

Calidad física y rendimiento del grano de frijol azufrado en el norte de Sinaloa

Physical quality and grain yield of Azufrado beans in northern Sinaloa

Carlos Patricio Saucedo-Acosta¹, Franklin G. Rodríguez-Cota², María Adilene Cota-Sandoval¹, Jorge Luis Flores-Sánchez³, Raúl H. Saucedo-Acosta^{2*}

¹ Universidad Autónoma de Sinaloa, Facultad de Agricultura del Valle del Fuerte, Calle 16 Av. Japaraqui S/N, Juan José Ríos, Ahome, Sinaloa. C.P. 81110.

² Campo Experimental Valle del Fuerte - INIFAP. Km 1609, Carretera Internacional México-Nogales, Juan José Ríos, Guasave, Sinaloa, C.P. 81110.

³ Yara México. Av. Américas 1545, Guadalajara, Jalisco, México, C.P. 44630.

RESUMEN

El rendimiento y la calidad física del grano de frijol influyen en la rentabilidad y comercialización, su cuantificación permite identificar genotipos sobresalientes. El objetivo del estudio fue evaluar dichos aspectos en las variedades Azufrado Higuera, Azufrado Noroeste y en las líneas avanzadas: Mo 19-20-ERR2-9, Mo 19-20-ERR2-11 y Mo 19-20-ERR2-12. El diseño experimental fue bloques al azar con cuatro repeticiones. El rendimiento ($t\ ha^{-1}$), peso de 100 granos (PCG, g) y brillo (%) se obtuvieron de grano seco y limpio. En cada grano, mediante análisis de imágenes digitales, se midió: tamaño (mm^2), largo, ancho, perímetro (mm), circularidad, color, brillo y luminosidad. El rendimiento fue desde 2.14 hasta 2.45 $t\ ha^{-1}$ ($p \geq 0.05$). El tamaño del grano mostró correlación ($p \leq 0.05$) con el PCG ($r = 0.97$) y con sus dimensiones ($r \geq 0.94$). El grano de las líneas avanzadas presentó mayor luminosidad ($DSH = 0.74$, $p \leq 0.05$). El grano grande y con menos oscurecimiento evidenció mayor calidad física en Mo 19-20-ERR2-9 y Mo 19-20-ERR2-11 ($p \leq 0.05$). El brillo y la luminosidad permiten identificar el oscurecimiento de la testa. El grano de Azufrado Noroeste y Azufrado Higuera tiene oxidación lenta y resistencia en Mo 19-20-ERR2-9, Mo 19-20-ERR2-11 y Mo 19-20-ERR2-12.

Palabras clave: Tamaño, color, brillo, luminosidad, testa

ABSTRACT

The yield and physical quality of common bean grains influence profitability and marketing. Its quantification allows the identification of genotype highlights. The aim of the study was to evaluate these aspects in Azufrado Higuera and Azufrado Noroeste varieties and Mo 19-20-ERR2-9, Mo 19-20-ERR2-11, and Mo 19-20-ERR2-12 advanced lines. The experimental design was a randomized complete block with four replications. The yield ($t\ ha^{-1}$), 100-grain weight (HGW, g), and initial grain brightness (%) were measured on dry and clean samples. For each grain, digital image analysis was used to measure size (mm^2), length, width, perimeter (mm), circularity, color, brightness, and luminosity. The yield was from 2.14 to 2.45 $t\ ha^{-1}$ ($p \geq 0.05$). Grain size correlated ($p \leq 0.05$) with HGW ($r = 0.97$) and with its dimensions ($r \geq 0.94$).

Grain luminosity was higher in advanced lines ($DSH = 0.74$, $p \leq 0.05$). Larger grains with less darkening evidenced better physical quality in Mo 19-20-ERR2-9 and Mo 19-20-ERR2-11 ($p \leq 0.05$). Brightness and luminosity allow the identification coat darkening. Oxidation is slow in Azufrado Noroeste and Azufrado Higuera varieties, whereas Mo 19-20-ERR2-9, Mo 19-20-ERR2-11, and Mo 19-20-ERR2-12 lines have resistance.

Keywords: Size, color, brightness, luminosity, coat

INTRODUCCIÓN

El frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) es la especie dentro de este género que, por su importancia económica y social, presenta mayor trabajo de mejoramiento genético (Anaya *et al.*, 2021). El fitomejoramiento de esta leguminosa se enfoca en obtener variedades con tolerancia a la sequía, plagas y enfermedades, así como incrementar el rendimiento y la calidad comercial del grano (Ayala *et al.*, 2021). Lo anterior implica identificar y seleccionar genotipos con características sobresalientes, para ello se evalúa la interacción del genotipo con el ambiente y las variables consideradas con respecto al grano son el rendimiento y sus propiedades físicas. La primera, por su relación con la rentabilidad, y la segunda, por asociarse con la preferencia del consumidor y con el precio del producto.

