

**Rendimiento y peso del grano de líneas de frijol tipo “Flor de Junio” y
oscurecimiento de la testa de la semilla**
**Yield and weight of dry bean lines from the “Flor de Junio” bean type and
seed coat darkening**

José Ángel Cid Ríos¹

Jorge Alberto Acosta Gallegos²

Adolfo García Salinas³

Hermila T. García Osuna³

Yanet Jiménez Hernández²

Sergio A. Rodríguez Herrera³

¹ Campo Experimental Zacatecas, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

² Campo Experimental Bajío-INIFAP. Carretera Celaya-San Miguel Allende

³ Departamento de Fitomejoramiento, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro

Autor para correspondencia: Jorge Alberto Acosta Gallegos, E-mail: acosta.jorge@inifap.gob.mx

Resumen

Introducción: En el centro de México, el frijol tipo Flor de Junio (FJ) es de alta demanda; se produce bajo condiciones de riego y temporal en Zacatecas, San Luís Potosí y Guanajuato. Por lo general el grano de las variedades del tipo FJ muestra oscurecimiento en el almacén. El objetivo fue identificar líneas de frijol tipo FJ, seleccionadas previamente por oscurecimiento, de alto rendimiento y peso del grano estables bajo condiciones de temporal.

Método: Se estableció en Celaya, Gto., un experimento bajo condiciones de temporal con 42 líneas F₇ provenientes de la cruce biparental entre Pinto Saltillo / Dalia en Calera, Zac. y Celaya,

Gto. Los progenitores se establecieron en un ensayo separado dentro de la misma localidad. Las variables evaluadas fueron peso de cien semillas y rendimiento por hectárea. Se realizó un análisis combinado que consideró los efectos de localidades, líneas e interacción genotipo x ambiente (IGA). Para determinar el nivel de IGA de cada línea se utilizó el modelo AMMI. Las cinco líneas con rendimiento superior fueron expuestas por 72 h a rayos UV para su oscurecimiento acelerado y se determinó cuantitativamente la intensidad del color y grado de claridad de la testa junto con el testigo de oscurecimiento lento, Pinto Saltillo.

Resultados y Discusión: Para ambas variables evaluadas hubo diferencias significativas entre ambientes, genotipos e interacción ($P \leq 0.05$). Algunas líneas presentaron mayor peso y rendimiento que el promedio, y comparadas con los progenitores establecidos en Celaya, lo que se puede atribuir a genes complementarios con acción génica aditiva, además de observarse segregación transgresiva, tanto positiva como negativa. Las líneas de mayor rendimiento, de 2.203 a 2.334 kg. ha⁻¹ fueron PS/D-M-M-26-1-M, PS/D-M-M-38-1-M, PS/D-M-M-17-1-M, PS/D-M-M-42-1-M y PS/D-M-M-39-1-M. El análisis AMMI para peso de cien semillas indicó que 47.27 % de la variación la explicó el ambiente, 38.66 los genotipos y la interacción el 14.07 %. Para el rendimiento 13.79 % de la variación fue explicada por el ambiente, 40.77 % por el genotipo y 45.44 por la interacción. La línea PS/D-M-M-38-1-M mostro baja IGA, por lo cual se considera estable. Las líneas al inicio del tratamiento con UV fueron ligeramente más oscuras que Pinto Saltillo, sin embargo, durante el proceso el incremento gradual fue menor que el del testigo.

Conclusiones: En promedio, en ambas localidades de prueba, se identificaron líneas de alto rendimiento, superiores al promedio de las líneas. Las líneas de mayor rendimiento también presentaron la característica de oscurecimiento lento. La línea PS/D-M-M-38-1-M, de baja IGA, resultó sobresaliente en todas las características evaluadas.

Palabras clave: Phaseolus vulgaris L.; Interacción Genotipo x Ambiente; secano; oscurecimiento de testa

Abstract

Introduction: In the center of Mexico, the Flor de Junio (FJ) bean type has high demand; it is produced under irrigated and rainfall conditions in Zacatecas, San Luis Potosi and Guanajuato. In general, the grain of FJ type cultivars darkens during storage. The objective was to identify bean

lines FJ type, previously selected based on seed coat darkening, of stable high yield and grain weight under rainfall conditions.

Method: An experiment was established under rainfall conditions with 42 F₉ lines from the biparental cross between Pinto Saltillo / Dalia at Calera, Zac., and Celaya, Gto. In Celaya, the parents were established in a separate trial within the same locality. The variables evaluated were weight of one hundred seeds and yield per hectare. A combined analysis was carried out, considering the effects of localities, lines and genotype x environment interaction (IGA). To determine the IGA level of each line, the AMMI model was used. The five lines with superior yield performance were exposed for 72 h to UV rays, in order to evaluate accelerated seed coat darkening; the intensity of the color and degree of clarity of the coat was determined together with the slow darkening check, Pinto Saltillo.

