posibilidad de la primera helada y reducción drástica de las probabilidades de lluvia (primera quincena de octubre).

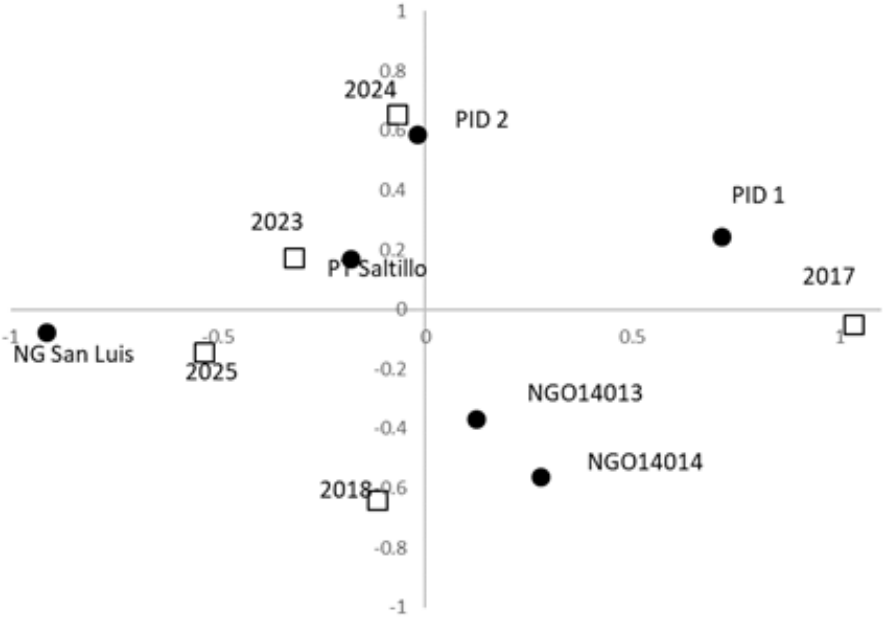


Figura 2. Componentes principales uno y dos del análisis de estabilidad del rendimiento en germoplasma de frijol evaluado en cinco ambientes de producción en Durango.

El método parcial de parámetros de estabilidad de rendimiento mostró superioridad de algunas líneas y variedades mejoradas, como fue el caso de NGO14014 y PID 2, en relación con los testigos comerciales Negro San Luis y Pinto Saltillo (Figura 3). Otras variedades como PID 1, mostraron rendimiento alto en algunos ambientes; sin embargo, en otros se redujo drásticamente a pesar de ser favorable para el resto de las variedades incluidas en el estudio. Por ello, se observó variación en la pendiente del modelo (b_i = 0.904) y valor bajo para el coficiente de determinación (R^2 = 0.98). En el caso de la línea NGO14014 y la variedad PID 2 mostraron pendiente del modelo cercana a la unidad (b_i = 1.08-1.09) y valor alto para el coeficiente de determinación (R^2 = 0.99). El método de parámetros de estabilidad muestra versatilidad y facilidad de selección de germoplasma de frijol con valores altos de rendimiento y adaptación en ambientes variables de cultivo.