Los atributos físicos del grano con mayor atención del consumidor son el tamaño, la forma, el color y brillo de la testa (Rosales *et al.*, 2014), con base en éstos se establece el valor comercial del grano, por lo tanto, son evaluados por acopiadores y comercializadores (Ziegler *et al.*, 2021). Las características mencionadas, además de la longitud y anchura del grano, son necesarias para la descripción de las nuevas variedades de frijol (UPOV, 2015; SNICS, 2017). El oscurecimiento de la testa del grano está relacionado con su calidad, por lo que se considera en la descripción de las variedades (Acosta *et al.*, 2016; Spitti *et al.*, 2019; Rosales y Flores, 2022).

La forma, el color, la intensidad del color y el brillo del grano se obtienen de manera cualitativa mediante inspección visual (UPOV, 2015; SNICS, 2017), la estimación de esta manera es fácil y rápida, pero propensa a la subjetividad, con difícil repetitividad. La inferencia del tamaño mediante

*Autor para correspondencia: Raúl H. Saucedo Acosta

Correo electrónico: saucedo_raul@hotmail.com

Recibido: 12 de febrero de 2023

Aceptado: 28 de julio de 2023

Publicado: 29 de septiembre de 2023

el peso de 100 granos es práctica, aunque limita conocer la variabilidad dentro de la muestra; mientras que, las dimensiones lineales se obtienen de manera tradicional e implica medición manual por cada grano con el uso de vernier digital (Buzera *et al.*, 2018; Kläsener *et al.*, 2022; Wallander-Compean *et al.*, 2022), aun así, dicha tarea es lenta y tediosa (Hu y Zhang, 2021). La oxidación u oscurecimiento de la testa se estima en forma visual (Rosales y Flores, 2022), también se mide mediante colorímetros (Bento *et al.*, 2020), pero solo a nivel de muestra.

El rendimiento y la calidad física del grano de frijol son útiles como criterio de selección y en la caracterización de variedades; sin embargo, la evaluación objetiva de las características del grano es limitada debido a la carencia de equipos adecuados para su medición y a la baja eficiencia de los métodos manuales, lo que obliga a reducir el tamaño y número de muestras, con el riesgo de prescindir de la variación completa en las variables (Hu y Zhang, 2021). La opción cuantitativa sugerida por la Unión Internacional para la Protección de las Obtenciones Vegetales (UPOV) es el análisis de imágenes digitales (AID).

La UPOV recomienda realizar la descripción de variedades y las pruebas de distinción, homogeneidad y la estabilidad (DHE) mediante el AID, para reemplazar el fenotipaje cualitativo o visual (UPOV, 2013). El rendimiento y la calidad física del grano de frijol influyen en la rentabilidad y comercialización, su evaluación es necesaria para identificar genotipos sobresalientes, pero se requiere la medición cuantitativa de los atributos del grano para lograr mayor objetividad. Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue evaluar el rendimiento del grano de variedades y líneas avanzadas de frijol tipo azufrado y su calidad física mediante análisis de imágenes digitales.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en el Campo Experimental Valle del Fuerte, Juan José Ríos, Guasave, Sinaloa, durante los ciclos otoño-invierno, 2018/2019, 2019/2020, 2021/2022. El suelo en el área experimental es arcillo arenoso, profundo, sin problemas de salinidad. Los genotipos utilizados fueron las variedades Azufrado Higuera, Azufrado Noroeste y tres líneas avanzadas de frijol (Mo 19-20-ERR2-9, Mo 19-20-ERR2-11 y Mo 19-20-ERR2-12), seleccionados de manera previa por su resistencia al oscurecimiento u oxidación de la testa, alto rendimiento y peso del grano. Estos genotipos obtenidos o liberados en el programa de mejoramiento genético de frijol llevado a cabo por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP).

La siembra se realizó en húmedo, después del riego de presiembra, con densidad poblacional de 20 plantas m⁻², la fecha de siembra para el primer ciclo de cultivo fue el 21 de noviembre de 2018, en el segundo el 31 de octubre de 2019 y el tercero el 08 de diciembre de 2021 (Tabla 1). La fertilización se aplicó durante la presiembra con 103 kg ha⁻¹ de nitrógeno y 52 kg ha⁻¹ de fósforo; se suministraron tres riegos de auxilio, el combate de mosca blanca fue mediante Imidacloprid a dosis de 0.25 L ha⁻¹ y sin realizar el combate de enfermedades. El diseño experimental fue en bloques completos al azar, con cuatro repeticiones. La unidad experimental constó de cuatro surcos de seis metros de longitud y separación entre camas de 0.8 m, mientras que la parcela útil se conformó por cinco metros de los dos surcos centrales (8.0 m²).