Results and Discussion: For both studied traits, there were significant differences between environments, genotypes and interaction ($P \leq 0.05$). Some lines showed greater seed weight and yield than the trial average, compared with the parents established in Celaya, which could be attributed to complementary genes with additive action, in addition to observing transgressive segregation, both positive and negative. The highest yielding lines, from 2,203 to 2,334 kg ha⁻¹ were PS / D-M-M-26-1-M, PS / D-M-M-38-1-M, PS / D-M-M-17-1-M, PS / D-M-M-42-1-M and PS / D-M-M-39-1-M. The AMMI analysis for hundred seed weight variable, indicated that 47.27 % of the variation was due to the locality, 38.66 by the genotypes and 14.07 % by the interaction. For seed yield, 13.79 % of the variation was explained by the locality, 40.77 % by the genotype and 45.44 by the interaction. The line PS / D-M-M-38-1-M showed low IGA, therefore is highly stable. The lines at the beginning of the UV treatment were slightly darker than Pinto Saltillo but their gradual increase during the process was lower than that of the check.

Conclusions: Average of both test locations, high yielding lines were superior to the average of the lines. The higher yielding lines also presented the slow darkening trait. Line PS / D-M-M-38-1-M, of low IGA, resulted outstanding in all recorded traits.

Keywords: Phaseolus vulgaris L.; Interaction Genotype x Environment; dry land; seed coat darkening

Recibido en 23/05/2018

Aceptado en 20/08/2018

Introducción

El frijol es la leguminosa alimenticia más importante para el consumo humano y es cultivada prácticamente en todo el mundo en áreas geográficas muy diversas (Rodríguez *et al.*, 2009). En México, durante el periodo 2010 a 2016, el 94.97 por ciento de la producción nacional estuvo compuesto por seis tipos de frijol, donde en orden decreciente los porcentajes fueron: Negro 31.15, Pinto 24.38, Azufrado 16.12, Flor de Mayo 10.08, Flor de Junio 8.13, Bayo 4.11 y otros 5.03 (Alubia, Cacahuatate, Ojo de Cabra, Garbancillo, entre otros) (SIAP, 2010-2016).

En el centro del país en los estados de Zacatecas, Aguascalientes, Guadalajara, Guanajuato, Querétaro, el frijol tipo Flor de Junio tiene alta demanda y es producido bajo condiciones de riego y temporal en Zacatecas, San Luis Potosí y Guanajuato, principalmente (Acosta-Gallegos *et al.*, 2014a). Los consumidores poseen preferencias específicas en cuanto a forma y color del frijol; las variedades de frijol de grano claro por lo general muestran oscurecimiento del grano durante el almacenamiento; esto incluye a las variedades de los tipos Flor de Mayo, Flor de Junio, Canario y Pinto. El oscurecimiento se ve acentuado por condiciones desfavorables de almacenamiento como: alta humedad y temperatura, lo que causa pérdidas económicas debido a la declinación de la calidad visual del grano, ya que los consumidores relacionan el oscurecimiento del grano, con tiempos prolongados en almacén y dureza, implicando esta última característica, mayor tiempo de cocción. Las causas exactas del oscurecimiento se desconocen, pero incluyen una combinación de efecto ambiental, genético y cambios bioquímicos en la cubierta de la semilla (Beninger *et al.*, 2005).

Los granos de frijol que cambian a un color oscuro, se consideran de una calidad inferior y de menor valor comercial. En las leguminosas las proantocianidinas se acumulan en el endotelio de la cubierta de la semilla y se ubican dentro de las células debido a que se derivan metabólicamente de la fenilalanina en una serie de etapas catalizadas por enzimas codificadas por genes de biosíntesis temprana (Beninger *et al.*, 2005). El oscurecimiento de la cubierta de la semilla en genotipos susceptibles, depende de la disponibilidad de proantocianidinas, aunque las

determinaciones moleculares y bioquímicas para este fenómeno metabólico son desconocidas; se sabe que las proantocianidinas se incrementan en materiales susceptibles al oscurecimiento de testa (Freixas *et al.*, 2017).

De acuerdo con Basset (1996), el oscurecimiento de la cubierta de la semilla está controlado por un solo gen, el “JJ” y la expresión del alelo recesivo “jj” está presente genotipos resistentes al oscurecimiento de la testa en comparación con genotipos que tienen el alelo dominante. Otro gen relacionado, el “SD SD” al encontrarse en estado recesivo “sd sd”, retarda el oscurecimiento de la cubierta, locus que imparte la característica de oscurecimiento lento a variedades de tipo pinto como el Pinto Saltillo (Sánchez-Valdez *et al.*, 2004), San Rafael, Rarámuri y Salinas (Acosta-Gallegos *et al.*, 2016; Jiménez-Hernández *et al.*, 2018).

