

Rendimiento y calidad de grano en variedades mejoradas de frijol cultivadas en durango

Yield and grain quality in improved common bean cultivars grown in Durango, México

Rigoberto Rosales-Serna¹, Saúl Santana-Espinoza¹, Cynthia Adriana Nava-Berumen^{2*}, Ramón Garza-García³
y Sonia Valdez-Ortega²

¹INIFAP – Campo Experimental Valle del Guadiana. Carretera Durango – El Mezquital km 4.5. Durango, Dgo., México. C. P. 34170.

²Tecnológico Nacional de México – Campus Instituto Tecnológico del Valle del Guadiana. Carretera Durango – México km 22.5. Villa Montemorelos, Dgo., México. C. P. 34371.

³INIFAP – Campo Experimental Valle de México. Carretera Los Reyes – Texcoco km 13.5. Coatlinchán, Texcoco, Edo. de Méx., México. C. P. 56250.

*Autor para correspondencia: *cadrianan@hotmail.com

RESUMEN

El mejoramiento genético es una opción sostenible para incrementar la productividad del frijol en México. El objetivo fue evaluar el rendimiento y calidad del grano en germoplasma mejorado de frijol cultivado en dos localidades de Durango. Se estableció una parcela con cuatro variedades (Pinto Saltillo, PID 1, NOD 1 y Negro San Luis) en La Soledad y Durango, donde se incluyeron las líneas PT14053 y PT14036. Se evaluó: rendimiento, tiempo de cocción (TC) y contenido de proteína cruda (PC), ceniza (CE), fibra cruda (FC), grasa cruda (GC) y extracto libre de nitrógeno (ELN). Los datos se analizaron con un diseño completamente aleatorio y cinco repeticiones. En Durango, se detectaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) para rendimiento, PC, FC, ELN y TC. El rendimiento promedio fue mayor en Durango (2,768 kg/ha), donde sobresalió PT14053 (4,223 kg/ha). En ambos sitios, se detectaron niveles estadísticamente iguales para CE (3.8%-4.6%) y GC (0.9%-2.6%). La PC fue baja en La Soledad (19.0%), comparada con Durango (20.7%), donde fluctuó significativamente (17.6%-25.1%). En Durango, la mayoría de los materiales mostraron igualdad estadística para FC (2.7% a 3.5%) y en La Soledad, Pinto Saltillo (5.4%) superó al resto (2.6% a 3.0%). En ambos sitios, el ELN presentó valores entre 67.3% y 75.9% y el TC varió desde 60 min hasta 70 min. El mejoramiento genético incrementó el rendimiento en frijol. La línea PT14053 registró rendimiento sobresaliente y tiempo de cocción bajo. Negro San Luis mostró contenido alto de proteína y tiempo de cocción bajo, lo que sustenta su uso en Durango y Zacatecas.

Palabras Clave: *Phaseolus*, productividad, adaptación, competitividad y mejoramiento.

ABSTRACT

Genetic improvement is a sustainable option to increase bean productivity in México. The objective was to evaluate yield and bean quality in improved bean germplasm grown at two locations in Durango. A plot with four common bean cultivars (Pinto Saltillo, PID 1, NOD 1 and Negro San Luis) was established at La Soledad and Durango, where lines PT14053 and PT14036 were included. Seed yield, cooking time (CT) and the content of ash (AS) and crude protein (CP), fiber (CF), fat (CG) and nitrogen free extract (NFE) were evaluated. Data was analyzed under a completely randomized design and five replicates. In Durango, significant differences ($p \leq 0.05$) were detected for seed yield, CP, CF, NFE and CT. The average yield was higher in Durango (2,768 kg/ha), where PT14053 (4,223 kg/ha) registered the highest yield. At both sites, statistically equal levels were detected for AS (3.8%-4.6%) and CG (0.9%-2.6%). CP was lower in La Soledad (19.0%), compared to Durango (20.7%), where significant fluctuation was observed (17.6%-25.1%). In Durango, most of the materials resulted statistical similar for CF (2.7% to 3.5%) and in La Soledad, Pinto Saltillo (5.4%) overpassed the other cultivars (2.6% to 3.0%). At both sites, NFE registered values between 67.3% and 75.9% and CT ranged from 60 min to 70 min. Genetic improvement increased common bean yield,



and the line PT14053 showed the highest yield and low cooking time. Negro San Luis registered high protein content and low cooking time, supporting its use in Durango and Zacatecas.