La cosecha del grano se realizó de forma manual, el peso de la muestra se obtuvo después de la criba y limpieza del grano para la estimación del rendimiento (t ha⁻¹). El almacenamiento de las muestras se realizó en costales de polipropileno transparente, en una bodega con luz natural y temperatura regulada en 18.0 °C. El peso de 100 granos (g) se obtuvo por su relación con las dimensiones del grano. El análisis de imágenes digitales (AID) se utilizó para medir características físicas del grano entero en cuatro muestras de 50 g de grano limpio, obtenidas al azar de la cosecha del ciclo O-I, 2019/2020. El oscurecimiento u oxidación de la testa se evaluó a través de la luminosidad y el brillo (%) medidos en grano recién cosechado y después de 23 meses de almacenamiento.

La digitalización de las muestras de grano fue con escáner de escritorio (Epson Stylus® modelo CX3900), la imagen se obtuvo a color con fondo negro, la resolución fue de 300 pixeles por pulgada (ppp) y se guardó en formato jpg. El AID se realizó con el programa ImageJ 1.53m, con éste se midió de manera automatizada el área (mm²), largo, ancho (mm), perímetro, circularidad (0 = polígono alargado, 1 = círculo) y color de cada grano. El color se obtuvo en el espacio de color RGB (por sus siglas en inglés, Red = rojo; Green = verde; Blue = azul) y en el CIELab (L = luminosidad, 0 = negro a 100 = blanco; a = coordenadas rojo+/verde-; b = coordenadas amarillo+/azul-).

El brillo de la testa (%) se calculó con base en la intensidad del RGB, ésta se normalizó entre valores de 0 y 1 al dividirla por 255, que es el valor máximo de cada píxel. La intensidad del RGB se utilizó por implementar factores de ponderación basados en la percepción humana: 0.299 para el canal rojo, 0.587 para el canal verde y 0.114 para el canal azul (Ferreira y Rasband, 2012). Por lo tanto, la fórmula propuesta para la obtención del brillo de la testa (%) = 100 x (rojo x 0.299 +

Tabla 1. Variables climáticas registradas en tres ciclos agrícolas del cultivo de frijol, Juan José Ríos, Sinaloa, México.
Table 1. Climatic variables recorded in three crop-growing cycles of bean, Juan José Ríos, Sinaloa, México.

Ciclo Otoño-Invierno	Fecha de siembra	Temperatura (°C)			Humedad Relativa (%)	Evapotranspiración (mm día ⁻¹)
		Mínima	Máxima	Media		
2018-2019	21/11/2018	10.75	26.95	17.99	74.63	3.16
2019-2020	31/10/2019	10.59	27.56	18.05	71.91	3.22
2021-2022	08/12/2021	9.05	27.80	17.49	75.64	3.95

verde x 0.587 + azul x 0.114) / 255. La luminosidad de la testa se obtuvo de manera directa del espacio de color CIELab.

El análisis de los datos fue con el programa R (R Core Team, 2021), se constató la normalidad mediante la prueba de Shapiro-Wilks y para comprobar la homogeneidad de varianzas la prueba de Levene. El ANDEVA se realizó para el rendimiento promedio de los tres ciclos de producción, tamaño, peso, largo, ancho, perímetro, circularidad y color del grano. La comparación múltiple de medias con la prueba de Tukey se implementó solo cuando las variables mostraron diferencia entre los genotipos ($p \leq 0.05$). La correlación de Pearson (r) se efectuó entre las dimensiones del grano. La prueba de t para muestras independientes se utilizó para comparar las variedades con las líneas, asimismo para contrastar entre el brillo y la luminosidad antes y después del almacenamiento.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El mayor rendimiento de grano lo mostró la línea Mo 19-20-ERR2-12 con 2.45 t ha^{-1} y el más bajo las variedades Azufrado Higuera y Noroeste con 2.14 t ha^{-1} , aunque sin diferencia significativa entre genotipos. El rendimiento promedio más alto se obtuvo en el ciclo 2019/2020, con 3.57 t ha^{-1} , lo cual se asocia con la fecha de siembra por estar dentro del periodo óptimo para las variedades mejoradas de frijol de tipo Azufrado, cultivadas en condición de riego en el estado de Sinaloa (Salinas *et al.*, 2012). La fecha de siembra tardía del 8 de diciembre en el ciclo de cultivo O-I, 2021/2022 tuvo el menor rendimiento con 1.29 t ha^{-1} y fue diferente (DSH = 0.29, $p \leq 0.05$) a la siembra del 21 de noviembre realizada en el ciclo O-I, 2018/2019 que rindió 1.91 t ha^{-1} .