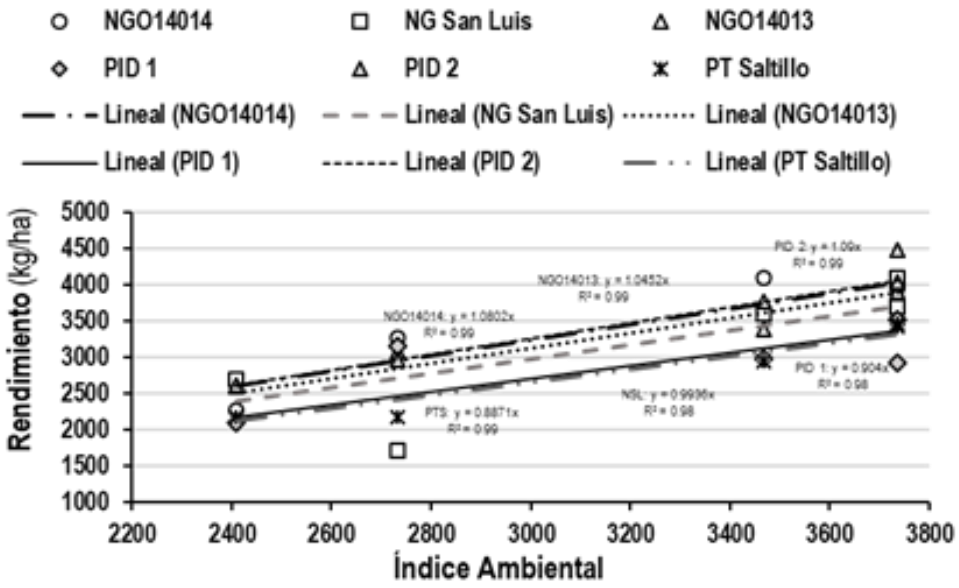


Figura 3. Estudio parcial del análisis de parámetros de estabilidad para seis variedades de frijol evaluadas en cinco ambientes de cultivo, en Durango.

El mejoramiento genético de frijol ha generado líneas y variedades mejoradas que muestran resiliencia a las variaciones agro-meteorológicas entre los ambientes de cultivo existentes en Durango. Lo anterior, se logró mediante la recombinación genética entre variedades de diferentes acervos y razas genéticas de frijol. Además, influyó el uso de ambientes múltiples de cultivo para la selección de variedades sobresalientes por su interacción con el ambiente. Se observó que la variabilidad intra-poblacional, derivada de la heterogocidad y vigor generados durante la recombinación genética. A medida que se incrementa el número de autofecundaciones se observa avance de la homogocidad y se favorece el equilibrio génico de las poblaciones de cada línea y variedad mejorada. Lo anterior, es importante en poblaciones derivadas de hibridaciones multiples entre acervos y razas genéticas de frijol. En la actualidad se busca agilizar la obtención de germoplasma de frijol sobresaliente, lo que limita el tiempo para realizar la selección individual y masal en las poblaciones heterogéneas-heterocicotas derivadas de la recombinación genética en los programas de mejoramiento genético.

CONCLUSIONES

El mejoramiento genético de frijol ha permitido la generación de líneas y variedades mejoradas resilientes a las variaciones ambientales, derivadas del cultivo en diferentes años en la misma localidad, sitios diferentes durante la misma estación de crecimiento; así como, las variaciones generadas por el calentamiento global en un mismo ciclo de cultivo.

Sobresalieron por su interacción genético-ambiental la variedad PID 2 y la línea mejorada NGO14014, las cuales mostraron niveles altos de rendimiento y peso de 100 semillas aceptables dentro de la clase comercial particular.

Las variedades Pinto Saltillo y Negro San Luis mostraron estabilidad del rendimiento debido a la homeostásis presente en sus poblaciones, derivada de su cultivo extensivo y prolongado en ambientes diversos del Altiplano Semiárido de México.

Las variedades que han sido cultivadas por varios años en Durango, muestran resiliencia, respuesta estable y poca interacción con el ambiente debido al equilibrio génico intra-poblacional.

.

LITERATURA CITADA

Ayala G., A. V., J. A. Acosta G., y L. Reyes M. 2021. El cultivo del frijol presente y futuro para

México. Libro Técnico Núm. 1. INIFAP-CIRCE-Campo Experimental Bajío. Celaya, Gto., México. 232 p.

CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). 1987. Sistema estándar para la evaluación de germoplasma de frijol. In: A. van Shoonhoven y M. A. Pastor- Corrales (comps.). Cali, Colombia. 87 p.

Córdova, H. S. 1991. Estimación de parámetros de estabilidad para determinar la respuesta de híbridos de maíz (Zea mays L.) a ambientes contrastantes de Centro América, Panamá y México. Agronomía Mesoamericana 2: 01-10.

Dueñas, G., O. Muñiz, T. Sánchez, L. Gómez, y H. Alvarez. 2002. Reciclaje de nitrógeno en una sucesión frijol-maíz-frijol en suelo ferralítico usando el método isotópico. Terra Latinomericana 20(1): 45-50.

Fernández R., M. 2014. Response of improved common bean (Phaseolus vulgaris L.) varieties to intermittent drought. Agro productividad 17(5): 3-9.

García M., E. 1987. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (Para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). 4a. ed. Enriqueta García de Miranda. México, D. F. 217 p.