Keywords: *Phaseolus*, productivity, adaptation, competitiveness, and crop breeding

INTRODUCCIÓN

El frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) es un cultivo importante en Durango, debido a los beneficios múltiples sobre la fertilidad del suelo, generación de recursos económicos para el productor, y características nutritivas, relacionadas principalmente con el contenido de proteína en la semilla (Yadav y Raverkar, 2021). El tiempo de cocción es otra característica importante, para la cual se requieren valores bajos, con la finalidad de reducir la cantidad de gas y leña utilizada en el hogar para la cocción del frijol; así como, para la disminución de los gases de efecto invernadero generados durante el proceso. Las variedades mejoradas PID 1 y NOD 1 fueron liberadas en 2020 principalmente para áreas de riego en el estado de Durango, México (Rosales *et al.*, 2020 a y b). Otras líneas mejoradas sobresalientes (PT14036 y PT14053) requieren validación en parcelas comerciales para establecer sus posibilidades de adopción por parte de los productores y consumidores de frijol.

Las variedades con grano negro opaco, como NOD 1, son consideradas como preferentes únicamente para los mercados del centro y sur de México; así como, para los mercados de exportación. Algunas variedades de grano brillante, como Negro San Luis, son populares para su siembra en Durango y Zacatecas, por su vida de anaquel prolongada y facilidad de mercado, cuando el frijol negro de grano opaco es escaso en el centro y sur de México. Es necesario considerar los parámetros relacionados con la calidad, adopción y preferencia de variedades durante el mejoramiento genético para incrementar la eficiencia en los programas de transferencia de tecnología desarrollados en México. La evaluación en múltiples sitios, robustece el dominio de recomendación de las variedades comerciales de frijol desarrolladas en Durango, aunque se incrementan también los recursos requeridos para la realización de esa actividad.

El trabajo conjunto con productores cooperantes ha favorecido la validación del germoplasma de frijol desarrollado en Durango. Con base en lo anterior, en los últimos años se seleccionó un grupo de líneas mejoradas de frijol obtenidas a partir de cruzamientos múltiples y fueron validadas internamente en las

instalaciones del INIFAP en Durango y Sonora. Dichas líneas, requieren validación en terrenos de productores cooperantes, para establecer su adaptabilidad y aceptación comercial; así como, para evaluar la calidad nutricional y culinaria. Los criterios de selección por parte de los productores varían en lo que respecta a la apariencia de la semilla, luego se analiza el aspecto de la planta en condiciones de campo, buscando el crecimiento acelerado y que el dosel vegetal cubra el suelo.

El crecimiento del dosel, también debe tener la posibilidad de manejo con la maquinaria actual durante el cultivo, cosecha, alomillado y trilla del frijol. El productor considera que las plantas compactas, con guías cortas y sin capacidad para trepar son inapropiadas para su cultivo de frijol en Durango. El ideotipo para la planta de frijol lo representan las variedades Canario, Querétaro y Negro San Luis, por su porte, tipo de planta, rendimiento y facilidad para cosecha y trilla con la maquinaria actual. Las características indeseables de ese tipo de variedades es la longitud del periodo de vida y la susceptibilidad a algunas enfermedades fungosas como antracnosis (*Colletotrichum lindemuthianum*), roya (*Uromyces appendiculatus* var. *appendiculatus*) y pudriciones de raíz (*Rhizoctonia* spp., *Fusarium oxysporum* y *Pithium* spp.). El objetivo fue evaluar el rendimiento y calidad del grano en variedades y líneas mejoradas de frijol cultivadas en parcelas comerciales establecidas en Durango, México.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se estableció una parcela comercial de una hectárea, en Durango y La Soledad (Canatlán), en el estado de Durango. Se utilizaron tres variedades mejoradas (Pinto Saltillo, PID 1, NOD 1) y una criolla (Negro San Luis), las cuales fueron sembradas el 10 de julio en Durango y el 13 de julio de 2020, en La Soledad, Canatlán, Dgo. En la parcela de Durango se incluyeron también dos líneas mejoradas de frijol (PT14036 y PT14053). Los materiales fueron sembrados en franjas apareadas (parcelas experimentales), que consistieron de 24 (La Soledad) a 40 (Durango, Dgo.) surcos de 100 m de longitud y 0.81 m de separación. Se fertilizó al momento de la

siembra con la dosis 35-50-00 (para $N-P_2O_5-K_2O$) y se aplicó también fertilización foliar durante la floración y formación de vainas. Se aplicó de uno (La Soledad) a tres (Durango) riegos para evitar estrés hídrico severo en las plantas de frijol y se asperjó insecticida (dimetoato) en dos ocasiones para el control del picudo de la vaina (*Apion* sp.).