La línea Mo 19-20-ERR2-9 tuvo grano de mayor tamaño, longitud y perímetro, asimismo superó ($p \leq 0.05$) al resto de genotipos en el peso de 100 granos (Tabla 2). El tamaño presentó estrecha correlación ($p \leq 0.05$) con el peso de 100 granos ($r = 0.97$), el largo ($r = 0.99$), el ancho ($r = 0.94$), el perímetro ($r = 0.99$) y una relación negativa con la circularidad ($r = -0.84$); es decir, a menor tamaño la circularidad del grano es mayor. El peso de 100 granos mostró una correlación de 0.95 con el largo del grano y de 0.91 con el ancho ($p \leq 0.05$),

correlaciones mayores que las reportadas por Delfini *et al.* (2017) entre el peso de mil granos y el ancho ($r = 0.53$) y con el largo del grano ($r = 0.88$). Esta menor asociación puede estar relacionada con la variabilidad en el grosor o altura del grano. Sin embargo, si se descarta esta situación, otra posible causa podría ser la falta de representatividad de la muestra debido a la obtención de las dimensiones en una cantidad reducida de granos, riesgo advertido por Hu y Zhang (2021) y que es un aspecto importante a considerar al definir el tamaño de muestra, pues aún con el uso de vernier, suelen medirse solo 10 granos (Buzera *et al.*, 2018; Kläsener *et al.*, 2022).

La asociación entre el rendimiento y el peso del grano fue baja ($r = 0.27$) y sin significancia, resultado diferente con la significativa correlación reportada por Nunes *et al.* (2020) y Mesera *et al.* (2022), quienes de manera respectiva obtuvieron correlaciones de 0.27 ($p \leq 0.05$) y 0.29 ($p \leq 0.01$); no obstante, la baja relación y la nula significancia entre ambas variables es coincidente con Langat *et al.* (2019), pues reportan $r = 0.49$ y con Kalauni y Dhakal (2020) quienes señalan $r = 0.19$. La débil correlación positiva y la esporádica significancia se explican por la interacción negativa entre el peso de 100 granos con el número de granos por planta (Mesera *et al.*, 2022), granos por vaina (Kalauni y Dhakal, 2020) y con el número de vainas por planta (Langat *et al.*, 2019; Nunes *et al.*, 2020). Esto significa una menor asociación, debido a que la cantidad de granos por planta afecta el tamaño de los mismos. Las interacciones compensatorias entre los componentes del rendimiento en frijol son conocidas (Wu *et al.*, 2019), las cuales ocurren como resultado de la competencia por los fotosintatos (Sinclair, 2020).

Los genotipos Az. Noroeste y Mo 19-20-ERR2-12, de acuerdo con el peso de 100 granos (CIAT, 1987), presentan grano de tamaño mediano, mientras que el resto son de tamaño grande, esta característica es preferida por el consumidor y por lo tanto apreciada por los comercializadores. El tamaño proyectado de un lado del grano fue de 68.05 a 88.11 mm^2 , éste representa un poco más de la mitad del área total de la testa reportada por Buzera *et al.* (2018), quienes indican desde 118.13 hasta 127.37 mm^2 . El menor tamaño observado

Tabla 2. Rendimiento promedio de tres ciclos de producción y dimensiones del grano en dos variedades y tres líneas avanzadas de frijol, ciclo otoño-invierno, 2019/2020, Juan José Ríos, Sinaloa, México.

Table 2. Average yield of three production cycles and bean dimensions in two varieties and three advanced bean lines, fall-winter cycle, 2019/2020, Juan José Ríos, Sinaloa, México.

Genotipos	Rend. (t ha ⁻¹)	Tamaño (mm ²)	Peso 100 granos (g)	Largo (mm)	Ancho (mm)	Perímetro (mm)	Circularidad (0-1)						
Mo19-20-ERR2-12	2.45	68.05	a	34.02	a	10.92	a	8.13	a	31.80	a	0.84	c
Azufrado Noroeste	2.14	76.66	b	38.53	b	12.25	b	8.31	b	34.39	b	0.81	ab
Azufrado Higuera	2.14	82.36	c	44.96	c	12.84	c	8.40	b	35.83	c	0.80	a
Mo 19-20-ERR2-11	2.36	83.56	c	45.06	c	12.71	c	8.56	c	35.74	c	0.82	b
Mo 19-20-ERR2-9	2.19	88.11	d	48.79	d	13.43	d	8.55	c	37.13	d	0.80	a
CV (%)	11.01	1.68	3.43	1.01	0.78	0.91	0.57						
DSH ($p \leq 0.05$)	NS	2.929	3.16	0.275	0.14	0.696	0.01						

Literales distintas por columna indican diferencia estadística (Tukey, $p \leq 0.05$); NS, no significativo; Rend., rendimiento promedio de tres ciclos de producción; CV, coeficiente de variación; DSH, diferencia significativa honesta.

en este estudio corresponde a la medición de un solo lado del grano, lo cual permite deducir que la superficie completa de éste es al menos el doble. El bajo coeficiente de variación en las dimensiones del grano de los genotipos (Tabla 2) denotó su uniformidad, aspecto importante en la comercialización por ser un indicador de la calidad física (Uebersax *et al.*, 2022).