Los estudios de Elsadr *et al.* (2011), describieron un modelo donde dos genes interactúan en epistasis, lo que produce tres fenotipos para el carácter de oscurecimiento lento; donde la interacción se debe a los genes “JJ”, responsable de la presencia o ausencia del oscurecimiento, con el gen “SD” responsable de la tasa o velocidad de oscurecimiento. Silva *et al.* (2014) señalaron que en algunas cruzas donde interviene la acción de un solo gen recesivo, y para otras la epistasis doble recesiva, probablemente estén involucrados ambos genes, e indicaron que el hecho de que estas características estén bajo la influencia de pocos genes, indica una alta posibilidad para hacer selección efectiva de genotipos sin o con oscurecimiento lento de la cubierta de la testa.

Por otra parte, el análisis de la interacción genotipo por ambiente, permite seleccionar genotipos estables de amplia adaptación y rendimiento superior; también permite, identificar ambientes en los cuales la interacción con los genotipos es menor (López-Salinas *et al.*, 2015). El modelo AMMI de componentes principales (PC), toma en cuenta el modelo aditivo más el multiplicativo, y este método ha sido útil para identificar genotipos de alto rendimiento y estables; este modelo es apropiado para realizar análisis de IGA, ya que muestra mayor precisión comparado con el modelo aditivo (Zobel *et al.*, 1988). El objetivo de este estudio fue identificar, en un juego de 42 líneas de frijol tipo Flor de Junio, las de mayor rendimiento, estabilidad, de menor oscurecimiento de testa al ser expuestas a la luz UV, y las de baja interacción genotipo ambiente IGA, bajo condiciones de temporal.

Materiales y métodos

En el ciclo PV 2017 se establecieron bajo condiciones de temporal dos experimentos: uno en el Campo Experimental Zacatecas (CEZAC), Calera, Zac., del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), localizado en el municipio de Calera de Víctor Rosales y otro en el Campo Experimental Bajío (CEBAJ) de Celaya, Guanajuato.

En el CEZAC, Calera, Zac., la siembra se realizó el 14 de julio del 2017, bajo un diseño de bloques incompletos en un látice rectangular de 6 x 7 con dos repeticiones, evaluando 42 líneas provenientes de la cruce biparental entre Pinto Saltillo / Dalia en generación F₇. Todas las líneas presentan el fenotipo característico del grano tipo Flor de Junio, fondo crema con franjas rosa. La unidad experimental consto de seis metros lineales y la distancia entre surcos fue de 0.76 m y 10 cm entre plantas; la fertilización al suelo en la siembra fue con la dosis 30-50-30 (N-P₂O₅-K₂O, respectivamente). Se realizaron dos cultivos mecanizados, el primero a los veinte días después de la siembra y el segundo a los 40 en etapa de prefloración.

En el Cuadro 1, se muestra en comportamiento promedio de cinco muestras de las líneas, así como, de los progenitores a las diferentes enfermedades, donde se utilizó la escala de severidad de las enfermedades bajo condiciones de campo propuesta por el (CIAT, 1987). Donde también se describe el color de testa del progenitor masculino Flor de Junio Dalia (Acosta-Gallegos *et al.*, 2014) y el progenitor femenino Pinto Saltillo (Sánchez *et al.*, 2009).

Cuadro 1. Caracterización agronómica de 41 líneas y su progenitor masculino como testigo.

| Línea | Genealogía | DF | TC | TH | RY | CT |
|-------|---------------|----|-----|-----|-----|--|
| 1 | PS/D-M-M-1-M | 46 | 3.2 | 3.3 | 2.0 | |
| 2 | PS/D-M-M-2-M | 45 | 2.6 | 2.3 | 1.8 | |
| 3 | PS/D-M-M-3-M | 44 | 3.8 | 2.0 | 1.8 | |
| 4 | PS/D-M-M-4-M | 45 | 2.6 | 1.8 | 2.3 | |
| 5 | PS/D-M-M-5-M | 45 | 3.2 | 2.3 | 2.3 | |
| 6 | PS/D-M-M-6-M | 45 | 3.2 | 1.8 | 1.0 | |
| 7 | DALIA | 47 | 3.2 | 1.8 | 1.3 | Cuyo color es de fondo crema con franjas rojas |
| 8 | PS/D-M-M-8-M | 42 | 2.6 | 2.5 | 2.5 | |
| 9 | PS/D-M-M-9-M | 45 | 2.8 | 2.8 | 2.5 | |
| 10 | PS/D-M-M-10-M | 46 | 2.6 | 2.0 | 1.0 | |
| 11 | PS/D-M-M-11-M | 46 | 3.8 | 1.5 | 2.5 | |
| 12 | PS/D-M-M-12-M | 45 | 3.2 | 2.0 | 1.8 | |
| 13 | PS/D-M-M-13-M | 46 | 2.4 | 2.8 | 1.3 | |
| 14 | PS/D-M-M-14-M | 46 | 2.4 | 2.0 | 1.8 | |