Se evaluó el rendimiento, mediante la obtención de cinco a seis muestras en las parcelas de cada variedad. Las muestras consistieron de dos surcos de 5 m de largo y 0.81 m de ancho (8.1 m²) y estas, se secaron de manera natural (al sol) y se trillaron y limpiaron mecánicamente. Después, se obtuvo el peso del grano en cada muestra y se estimó el rendimiento en kilogramos por hectárea. En laboratorio se determinó el contenido de ceniza (CE), proteína cruda (PC), fibra cruda (FC), grasa cruda (GC) y extracto libre de nitrógeno (ELN), con base en las recomendaciones de la AOAC, (1990). La proporción de CE se determinó mediante la incineración de una submuestra a 550 °C. El contenido de PC fue evaluado mediante el método microKjeldahl, multiplicando el valor de nitrógeno total por el factor de 6.25. El contenido de GC (extracto etéreo) se midió por el método de extracción continua en el aparato Soxhlet con éter de petróleo. El contenido de FC se determinó mediante la digestión de la muestra con H_2SO_4 0.255 N y posteriormente, con NaOH 0.313 N. El ELN se calculó mediante sustracción con respecto a 100%, de las fracciones de PC, CE, GC y ELN.

La determinación del tiempo de cocción (TC) se inició con el remojo (18 h) en agua destilada de 25 semillas

de cada variedad. Luego del remojo se colocaron las semillas en un aparato Mattson, se mantuvieron inmersas en agua en ebullición y se registró el periodo requerido para que cada una de las 25 agujas atravesaran las semillas, para luego obtener el valor promedio, el cual fue considerado como el tiempo de cocción. El análisis de varianza se obtuvo para cada una de las localidades de estudio, bajo un diseño en bloques completos al azar con tres (variables de laboratorio) a cinco (variables de campo) repeticiones y la prueba de medias se obtuvo con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$), en ambos casos mediante el uso del programa de cómputo SAS ver. 9.4®.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Durango, Dgo.

Rendimiento (kg/ha). En Durango, se detectaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre líneas y variedades de frijol para el rendimiento de grano, contenido de proteína, fibra, extracto libre de nitrógeno y tiempo de cocción (Cuadro 1). El rendimiento medio fue menor en La Soledad (1,080 kg/ha), en comparación con Durango (2,768 kg/ha), donde sobresalió la línea mejorada PT14053 (4,223 kg/ha) que presentó un valor de productividad significativamente superior. Dicha línea fue derivada de cruzamientos en los que se incluyeron padres múltiples y genéticamente distantes (PTBayacora/Maverick///PTClaro/PTSaltillo//PTSaltillo/PTVilla-2-6), lo cual favoreció el rendimiento potencial del frijol pinto producido en Durango.

Cuadro 1. Rendimiento y calidad de grano en líneas y variedades de frijol cultivadas en Durango, México.

Línea/Variedad	¹ Rend. (kg/ha)	CE (%)	PC (%)	GC (%)	FC (%)	ELN (%)	TC (min)
Durango							
PID 1	2873 ^{bcd}	3.8	17.6 ^b	0.9	1.9 ^b	75.9 ^a	70 ^a
² PT14053	4223 ^a	4.1	20.5 ^{ab}	1.5	2.7 ^{ab}	71.2 ^{ab}	60 ^b
NOD 1	2084 ^e	4.5	21.4 ^{ab}	2.3	2.9 ^{ab}	68.9 ^{ab}	66 ^{ab}
PT14036	3185 ^{bc}	4.0	20.8 ^{ab}	1.0	2.7 ^{ab}	71.5 ^{ab}	67 ^{ab}
Negro San Luis	1891 ^e	3.9	25.1 ^a	0.9	2.9 ^{ab}	67.3 ^b	70 ^a
PT Saltillo	2883 ^{bcd}	4.0	18.9 ^b	1.2	3.5 ^a	72.4 ^{ab}	66 ^{ab}
Promedio	2768	4.1	20.7	1.3	2.9	69.9	67
La Soledad							
PID 1	729	4.3	16.9 ^b	0.9	2.6 ^b	75.4 ^a	69
NOD 1	1,421	4.6	18.7 ^{ab}	1.5	3.0 ^b	72.2 ^{ab}	60
Negro San Luis	1,194	4.6	21.4 ^a	1.4	3.0 ^b	69.7 ^b	62
PT Saltillo	976	4.2	19.1 ^{ab}	2.6	5.4 ^a	68.8 ^b	62
Promedio	1080	4.4	19.0	1.6	3.5	71.5	63