La luminosidad del grano recién cosechado (lectura inicial) disminuyó después de 700 días de almacenamiento a 18 °C (lectura final). La disminución en las líneas avanzadas fue de entre 2.27 y 2.56 unidades (Tabla 3), un decremento equivalente al 3.95 % y 4.45 %. En la variedad Az. Noroeste, la disminución fue de 4.06 unidades (8.16 %) y en Az. Higuera, la merma fue de 4.52 unidades (7.10 %) (DSH = 0.94, $p \leq 0.05$). La pérdida de luminosidad en las variedades Az. Higuera y Az. Noroeste coincide con la reportada por Spitti *et al.* (2019) en tres variedades y 16 líneas de frijol, cuya reducción fue de entre 3.99 y 4.74 (7.70 % y 9.81 %) después de 90 d de almacenamiento a una temperatura promedio anual de 21.4 °C y humedad relativa (HR) ambiental. La velocidad de pérdida de luminosidad es asociada con las condiciones de almacenamiento, de acuerdo con Uebersax *et al.* (2022), el oscurecimiento se acelera con temperaturas y HR altas, también señalan que la calidad se mantiene estable al almacenar el grano con una HR del 75 % o menos y a temperaturas de 20 °C o inferiores. Sin embargo, también es posible que la pérdida acelerada se deba a la respuesta intrínseca de los genotipos.

Las líneas avanzadas mostraron reducción de 4.09 % en luminosidad y de 4.29 % en el brillo del grano, ambas características contrastan con la disminución respectiva de 7.63 % y 7.91 % observada en las variedades ($p \leq 0.05$). La respuesta de los genotipos de frijol al oscurecimiento u oxidación de la testa del grano puede ser de resistencia, regular o lenta (Duwadi *et al.*, 2018). En genotipos identificados como de oxidación lenta, evaluados por Spitti *et al.* (2019), la pérdida natural de luminosidad fue de entre el 7.70 % y el 9.81 %, mientras que en la variedad BRS-Pontal, identificada como de oscurecimiento lento, mostró una reducción de alrededor

del 12.0 % reportado por Siqueira *et al.* (2016). A partir de esta información, es factible inferir que las variedades Az. Noroeste y Az. Higuera presentan grano con oscurecimiento natural de la testa lento, pues tienen disminución de luminosidad similar a genotipos definidos con dicha respuesta.

La reducción natural en la luminosidad después de 180 d de almacenamiento, evaluada por Bento *et al.* (2020), en genotipos con oscurecimiento rápido (BRS-Estilo y BRS-Pontal) se observó una disminución del 15.40 %; en los de respuesta lenta (BRSMG-Madrepérola y CNFC 10467) el decremento fue de 7.50 % y en el resistente (frijol Pinto) del 2.50 %. La pérdida en este último es menor que en las tres líneas avanzadas aquí evaluadas, pero se obtuvo en un período de almacenamiento más corto. Esto indica que las tres líneas avanzadas presentan resistencia al oscurecimiento del grano. La reducción (7.50 %) de luminosidad en BRSMG-Madrepérola es similar a la reportada del 7.40 % por Siqueira *et al.* (2016) en esta variedad de oxidación lenta y también concuerda con la merma de luminosidad del 7.63 % en Az. Noroeste y Az. Higuera, lo cual reafirma el oscurecimiento lento ya observado en estas variedades.

La utilización de la pérdida relativa de luminosidad como un criterio práctico, mediante el establecimiento de un intervalo o umbral de referencia, facilitaría identificar la respuesta al oscurecimiento natural de la testa en el grano de frijol. En este sentido, al considerar tanto la información aquí obtenida como la de los estudios de Siqueira *et al.* (2016), Spitti *et al.* (2019) y Bento *et al.* (2020), resulta viable clasificar el grano como resistente cuando la pérdida entre la lectura inicial (recién cosechado) y la final sea menor o igual al 5.0 %, como de respuesta lenta cuando sea mayor al 5.0 % y menor o igual al 10.0 %, y de rápida cuando supere el 10.0 %. De acuerdo con Spitti *et al.* (2019), se requieren alrededor de 90 días de almacenamiento para poder diferenciar el oscurecimiento del grano entre genotipos. Este período es crucial para efectuar la lectura final; sin embargo, es importante recordar que el tiempo necesario para confirmar la respuesta genotípica depende de las condiciones ambientales en el

Tabla 3. Color y brillo (%) del grano en dos variedades y tres líneas avanzadas de frijol, ciclo otoño-invierno, 2019/2020, Campo Experimental Valle del Fuerte.