Jacinto H., C., I. Bernal L., R. Garza G., y D. Garza G. 2017. Cambios poscosecha en frijol durante el almacenamiento prolongado en contraste en el envejecimiento acelerado. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 8(8): 1827-1837.

Li, J., D. Jia, Z. Zhou, J. Du, Q. Xiao, and M. Cao. 2025. Stability analysis and multi-trait selection of flowering phenology parameters in olive cultivars under multi-environment trials. Plants 14(13): 1906.

López A., J. J., R. Lépiz I., D. R. González E., R. Rodríguez M., E. López A. 2021. Eficiencia en fijación biológica de nitrógeno de cepas de Rhizobium spp. recolectadas en frijol cultivado y silvestre. Terra Latinoamericana 38(4): 841-852.

Medina G., G., G. Díaz P., J. López H., J. A. Ruiz C., y M. Marín S. 2005. Estadísticas climatológicas básicas del estado de Durango (Periodo 1961-2003). Libro Técnico Núm. 1. SAGARPA-INIFAP-CIRNOC-Campo Experimental Valle del Guadiana. Durango, Dgo. México. 224 p.

Mullualem, D., A. Tsega, T. Mengie, D. Fentie, Z. Kassa, A. Fassil, D. Wondaferew, T. A. Gelaw, and T. Astatkie. 2024. Genotype-by-environment interaction and stability analysis of grain yield of bread wheat (Triticum aestivum L.) genotypes using AMMI and GGE biplot analyses. Heliyon 10(12): e32918, 1-16.

Rosales S., R., R. Ochoa M., y J. A. Acosta G. 2001. Fenología y rendimiento del frijol en el altiplano de México y su respuesta al fotoperiodo. Agrociencia 35(5): 513-523.

Rosales S., R., J. Kohashi S., J. A. Acosta G., C. Trejo L., J. Ortiz C., and J. D. Kelly. 2004. Biomass distribution, maturity acceleration and yield in drought-stressed common bean cultivars. Field Crops Research 85: 203-211.

Rosales S., R., H. Flores G., C. A. Nava B., e I. A. Ortiz S. 2019. Rendimiento y calidad de grano en líneas mejoradas de frijol cultivadas bajo riego en Durango, México. Revista Fitotecnia Mexicana 42(1): 39-46.

Rosales S., R., H. Flores G., y S. Santana E. 2020. PID 1, variedad mejorada de frijol pinto para el estado de Durango. Folleto Técnico Núm. 117. INIFAP-CIRNOC-Campo Experimental Valle del Guadiana. Durango, Dgo., México. 21 p.

Rosales S., R., H. Flores G., S. Santana E., A. Anaya S., y A. Reyes G. 2025. PID 2: improved pinto bean variety with high yield and extended shelf life. Agro Productividad 18(11): 41-47.

Sa´diyah, H. and A. F. Hadi. 2016. AMMI Model for yield estimation in multi-environment trials: A comparison to BLUP. Agriculture and Agricultural Science Procedia 9: 163-169.

Sánchez V., I., J. A. Acosta G., F. J. Ibarra P., R. Rosales S., and S. P. Singh. 2004. Registration of 'Pinto Saltillo' common bean. Crop Science 44(5): 1865-1866.

Singh, S. P., P. Gepts, and D. G. Debouck. 1991. Races of common bean (Phaseolus vulgaris, Fabaceae). Economic Botany 45(3): 379–396.

Tijerina Ch., A. D., D. Torres H., I. Reyes J., P. A. Domínguez M., R. Jiménez O., y R. Rosales S. 2017. Agenda técnica agrícola Durango y La Laguna. Compilación. SAGARPA-COFUPRO-INIFAP. México. 196 p.

Vargas, H. M. y J. Crossa. 2000. El análisis AMMI y la gráfica del biplot en SAS. Centro Internacional para el Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). Distrito Federal, México. 42 p.

Zafar, S., M. K. Khan, N. Aslam, and Z. Hasnain. 2024. Impact of different stresses on morphology, physiology, and biochemistry of plants. In: Shahid, M., Gaur, R. (eds.). Molecular dynamics of plant stress and its management. Springer, Singapore. pp. 67-91.

.