¹Rend.= rendimiento, CE= ceniza, PC= proteína cruda, GC= grasa cruda, ELN= Extracto libre de nitrógeno, TC = tiempo de cocción;

²PT = pinto. ^{a-e}= Letras diferentes en cada columna denotan diferencias significativas entre líneas y variedades.



Luego de su validación en sitios múltiples, PT14053 podrá resultar seleccionada y liberada como variedad comercial con el nombre de PID 2 (Rosales *et al.*, 2014; Rosales *et al.*, 2022), para su uso en el norte de México. Lo anterior, con la finalidad de incrementar la productividad y calidad del frijol obtenido en condiciones de riego y buen temporal (>450 mm) en Durango.

Ceniza (%). El contenido de CE registró valores entre 3.8% a 4.5% y se observó que todas las variedades alcanzaron niveles estadísticamente iguales de absorción de minerales, lo cual se ha relacionado directamente con el contenido de cenizas (Kochhar y Gujral, 2020). El contenido de ceniza fue similar al obtenido en otros estudios con frijol, en los que se reportaron niveles entre 2.5% y 5.0% (Rivelli *et al.*, 2007; Raya *et al.*, 2014). Se ha demostrado que algunas variedades criollas, como Negro San Luis, muestran niveles altos de minerales, como es el caso de selenio, zinc y hierro, en comparación con las variedades modernas (Celmeli *et al.*, 2018). Este atributo las convierte en fuentes de genes para el mejoramiento de la calidad nutricional del grano de frijol producido en Durango. Aunque, dicha acumulación puede relacionarse con la duración prolongada del ciclo biológico.

Proteína. El contenido de PC registró valores altos en Durango (20.7%) y variaciones entre 17.6% (PID 1) y 25.1% (Negro San Luis). El contenido de proteína fue inferior con respecto al reportado para proteína bruta en otros estudios con frijol, en los que se reportaron niveles entre 22.3% y 49.0% (Rivelli *et al.*, 2014; Fernández y Sánchez, 2017); aunque también, coincide con los mostrados por otros investigadores 16.5% a 25.2% (Celmeli *et al.*, 2018). El cultivar de ciclo tardío (Negro San Luis) registró los valores más altos de contenido de proteína y esta característica se relacionó con su ciclo de vida largo (115 a 125 días después de la siembra: DDS), lo que favoreció la acumulación de sustancias elaboradas. Por su parte, en los cultivares de grano pinto, con ciclo de vida intermedio (96 DDS), se registró contenido alto de ELN relacionado con carbohidratos solubles, los cuales son polímeros de naturaleza simple. Se ha demostrado que algunos materiales criollos de frijol presentan niveles altos de proteína en el grano (Celmeli *et al.*, 2018), al compararlos con las variedades modernas, debido a que estas últimas tienen ciclo biológico más corto.

Grasa (%). Se registraron valores bajos de GC que oscilaron entre 0.9% y 2.3%, por lo que se tuvieron

dificultades para obtener diferencias significativas entre variedades para el contenido de grasa en el grano. Los valores de esta variable se situaron en el intervalo registrado en otros estudios con frijol, en los que se reportaron niveles entre 0.5% y 2.6% (Rivelli *et al.*, 2014; Fernández y Sánchez, 2017). El frijol muestra un nivel bajo de grasa, aunque el contenido de ácido linoleico y oleico protegen contra de la obesidad, fortalecen el sistema inmunológico y previenen la formación del colesterol (Celmeli *et al.*, 2018).

Fibra (%). En Durango, la mayoría de las variedades resultaron estadísticamente iguales para el contenido de FC con valores de 2.7% a 3.5% y la variedad PID 1 presentó el nivel significativamente inferior. Los niveles de fibra obtenidos en el presente estudio fueron bajos, en comparación con los niveles reportados en otros estudios (5.6% a 19.9%) (Fernández y Sánchez, 2017). A pesar de lo anterior, se considera que la fibra contenida en el grano de frijol es de gran importancia debido a sus efectos favorables en la salud humana (Hayat *et al.*, 2014) y la relación que tienen algunas fracciones de la fibra sobre la digestibilidad de la proteína (Acevedo *et al.*, 1994), carbohidratos y formación de flatulencias (Winham y Hutchins, 2011).