Table 3. Color and brightness (%) in two bean varieties and three advanced bean lines, fall-winter cycle, 2019/2020, Campo Experimental Valle del Fuerte.

Genotipos	RGB (Red, Green, Blue)				CIELab			Pérdida L
	Rojo	Verde	Azul	Brillo (%)	L	a	b	
Azufrado Noroeste	144.29 a	116.77 a	96.19 a	48.14 a	50.88 a	7.65 d	15.34 b	4.52 b
Azufrado Higuera	148.48 b	123.75 b	95.04 a	50.20 b	53.12 b	5.29 c	19.14 d	4.06 b
MO 19-20 ERR2-12	149.82 bc	128.85 c	108.24 c	52.11 c	54.90 c	4.72 b	14.06 a	2.56 a
MO 19-20 ERR2-11	151.07 c	129.21 c	105.43 b	52.22 c	55.04 c	4.65 b	15.89 b	2.27 a
MO 19-20 ERR2-9	154.93 d	134.90 d	109.28 c	54.16 d	57.01 d	3.55 a	16.49 c	2.29 a
CV (%)	0.46	0.74	1.05	0.65	0.62	3.51	1.68	13.65
DSH ($p \leq 0.05$)	1.51	2.05	2.36	0.73	0.74	0.4	0.595	0.94

Literales distintas por columna indican diferencia estadística (Tukey, $p \leq 0.05$); CV, coeficiente de variación; DSH, diferencia significativa honesta.

almacén, así como por el contenido de humedad del grano, como lo señalan Uebersax *et al.* (2022).

El brillo inicial de la testa tuvo un promedio de 54.47 % y fue diferente al 51.37 % obtenido después de 23 meses de almacenamiento ($p \leq 0.05$); asimismo, ocurrió con la luminosidad que al inicio fue de 57.33 y disminuyó hasta 54.19 ($p \leq 0.05$); es decir, la reducción del brillo fue de 3.10 unidades (5.69 %) y en luminosidad de 3.14 (5.48 %). La máxima pérdida de luminosidad, medida con AID, se registró en el grano de Az. Noroeste y fue del 8.16 %, disminución inferior que la observada por Jacinto *et al.* (2017) al medir, con un colorímetro Konica-Minolta modelo CM-5, el grano de las variedades Flor de Mayo M-38 y Flor de Durazno, cuya respectiva merma fue de 5.6 y 5.8 unidades, equivalente a poco más del 10.0 %. La diferencia en reducción de luminosidad se atribuye de manera principal a la respuesta genotípica, a las condiciones y al tiempo de almacenamiento, según Varga *et al.* (2019), tanto el colorímetro Minolta como el AID miden la luminosidad con resultados comparables. No obstante, resaltan que el AID destaca por facilitar medir otras características del grano además de la luminosidad.

La luminosidad del grano fue diferente entre los genotipos ($DSH = 0.74$, $p \leq 0.05$), la mayor luminosidad la mostró la línea Mo 19-20-ERR2-9 y la menor la variedad Az. Noroeste (Tabla 3). Las líneas avanzadas mostraron mayor luminosidad del grano con respecto a las variedades Az. Noroeste y Az. Higuera e incluso entre éstas existen diferencias ($p \leq 0.05$). El color del grano fue más amarillo y claro en las tres líneas, éste se reflejó en la mayor intensidad del rojo, verde y el azul, ya que la escala de grises va desde cero (negro) hasta 255 (blanco); es decir, cuando los valores del rojo, verde y el azul son altos el color es más claro y es más opaco cuando dichos valores son bajos (Dumka *et al.*, 2020).

El color amarillo en todos los genotipos es indicado por los valores positivos de las coordenadas amarillo-azul (b). El brillo mostró un comportamiento similar al de la luminosidad (Tabla 3), por lo tanto, es posible utilizarlo para evaluar el oscurecimiento de la testa. De acuerdo con Varga *et al.* (2019) las lecturas del colorímetro Minolta CR-400® (Konica Minolta Inc., Osaka, Japón) presentan estrecha correlación con el color obtenido con el AID, pero este último tiene la ventaja de medir, al mismo tiempo, las dimensiones y el color de cada grano, a diferencia del colorímetro que solo mide la luminosidad y lo hace a nivel de muestra. El coeficiente de variación en los valores relacionados con el color del grano fue bajo (Tabla 3), esto favorece la calidad física de esta leguminosa debido a la homogeneidad existente en la intensidad del color (Uebersax *et al.*, 2022).