| | | | | | |
|--|---------------|----|-----|-----|-----|
| 15 | PS/D-M-M-15-M | 45 | 3.4 | 3.5 | 2.0 |
| 16 | PS/D-M-M-16-M | 46 | 3.6 | 2.3 | 1.8 |
| 17 | PS/D-M-M-17-M | 45 | 3 | 2.5 | 1.3 |
| 18 | PS/D-M-M-18-M | 46 | 2.8 | 2.5 | 2.3 |
| 19 | PS/D-M-M-19-M | 45 | 2.6 | 1.5 | 1.8 |
| 20 | PS/D-M-M-20-M | 46 | 3 | 1.5 | 0.8 |
| 21 | PS/D-M-M-21-M | 46 | 2.8 | 1.8 | 1.3 |
| 22 | PS/D-M-M-22-M | 45 | 2.6 | 1.8 | 2.3 |
| 23 | PS/D-M-M-23-M | 45 | 2.4 | 2.5 | 1.5 |
| 24 | PS/D-M-M-24-M | 45 | 2.8 | 2.5 | 2.3 |
| 25 | PS/D-M-M-25-M | 47 | 3.2 | 1.8 | 1.0 |
| 26 | PS/D-M-M-26-M | 46 | 2 | 2.3 | 2.0 |
| 27 | PS/D-M-M-27-M | 43 | 3 | 2.0 | 1.3 |
| 28 | PS/D-M-M-28-M | 45 | 2.8 | 1.8 | 2.3 |
| 29 | PS/D-M-M-29-M | 46 | 2.8 | 1.8 | 2.3 |
| 30 | PS/D-M-M-30-M | 45 | 2.8 | 1.5 | 1.0 |
| 31 | PS/D-M-M-31-M | 46 | 2.8 | 2.0 | 1.3 |
| 32 | PS/D-M-M-32-M | 45 | 3 | 1.5 | 2.5 |
| 33 | PS/D-M-M-33-M | 46 | 2.6 | 1.5 | 3.3 |
| 34 | PS/D-M-M-34-M | 47 | 2.6 | 2.8 | 2.3 |
| 35 | PS/D-M-M-35-M | 46 | 2.4 | 3.0 | 2.5 |
| 36 | PS/D-M-M-36-M | 45 | 2.4 | 1.5 | 1.8 |
| 37 | PS/D-M-M-37-M | 46 | 3.2 | 2.3 | 2.8 |
| 38 | PS/D-M-M-38-M | 45 | 2.4 | 2.5 | 1.5 |
| 39 | PS/D-M-M-39-M | 46 | 2.8 | 2.8 | 1.3 |
| 40 | PS/D-M-M-40-M | 46 | 2.4 | 2.3 | 2.3 |
| 41 | PS/D-M-M-41-M | 46 | 3 | 1.8 | 2.5 |
| 42 | PS/D-M-M-42-M | 45 | 2.6 | 1.5 | 1.5 |
| Pinto Saltillo | | 43 | 3 | 1 | 2 |
| Cuyo color es crema claro con pintas de color café claro | | | | | |

DF= Días a floración, **TC**= Tizón Común, **TH**= Tizón de Halo, **RY**= Roya, **CT**= Color de testa.

El segundo ensayo se estableció en el CEBAJ, Celaya, Gto., el 18 de julio del 2017; la fertilización al suelo en la siembra fue con la dosis 25-25-10 (N-P₂O₅-K₂O, respectivamente). Se dieron dos cultivos mecanizados y una aplicación de insecticida para el control de la chicharrita (*Empoasca kraemeri* Ross & Moore). En ambas localidades la siembra se realizó en suelo húmedo después del inicio de la temporada de lluvias y durante el ciclo del cultivo se midieron las temperaturas máximas y mínimas diarias y la precipitación en la estación meteorológica cercana al sitio experimental.