Extracto Libre de Nitrógeno (%): La proporción más alta de la semilla se observó para el extracto libre de nitrógeno (ELN), con valores que van desde 67.3% (Negro San Luis) hasta 75.9% (PID 1). Los niveles de carbohidratos (ELN) obtenidos en la presente investigación fueron altos, en comparación con las proporciones reportadas en otros estudios (22.8% a 60.1%) (Rivelli *et al.*, 2014; Fernández y Sánchez, 2017). La variedad Negro San Luis mostró valores más bajos de ELN, lo que se relacionó principalmente con los niveles más altos para la proporción de proteína.

Tiempo de Cocción (min). El tiempo de cocción registró valores desde 60 min en PT14053 hasta 70 min en PID 1 y Negro San Luis. Los valores para el tiempo de cocción se ubicaron en el intervalo registrado en otros estudios realizados con un número mayor de variedades de frijol, en los cuales se registraron entre 58 min y 102 min (Jacinto y Campos, 1993). Se ha demostrado que el tiempo de cocción se reduce con el remojo y la duración mayor se asoció con diferentes características varietales, como son la proporción de testa, grosor de las paredes celulares del cotiledón, fibra insoluble y fibra total (Bassett *et al.*, 2021).

Los resultados obtenidos mostraron tendencia de incremento en el rendimiento de grano en germoplasma mejorado, principalmente en la línea PT14053 que también mostró valores bajos para el tiempo de cocción. Se observó contenido alto de proteína y valores bajos para tiempo de cocción en Negro San Luis, el cual es considerado como una variedad criolla preferencial cultivada en las zonas de alto potencial de rendimiento en Durango y Zacatecas.

La Soledad, Canatlán, Dgo.

Rendimiento (kg/ha). En La Soledad, se detectó igualdad estadística entre líneas y variedades de frijol para el rendimiento de grano, CE y CG; así como, para el TC (Cuadro 1). Para el caso del contenido de PC, FC y ELN se registraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$; $p \leq 0.01$). En este sitio de evaluación el rendimiento promedio (1,080 kg/ha) fue inferior, con respecto a Durango (2,768 kg/ha). La variedad NOD 1 mostró el valor más alto de rendimiento (1,421 kg/ha), aunque resultó estadísticamente igual al resto de los materiales evaluados, con variación entre 729 kg/ha (PID 1) y 1,194 kg/ha (Negro San Luis). Las variedades de frijol NOD 1 y PID 1, fueron liberadas en 2020 para su uso en siembras comerciales de esta especie (Rosales *et al.*, 2014; Rosales *et al.*, 2022), principalmente en condiciones favorables de humedad del suelo en el norte de México. Con su adopción se espera incrementar la productividad y calidad del frijol producido en el Altiplano Semiárido de México.

Las variedades mejoradas de frijol requieren validación en varios ambientes, para determinar el área de adaptación y establecer las posibilidades de adopción por parte de los productores. En el caso de PID 1 y NOD 1, han mostrado variaciones entre años y localidades en cuanto su respuesta productiva y su adopción es baja en comparación con Pinto Saltillo y Negro San Luis.

Cenizas (%). El contenido de CE registró variación entre 4.2% y 4.6%, con una tendencia de los materiales de grano negro a presentar nivel mayor de este componente del grano en comparación con los pintos. Lo anterior, se relacionó principalmente con la duración mayor del ciclo biológico (>105 DDS) al contrastarlos con los materiales de grano pinto (<100 DDS). Los valores obtenidos se ubicaron en el intervalo establecido en otros estudios con frijol, donde se registraron niveles entre 2.5% a 4.4% cuando se utilizó diversidad genética alta (Fernández y Sánchez, 2017). Se ha observado que la tendencia

a la acumulación alta de cenizas está relacionada con los minerales presentes en suelos arcillosos, especialmente silicio que influye positivamente en la cantidad de ceniza presente en tejidos vegetales (Cherney, 2006).