CONCLUSIONES

El incremento de las dimensiones del grano y la menor reducción del brillo de la testa en las líneas Mo 19-20-ERR2-9 y Mo 19-20-ERR2-11 confirman la efectividad de la selección para mejorar la calidad física. El porcentaje de brillo y la luminosidad, obtenidos mediante el análisis de imágenes digitales, permiten identificar la respuesta de los genotipos al

oscurecimiento natural de la testa. La oxidación de la testa es lenta en las variedades Azufrado Noroeste y Azufrado Higuera; mientras que las líneas avanzadas de frijol tipo azufrado Mo 19-20-ERR2-9, Mo 19-20-ERR2-11 y Mo 19-20-ERR2-12 presentan resistencia.

REFERENCIAS

- Acosta, G.J.A., Jiménez, H.Y., Montero, T.V., Guzmán, M.S.H. y Anaya, L.J.L. 2016. San Rafael, nueva variedad de frijol pinto de reacción neutral al fotoperiodo para el centro de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 7(3): 717-722.
- Anaya, J.L., Ibarra, F.J., Rodríguez, F.G., Ortega P.F., Acosta, J.A. y Chiquito, E. 2021. Leguminosas de grano en México: variedades mejoradas de frijol y garbanzo desarrolladas por el INIFAP. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 12(25): 63-75.
- Ayala, A.V., Acosta, J.A. y Reyes, L. 2021. El cultivo del frijol presente y futuro para México. Libro Técnico No. 1. INIFAP. CIRCE. Campo Experimental Bajío. Celaya Gto. México. 232 p.
- Bento, A.C., Lanna, A.C., Bassinello, P.Z., Oomah, B.D., Pimenta, E.B., Carvalho, R.N. y Moreira, A.S. 2020. Aging indicators for stored carioca beans. *Food Research International* 134: 109249.
- Buzera, A., Kinyanjui, P., Ishara, J. y Sila, D. 2018. Physical and cooking properties of two varieties of bio-fortified common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) grown in DR Congo. *Food Science and Quality Management* 71: 2225-0557.
- CIAT. 1987. Sistema estándar para la evaluación de germoplasma de frijol. Schoonhoven, A. van y Pastor-Corrales, M. A. (comps.) Centro Internacional de Agricultura Tropical Cali, Colombia. 56 p.
- Delfini, J., Moda, V., CdF. Ruas, dos Santos J., Ruas P.M., Buratto J., Ruas, E.A. y Gonçalves, L. S. 2017. Distinctness of Brazilian common bean cultivars with carioca and black grain by means of morphoagronomic and molecular descriptors. *PLoS ONE* 12(11): e0188798.
- Dumka, A., Ashok, A., Verma, P. y Verma, P. 2020. Advanced digital image processing and its applications in big data (1st ed.). CRC Press, Boca Raton, Florida.
- Duwadi, K., Austin, R.S., Mainali, H.R., Bett, K., Marsolais, F. y Dhaubhadel, S. 2018. Slow darkening of pinto bean seed coat is associated with significant metabolite and transcript differences related to proanthocyanidin biosynthesis. *BMC Genomics* 19(1): 1-13.
- Ferreira, T., y Rasband, W. 2012. ImageJ user guide: IJ 1.46 r revised edition. [Consultado 10 enero 2022]. Disponible en: <https://imagej.nih.gov/ij/docs/guide/user-guide.pdf>
- Hu, Y. y Zhang, Z. 2021. GridFree: a python package of image analysis for interactive grain counting and measuring. *Plant Physiology* 186 (4): 2239-2252.
- Jacinto, H.C., Bernal, L.I., Garza, G.R., y Garza, G.D. 2017. Cambios poscosecha en frijol durante el almacenamiento prolongado en contraste con el envejecimiento acelerado. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 8(8): 1827-1837.
- Kalauni, S. y Dhakal, D. 2020. Correlation and path coefficient analysis of seed yield and yield components of french bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes in sub-tropical region. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology* 8(9): 1928-1934.