Para el análisis estadístico se usó el diseño de bloques completos al azar en dos ambientes, con base en el modelo $Y_{ijk} = \mu + A_i + G_j + AG_{ij} + B_{(ij)} + E_{ijk}$, que describe los efectos de ambientes (A), genotipos (G), y la interacción genotipo por ambiente (GA_{ij}), el efecto de bloques (B_(ij)) y el efecto del error (E_{ijk}); para la separación de medias se utilizó la prueba de rango múltiple de Duncan con $\alpha = 0.05$. La heredabilidad fue estimada de acuerdo a Pérez *et al.* (2013), quienes

mencionan que la heredabilidad en sentido amplio es estimada a partir de los componentes de varianza resultante de las esperanzas matemáticas de los cuadrados medios del ANOVA combinado, cuyo modelo se mostró previamente, y fue calculada mediante la siguiente fórmula:

$$h^2 = \frac{\sigma^2_G}{\sigma^2_F} = \frac{\sigma^2_G}{\sigma^2_G + \sigma^2_{GXA} + \sigma^2_E} \times 100$$

Donde; h^2 : Heredabilidad en sentido amplio, σ^2_G : Componente de varianza genética, σ^2_{GXA} : Componente de varianza de la interacción genotipo x ambiente y σ^2_E : Componente de varianza del error.

Las variables determinadas fueron: peso de cien semillas (PCS)(g) la cual fue estimada para cada línea tomando cien semillas al azar, y el rendimiento por hectárea, el cual se estimó en cada genotipo y repetición al determinar el peso por parcela (kg) y se convirtió a kilogramos por hectárea. Para determinar los efectos de la interacción genotipo x ambiente (IGA) se utilizó el modelo AMMI (Zobel *et al.*, 1988).

Para evaluar el oscurecimiento lento de testa, se utilizaron cinco líneas superiores en rendimiento y la variedad de oscurecimiento lento Pinto Saltillo, determinándose el color, intensidad y grado de claridad de la testa. Para ello, semillas de los genotipos superiores en rendimiento junto con el testigo se expusieron a rayos ultravioleta (UV). Se utilizó la metodología propuesta por Junk-Knievel *et al.*, (2007), donde las semillas se colocaron uniformemente en cajas Petri de vidrio que se situaron a 10 cm bajo los rayos UV utilizando una intensidad de onda de 254 nm. Para determinar la expresión del color se utilizó un cromatógrafo “colorímetro” (Konica Minolta CR-400) (Tarlak *et al.*, 2016), el cual utiliza tres coordenadas para ubicar un color en un espacio xyY, donde se representa por dos ejes “x, y” y su luminosidad el eje Y. En 1976 el modelo evolucionó a CIELab (L*a*b); donde L = Eje de luminosidad donde va de 0 (negro) a 100 (blanco) expresado como porcentaje. a = Eje de coordenadas que es la variación entre rojo - verde y b = Eje de coordenadas que es la variación de entre amarillo - azul. La lectura de cada muestra comenzó desde las cero horas de exposición y continuó cada 12 horas, hasta cumplir 72 h.

Resultados y discusión

En Calera, durante el desarrollo del cultivo se registró un total de 294.9 mm de precipitación, 20.9 mm en la primera decena de Julio, humedad que se aprovechó para el establecimiento del cultivo. En Celaya se registraron 269.8 mm de precipitación; en la segunda decena del mes de julio se presentaron 30.8 mm que se aprovecharon para el establecimiento del cultivo. La precipitación logró mantener el cultivo con humedad adecuada en floración y comienzo de la etapa reproductiva, por lo que se pudiera considerar que el rendimiento en ambas localidades no fue afectado por estrés de humedad.

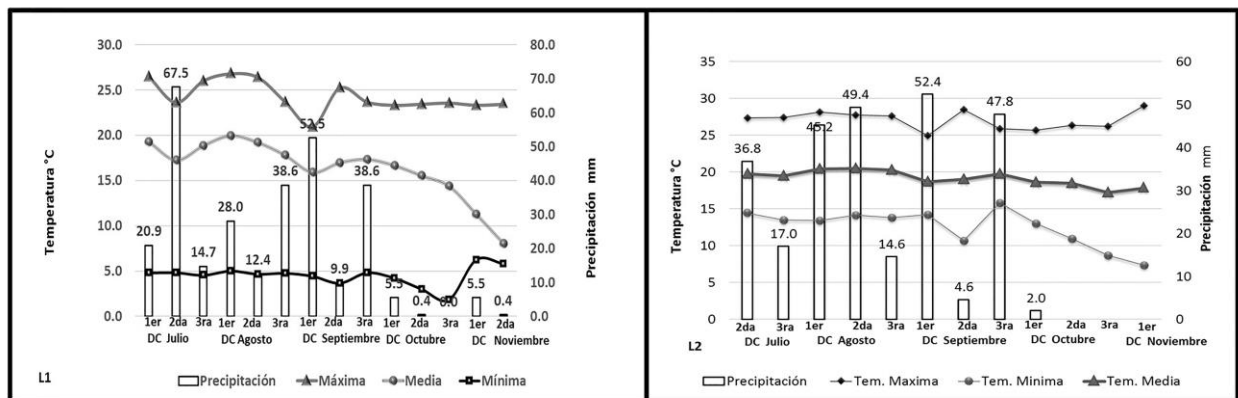


Figura 1. Temperatura máxima, y mínima media y precipitación acumulada por decenas en las localidades de Calera, Zacatecas y Celaya, Guanajuato durante el ciclo de temporal, 2017.