Proteína (%). El promedio del contenido de PC fue de 19.0%, con variaciones de 16.9% (PID 1) a 21.4% (Negro San Luis). Esta última variedad de ciclo tardío registró valores altos para el contenido de proteína y esta característica se relacionó con su ciclo de vida largo (115 a 125 DDS). El ciclo tardío favoreció la acumulación de sustancias elaboradas; mientras que en los materiales de grano pinto, con ciclo de vida más precoz (<96 DDS), se registró contenido alto de ELN, lo cual se relaciona directamente con los carbohidratos solubles (Möller, 2014). Los valores observados, coinciden con el intervalo obtenido en otros estudios con frijol en los que se registraron valores entre 16.5% a 25.3% (Celmeli *et al.*, 2018) y se demostró que algunas variedades criollas muestran nivel mayor de proteína al compararlas con las modernas. Otros estudios presentan valores de proteína (20% a 40%), los cuales difieren de los obtenidos en el presente estudio (Mederos, 2006).

Grasa (%). Se registraron valores bajos de GC que oscilaron entre 0.9% y 2.6% y dificultades para establecer diferencias significativas entre variedades. Los resultados concuerdan con los obtenidos en otros estudios con frijol, en los cuales se tuvieron dificultades para encontrar diferencias estadísticas entre variedades para la proporción de grasa (Celmeli *et al.*, 2018), aunque si se ha apreciado significancia estadística para las diferencias entre las proporciones de los ácidos grasos (oléico y linoléico).

Fibra (%). Los valores más altos de FC se registraron en Pinto Saltillo (5.4%) superando de forma significativa al resto de las variedades (2.6% a 3.0%). Los niveles de fibra coinciden con el intervalo encontrado en otros estudios con frijol (2.82% a 5.67%) (Silva *et al.*, 2009 y 2013). La fibra comprende un grupo heterogéneo de polisacáridos (celulosa, hemicelulosa, pectina y lignina), que tienen diferentes efectos benéficos para el organismo humano (Mederos, 2006), aunque también se ha relacionado con el incremento de los problemas de flatulencias (Winham y Hutchins, 2011).

ELN (%). La mayor proporción de semilla se observó para el extracto libre de nitrógeno, con valores que fueron desde 68.8% (Pinto Saltillo) hasta 75.4% (PID 1). La variedad criolla Negro San Luis mostró valores más bajos de ELN en ambas localidades,



principalmente debido a niveles más altos para el contenido de proteína. Se considera que los carbohidratos constituyen la fracción principal de las leguminosas, 55% a 65% en promedio y de éstos, el almidón representa más del 50% del peso de la semilla de frijol y es el carbohidrato dominante en la dieta humana (Mederos, 2006). El almidón, incluye una parte importante, conocida como almidón resistente, el cual resiste la hidrólisis por las enzimas humanas y tiene efectos importantes en la salud (Mederos, 2006).

Tiempo de Cocción. El tiempo de cocción registró valores 60 min NOD 1 hasta 69 min (PID 1), el cual resultó inferior al registrado en Durango. Los valores de tiempo de cocción fueron aceptables, con base en los datos observados en otros estudios con variedades de frijol flor de mayo, donde se reportaron valores promedio de 103 min y fluctuaciones entre 87 min y 125 min, según la condición de humedad y sitio de siembra (Acosta *et al.*, 2011). En otro estudio con frijol pinto, realizado en Durango, se observaron valores entre 56 y 158 min (Rosales *et al.*, 2014). Los resultados muestran que es posible realizar selección de variedades con tiempo de cocción bajo, lo cual es un atributo importante para reducir los costos de procesamiento de los alimentos y disminuir la emisión de gases de efecto invernadero que se registra durante el proceso.

Se observó tendencia para incrementar el rendimiento de grano en germoplasma mejorado de frijol, principalmente en la línea PT14053, que también mostró valores bajos para el tiempo de cocción. Dicha línea está en proceso de validación comercial en terrenos de productores cooperantes, para establecer su productividad y aceptación de mercado y consumo en Durango. Se tienen buenas expectativas de adopción de esta línea mejorada de frijol, luego de su siembra y preferencia de los productores en el sur de Cuencamé en 2021. En 2022, se establecieron parcelas de validación comercial en las que se incluyó PT14053 en cinco municipios de Durango (Canatlán, Vicente Guerrero, Guadalupe Victoria y Durango). Se obtuvieron resultados sobresalientes en el poblado de Santa Catalina de Siena, Guadalupe Victoria, Dgo., donde la línea PT14053 superó al resto de las variedades criollas y mejoradas que se incluyeron en el estudio. El contenido más alto de proteína se registró en materiales de grano negro, como fue Negro San Luis, que también mostró tiempo de cocción bajo del grano y es considerada como una variedad criolla

preferencial cultivada en las zonas de rendimiento alto de Durango y Zacatecas. Dicha variedad ha mostrado persistencia para su cultivo a través de los años, por su productividad alta, vida de anaquel prolongada y aceptación comercial, por lo que es sembrada principalmente para su exportación a regiones y ciudades con consumo alto de frijol negro, como es el caso del centro y sur de México.