- Klāsener, G. R., Ribeiro, N. D., y Da Silva Argenta, H. 2022. Genetic divergence and selection of bean cultivars of different grain types based on physical traits. *Revista Ciencia Agronomica*, 53: e20217820.
- Langat, C., Ombori, O., Leley, P., Karanja, D., Cheruiyot, R., Gathaara, M. y Masila, B. 2019. Genetic variability of agronomic traits as potential indicators of drought tolerance in common beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *International Journal of Agronomy*, Article ID 2360848.
- Mesera, E., Shifaraw, G., Alamerew, S. y Amsalu, B. 2022. Genetic variability analysis and association of traits in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) landraces collected from Ethiopia at Jimma. *Advances in Agriculture*, Article ID 4400711.
- Nunes, H.D., Leal, F.T., Mingotte, F.L.C., Damião, V.D., Junior, P.A.C. y Lemos, L.B. 2020. Agronomic performance, quality and nitrogen use efficiency by common bean cultivars. *Journal of Plant Nutrition* 44(7): 995-1009.
- R Core Team. 2021. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.r-project.org/>.
- Rosales, S.R. y Flores, G. H. 2022. PID 1: Variedad de frijol pinto con semillas de oscurecimiento lento para riego en Durango, México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 45(1):145-147.
- Rosales, S.R., Nava, C.A., González, H., Herrera, M.D., Jiménez, J.C., Ramírez, N.Y. y Osuna, E.S. 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.
- Salinas, P.R.A., Rodríguez, C.F.G., Padilla, V.I., Valencia, M.Y., Ortiz, C.H.G. y Acosta, G.J.A. 2012. Janasa, nueva variedad de frijol tipo azufrado para el estado de Sinaloa, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 3(2): 397-402.
- Sinclair, T. R. 2020. "Basis of yield component compensation in crop plants with special reference to field bean, *Phaseolus vulgaris*" by M. Wayne Adams, *Crop Science* (1967) 7, 505-510. *Crop Science* 61(2): 863-865.
- Siqueira, B. dos S., Bassinello, P. Z., Santos, S. C., Malgaresi, G., Ferri, P. H., Rodriguez, A. G., y Fernandes, K. F. 2016. Do enzymatic or non-enzymatic pathways drive the postharvest darkening phenomenon in carioca bean tegument? *LWT - Food Science and Technology* 69: 593-600.
- SNICS (Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas). 2017. Guía técnica para la descripción varietal. Frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). 2a (Ed.). SAGARPA. SNICS. Coyoacán, Cd. de México. 36 p.
- Spitti, A.M.D.S., Carbonell, S.A.M., Dias, C.T.D.S., Sabino, L.G., Carvalho, C.R.L. y Chiorato, A.F. 2019. Carioca bean genotypes for tolerance to grain darkening by natural and accelerated methods. *Ciência e Agrotecnologia* 43:e012519.
- Uebersax, M. A., Siddiq, M., Cramer, J. y Bales, S. 2022. Harvesting, postharvest handling, distribution, and marketing of dry beans. In: *Dry Beans and Pulses: Production, Processing, and Nutrition* (Second ed.). M. Siddiq and M. A. Uebersax (Eds.), pp. 81-104. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.
- UPOV. 2013. Technical Working Party on Automation and Computer Programs- Revision of Document TGP/8: Part II: Techniques Used in DUS Examination, New Section: Examining Characteristics Using Image Analysis. International Union for the Protection of new Varieties of Plants. Seoul, Republic of Korea. 27 p. [Consultado 10 enero 2022]. Disponible en: http://www.upov.int/edocs/mdocs/upov/en/twc_31/twc_31_20.pdf
- UPOV. 2015. Unión Internacional para la Protección de las Obtenciones Vegetales. Directrices para la ejecución del examen de la distinción, la homogeneidad y la estabilidad, para judía común, Alubia (*Phaseolus vulgaris*). Documento TG/12/9 Rev. 2, International Union for the Protection of new Varieties of Plants. Ginebra, Suiza. 47 p. [Consultado 10 enero 2022]. Disponible en: <https://www.upov.int/edocs/tgdocs/es/tg012.pdf>
- Varga, F., Vidak, M., Ivanović, K., Lazarević, B., Širić, I., Srećec, S., Šatović, Z. y Carović, K. 2019. How does Computer vision compare to standard colorimeter in assessing the seed coat color of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.)?. *Journal of Central European Agriculture* 20(4): 1169-1178.
- Wallander-Compean, L., Almaraz-Abarca, N., Alejandro-Iturbide, G., Uribe-Soto, J.N., Ávila-Reyes, J.A., Torres-Ricario, R., Herrera-Arrieta, Y. y Delgado-Alvarado, E.A. 2022. Variación fenológica y morfométrica de *Phaseolus vulgaris* (Fabaceae) de cinco poblaciones silvestres de Durango, México. *Botanical Sciences* 100(3): 563-578.
- Wu, J., Wang, L., Fu, J., Chen, J., Wei, S., Zhang, S., Zhang, J., Tang, Y., Chen, M., Zhu, J., Lei, L., Geng, Q., Liu, C., Wu, L., Li, X., Wang, X., Wang, Q., Wang, Z., Xing, S., Zhang, H., Blair, M.W. y Wang, S. 2019. Resequencing of 683 common bean genotypes identifies yield component trait associations across a north-south cline. *Nature Genetics*, 52(1): 118-125.
- Ziegler, V., Paraginski, R.T. y Ferreira, C.D. 2021. Grain storage systems and effects of moisture, temperature and time on grain quality-A review. *Journal of Stored Products Research* 91: 101770.