El análisis de varianza combinado para peso de cien semillas mostró diferencias significativas entre ambientes, genotipos y en la interacción genotipo por ambiente ($P \leq 0.0001$). La línea con mayor peso fue PS/D-M-M- 41-1 con 38 g, seguida de PS/D-M-M- 37-1 con 37 g, mientras que la de menor peso fue PS/D-M-M- 34-1 con 28 g (Cuadro 2). Rosales-Serna *et al.* (2014) y Osuna-Ceja *et al.*, (2012) señalaron que el peso de cien semillas de la variedad Pinto Saltillo, utilizado como progenitor femenino de las líneas evaluadas, fluctúa de 29.2 a 30 g en localidades del

altiplano semiárido. En este caso, las líneas mostraron amplia variación; al considerar que hubo líneas que presentaron mayor peso que el mencionado para Pinto Saltillo, la respuesta se puede atribuir a la actividad de genes complementarios con acción génica aditiva, además de que algunas líneas presentaron segregación transgresiva positiva, ya que el progenitor masculino, Dalia (Acosta-Gallegos *et al.*, 2014b) es de peso similar al de Pinto Saltillo. Aunque el peso de cien semillas es una característica de interés en la demanda del mercado, y la cual según Lee *et al.* (2015), está influenciada por seis genes que interactúan en su expresión, la heredabilidad fue de 36 por ciento que es considerada como de baja a intermedia.

Cuadro 2. Comparación de medias para peso de cien semillas (PCS) y heredabilidad, del análisis combinado de 42 líneas de tipo Flor de Junio establecidas bajo temporal en dos localidades, ciclo Primavera-Verano 2017.

| PCS | | | PCS | | | PCS | | | PCS | | |
|-----------------|-----|---------|-------|-----|---------|-------|-----|---------|-------|------|-----|
| Línea | (g) | | Línea | (g) | | Línea | (g) | | Línea | (g) | |
| 41 ¹ | 38 | a | 8 | 33 | cdefghi | 29 | 31 | fghijkl | 40 | 30 | jkl |
| 37 | 37 | ab | 21 | 33 | cdefghi | 17 | 31 | ghijkl | 19 | 30 | jkl |
| 6 | 36 | abc | 42 | 33 | cdefghi | 26 | 31 | hijkl | 23 | 30 | kl |
| 35 | 35 | abcd | 1 | 32 | defghij | 28 | 31 | hijkl | 27 | 29 | jkl |
| 36 | 35 | bcde | 5 | 32 | defghij | 10 | 31 | hijkl | 22 | 29 | kl |
| 30 | 35 | bcde | 7 | 32 | defghij | 25 | 30 | ijkl | 32 | 29 | kl |
| 4 | 34 | bcde | 20 | 32 | efghijk | 12 | 30 | ijkl | 33 | 28 | l |
| 39 | 34 | bcdef | 14 | 32 | efghijk | 24 | 30 | ijkl | 15 | 28 | l |
| 38 | 34 | bcdefg | 2 | 32 | efghijk | 11 | 30 | ijkl | 34 | 28 | l |
| 3 | 34 | bcdefgh | 9 | 31 | fghijkl | 13 | 30 | ijkl | Prom. | 32.4 | |
| 31 | 34 | bcdefgh | 18 | 31 | fghijkl | 16 | 30 | ijkl | | | |
| $h^2 =$ | 36 | | | | | | | | | | |

¹ La genealogía completa de la línea es PS/D-M-M-41-1-M y entre ellas difieren solo por el número de selección en la generación F₃, en la que se inició la selección con base al oscurecimiento de la testa; **PS** = Pinto Saltillo, **D** = Dalia.

En el análisis de varianza combinado para rendimiento por hectárea se observaron diferencias significativas entre ambientes y genotipos ($P \leq 0.001$), así mismo, hubo diferencias significativas en la interacción genotipo por ambiente ($P \leq 0.036$). De acuerdo a estos resultados, los materiales