La calidad nutricional del grano es un carácter complejo para su uso como criterio de selección en el mejoramiento genético de frijol. Lo anterior, se debe principalmente a su variación fuerte entre años y localidades; así como, la gran cantidad de genes relacionados con la acumulación de micronutrientes minerales en los diferentes órganos de la planta (Blair *et al.*, 2009). Con base en lo anterior, se debe hacer selección con base en criterios individuales dando prioridad a los atributos más importantes como es el caso del contenido de proteína y fibra, relacionados con la nutrición y salud humana. Al mismo tiempo, se puede seleccionar por contenido de ceniza en el grano, el cual representa una medida indirecta de la acumulación de minerales; aunque, se requiere nivel alto de precisión para identificar líneas y variedades sobresalientes para este atributo. Es importante el establecimiento de las proporciones más importantes para cada uno de los minerales presentes en la semilla de frijol producido en Durango, especialmente hierro, selenio y zinc considerados como importantes para la salud humana (Hayat *et al.*, 2014).

El tiempo de cocción fue otro atributo complejo para su uso como criterio de selección durante el desarrollo de métodos de mejoramiento genético de frijol, debido a la interacción genético-ambiental y dificultades metodológicas para su evaluación. A pesar de lo anterior, el uso de progenitores de tiempo de cocción bajo, como el caso de Pinto Saltillo, favorecieron la reducción de los valores observados para este atributo durante el proceso de selección de líneas sobresalientes.

CONCLUSIONES

En la actualidad se cuenta en Durango con variedades criollas y mejoradas que permiten la obtención de valores altos de rendimiento y calidad del grano, principalmente en condiciones de riego, aunque también son aceptables en condiciones de temporal. Las variedades criollas, como Negro San Luis, son todavía una opción productiva, para obtener



grano con calidad nutritiva alta en el norte-centro de México. El germoplasma de grano pinto, con precocidad a madurez, tiene posibilidades altas para la acumulación de carbohidratos en el grano, aunque su contenido de proteína fue menos favorecido. La acumulación de múltiples minerales y algunas sustancias elaboradas, como proteína, fueron favorecidos por el incremento en la duración del ciclo biológico del frijol.

La línea mejorada PT14053 mostró posibilidades para su liberación como variedad comercial, aunque es necesario ajustar el sistema de manejo para favorecer la acumulación de proteína y minerales. Se requiere la validación en múltiples sitios de las líneas y variedades mejoradas de frijol desarrolladas en Durango, para establecer su adaptabilidad, dominio de recomendación e impacto potencial sobre el rendimiento en todo el norte de México. También, se debe evaluar el efecto de las variedades criollas y mejoradas de frijol sobre la disminución del tiempo de cocción y el incremento de la calidad nutricional, culinaria y comercial del frijol producido en el norte de México.