presentan baja interacción, aunque se requiere información de más localidades para confirmar su estabilidad. El tratamiento de mayor rendimiento fue el PS/D-M-M- 26-1-M con 2,334 kg. ha⁻¹, seguido del PS/D-M-M- 38-1-M con 2,321; mientras que la de menor rendimiento fue el PS/D-M-M- 22-1-M con 930 kg. ha⁻¹ (Cuadro 3). Osuna-Ceja *et al.* (2012) y Rosales-Serna *et al.* (2014) señalan que el rendimiento de la variedad Pinto Saltillo bajo condiciones de temporal fluctúa de 1,214 a 1,531 kg ha⁻¹. Mientras que Acosta-Gallegos *et al.* (2014b), indican que el rendimiento promedio de la variedad Dalia es 1,881 de kg. ha⁻¹. Los resultados coinciden con lo reportado por (Acosta-Gallegos *et al.*, 2012) quienes observaron que las localidades de prueba (ambientes) fueron las que más influyeron en la variación del rendimiento. En este estudio el efecto de la interacción resultó menor que el de los genotipos. Esta respuesta pudiera atribuirse a lo señalado por Beyene *et al.* (2016) quienes indican que la complementación de genes aditivos, y la condición ambiental favorecieron la expresión de genes transgresivos logrando que la progenie superara a los progenitores en rendimiento. La heredabilidad expresada para este carácter fue baja (12 por ciento). Esto pudiera atribuirse al complejo de genes que interactúan sobre esta característica, al fuerte efecto del ambiente y en menor proporción al de la interacción (Corte *et al.*, 2010).

Cuadro 3. Comparación de medias de rendimiento por hectárea y heredabilidad, del análisis combinado de 42 progenies Flor de Junio, establecidas bajo temporal en dos localidades, ciclo Primavera-Verano 2017.

| Rendimiento | | | Rendimiento | | | Rendimiento | | | Rendimiento | | |
|------------------|-------------------------|-------|-------------|-------------------------|----------|-------------|-------------------------|----------|-------------|-------------------------|--------|
| Línea | (Ton·ha ⁻¹) | | Línea | (Ton·ha ⁻¹) | | Línea | (Ton·ha ⁻¹) | | Línea | (Ton·ha ⁻¹) | |
| 26 ¹ | 2.334 | a | 30 | 1.988 | abcde | 4 | 1.627 | abcdefgh | 32 | 1.278 | cdefgh |
| 38 | 2.321 | a | 27 | 1.960 | abcde | 10 | 1.547 | abcdefgh | 24 | 1.231 | cdefgh |
| 17 | 2.300 | ab | 6 | 1.946 | abcde | 16 | 1.529 | abcdefgh | 29 | 1.177 | defgh |
| 42 | 2.228 | ab | 40 | 1.939 | abcdef | 36 | 1.528 | abcdefgh | 15 | 1.171 | defgh |
| 39 | 2.203 | ab | 20 | 1.873 | abcdef | 19 | 1.524 | abcdefgh | 11 | 1.127 | efgh |
| 21 | 2.179 | ab | 8 | 1.836 | abcdefg | 5 | 1.509 | abcdefgh | 28 | 1.057 | fgh |
| 18 | 2.104 | abc | 7 | 1.829 | abcdefg | 13 | 1.500 | abcdefgh | 34 | 0.968 | gh |
| 31 | 2.052 | abcd | 35 | 1.748 | abcdefgh | 3 | 1.500 | abcdefgh | 33 | 0.961 | gh |
| 23 | 2.037 | abcd | 2 | 1.733 | abcdefgh | 1 | 1.492 | abcdefgh | 22 | 0.930 | h |
| 37 | 2.010 | abcde | 25 | 1.634 | abcdefgh | 12 | 1.449 | abcdefgh | Prom. | 1.735 | |
| 41 | 2.010 | abcde | 9 | 1.632 | abcdefgh | 14 | 1.413 | bcdefgh | | | |
| h ² = | 12 | | | | | | | | | | |

¹ La genealogía completa de la línea es PS/D-M-M-26-1-M y entre ellas difieren solo por el número de selección en la generación F₃, en la que se inició la selección con base en el oscurecimiento de la testa; **PS** = Pinto Saltillo, **D** = Dalia.

El análisis combinado para peso de cien semillas y rendimiento, mostró efectos significativos del ambiente y de la interacción, lo que indica que los ambientes fueron diferentes y una respuesta diferencial de los genotipos a los ambientes. Por lo anterior, se utilizó el modelo AMMI que se considera apropiado para análisis de la IGA, ya que muestra mayor precisión comparado con el modelo aditivo (Zobel *et al.*, 1988). Además, cuanto menor sea el valor de la media de los componentes, menor será la contribución a la interacción y en consecuencia, más estable es el genotipo; así, los genotipos estables y de alto rendimiento pueden ser identificados en el gráfico CP (Zobel *et al.*, 1988). Un enfoque común para la selección de genotipos de cualquier especie, es el alto rendimiento y que muestren estabilidad en los ambientes de evaluación (Gauch, 2013; Pereira *et al.*, 2009).