LITERATURA CITADA

- Acosta G., J. A., B. M. Sánchez G., Y. Jiménez H., V. Montero T., F. M. Mendoza H., G. Herrera H., y L. Silva R. 2011. Flor de Mayo Dolores: nueva variedad de frijol para riego y temporal en Guanajuato. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 2(6): 993-999.
- Acevedo, E., L. Velázquez C., and R. Bressani. 1994. Changes in dietary fiber content and its composition as affected by processing of black beans (*Phaseolus vulgaris*, Tamazulapa variety). *Plant Food and Human Nutrition* 46: 139-145.
- AOAC, Association of Official Analytical Chemists. 1990. Official methods of analysis. 15th edition. Association of Official Analytical Chemists. Arlington, Virginia, USA.
- Bassett, A., S. Hooper, and K. Cichy. 2021. Genetic variability of cooking time in dry beans (*Phaseolus vulgaris* L.) related to seed coat thickness and the cotyledon cell wall. *Food Research International* 141: 109886.
- Blair, M., C. Astudillo, M. A. Grusak, R. Graham, and S. Beebe. 2009. Inheritance of seed iron and zinc concentrations in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Molecular Breeding* 23(2): 197-207.
- Celmeli, T., H. Sari, H. Canci, D. Sari, A. Adak, T. Eker, and C. Toker. 2018. The nutritional content of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) landraces in comparison to modern varieties. *Agronomy* 8(9), 166, 1-9.
- Cherney, J. H. 2006. Ash content of grasses for biofuel. *Bioenergy Information Sheet # 5*. Cornell University. CALS, Ithaca, NY. USA. 2 p.
- Fernández V., A. F., y E. Sánchez C. 2017. Estudio de las propiedades físicoquímicas y calidad nutricional en distintas variedades de frijol consumidas en México. *Nova Scientia* 18(9): 133-148.
- Hayat, I., A. Ahmad, T. Masud, A. Ahmed, and S. Bashir. 2014. Nutritional and health perspectives of beans (*Phaseolus vulgaris* L.): an overview. *Critical reviews in Food Science and Nutrition* 54: 580-592.
- Jacinto H., C. y A. Campos E. 1993. Efecto de la cocción sobre algunas características nutricionales del frijol. *Agronomía Mesoamericana* 4: 42-47.
- Kochhar, S. L. and S. K. Gujral. 2020. Mineral nutrition and absorption. *In: Plant physiology: theory and applications*. Cambridge University Press. Cambridge, UK. pp. 100-150.
- Mederos, Y. 2006. Indicadores de la calidad en el grano de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). *Cultivos Tropicales* 27(3): 55-62.
- Möller, J. 2014. Comparing methods for fibre determination in food and feed. *FOSS P/N 1026712(1)*: 1-6. Consultado en línea 01/03/2023. [Fibre methods compared_GB.pdf](#)
- Raya P., J. C., G. M. Gutiérrez B., J. G. Ramírez P., J. Covarrubias P., y C. L. Aguirre M. 2014. Caracterización de proteínas y contenido mineral de dos variedades nativas de frijol de México. *Agronomía Mesoamericana* 25(1): 01-11.
- Rivelli M., F., A. D. Corrêa, C. M. P de Abreu, R. A. Zambaldi Lima, A. F. B. Abreu. 2007. Linhagens de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.): Composição química e digestibilidade protéica. *Ciências e Agrotecnologia, Lavras*, 31(4): 1114-1121.
- Rosales S., R., C. A. Nava B., H. González R., M. D. Herrera, J. C. Jiménez G., N. Y. Z. Ramírez C., y E. S. Osuna C. 2014. Rendimiento,



- preferencia y calidad de enlatado de variedades de frijol pinto producidas en Durango, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 5(2): 309-315.
- Rosales S., R., H. Flores G., y S. Santana E. 2020a. PID 1, variedad mejorada de frijol pinto para el estado de Durango. Folleto Técnico Núm. 117. INIFAP-CIRNOC-Campo Experimental Valle del Guadiana. Durango, Méx. 21 p.
- Rosales S., R., H. Flores G., y S. Santana E. 2020b. NOD 1, variedad mejorada de frijol negro opaco para el estado de Durango. Folleto Técnico Núm. 116. INIFAP-CIRNOC-Campo Experimental Valle del Guadiana. Durango, Méx. 22 p.
- Rosales S., R., S. Santana E., C. A. Nava B., R. Garza G., and S. Valdez O. 2022. Yield and grain quality in new improved common bean cultivars grown in commercial plots in Durango. *Bean Improvement Cooperative* 65: 113-114.
- Silva C. A., A. F. B. Abreu, e M. A. P. Ramalho. 2009. Associação entre arquitetura de planta e produtividade de grãos em progênies de feijoeiro de porte ereto e prostrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 44: 1647-1652.
- Silva C. A., P. G. Santos-Melo, L. C. Melo, P. Z. Bassinello, e H. S. Pereira. 2013. Eficiência de métodos de melhoramento para teor de fibra e produtividade de grãos em progênies de feijoeiro comum. *Bragantia*, Campinas 72(4): 326-331.
- Winham, D. M., and A. M. Hutchins. 2011. Perceptions of flatulence from bean consumption among adults in 3 feeding studies. *Nutrition Journal* 10: 128.
- Yadav, S. K., and K. P. Raverkar. 2021. Growth promoting rhizobacteria from french bean rhizosphere and their effect on french bean productivity. In: Asaduzzaman, M. and M. Afroz. (eds.). *Agricultural development in Asia. Potential use of nano-materials and nano-technology*. IntechOpen, London. UK. pp. 1-21.