El análisis multivariado de la interacción genotipo por ambiente (AMMI) para peso de cien semillas indicó que 47.27 % de la variación la explicó el ambiente y el 38.66 % los genotipos, mientras que el efecto de la interacción sólo explicó el 14.07 % (Figura 2). Los genotipos que se encuentran alineados en proyección vertical tienen similar peso de cien semillas, en tanto que aquellos ubicados en el mismo nivel horizontal presentan una interacción genotipo

por ambiente similar. Aunque hubo diferencias entre genotipos para el peso de cien semillas, también hubo genotipos con el mismo nivel de interacción. De acuerdo con Camargo *et al.* (2010), los genotipos estables son los más cercanos a la línea de cero. Yan (2002), señaló que el genotipo ideal se identifica estadísticamente por contar con la mayor longitud del vector, y con el valor cercano a cero. Por lo que el genotipo ideal es el de mayor peso de cien semillas y estable en los ambientes. El genotipo PS/D-M-M- 41-1-M fue el de mejor respuesta debido a que muestra el vector más largo, seguida de los genotipos PS/D-M-M- 37-1-M y PS/D-M-M- 6-1-M, sin embargo, por la distancia de la línea de cero, no se consideran estables (Figura 2); los genotipos con mayor estabilidad y superiores en peso al promedio, fueron las líneas PS/D-M-M- 35-1-M, PS/D-M-M- 39-1-M, PS/D-M-M- 38-1-M y PS/D-M-M- 31-1-M. Así mismo, los tratamientos PS/D-M-M- 41-1-M, PS/D-M-M- 30-1-M, PS/D-M-M- 42-1-M y PS/D-M-M- 12-1-M, fueron los menos estables en los ambientes de evaluación.

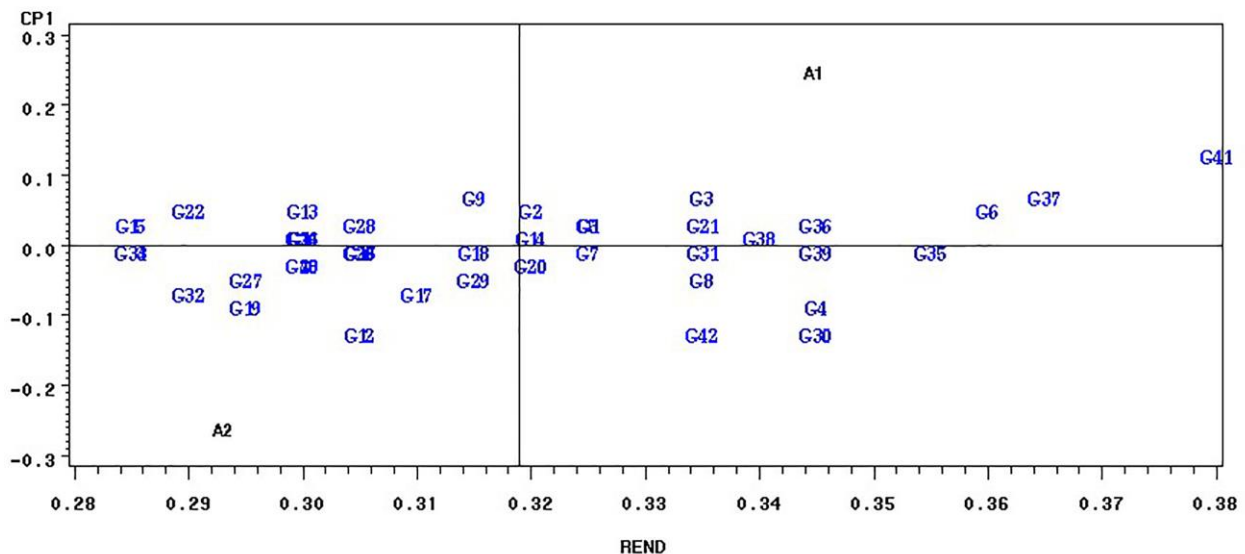


Figura 2. Componente principal y el peso de cien semillas por ambiente del modelo AMMI de cuarenta y dos líneas tipo flor de junio. **G** = línea, por ejemplo, **G41** = PS/D-M-M- 41-1-M; **PS** = Pinto Saltillo, **D** = Dalia.

El análisis multivariado de la interacción genotipo por ambiente (AMMI) para rendimiento indicó que 13.79 % de la variación la explicó el ambiente, 45.44 la interacción y el 40.77 % el genotipo. En la Figura 3, se observa que los tratamientos que se encuentran alineados en proyecciones

verticales tienen rendimiento similar, en tanto aquellos ubicados en el mismo nivel horizontal presentan una interacción similar. La línea PS/D-M-M- 38-1-M se identifica por la mayor longitud del vector para el rendimiento y con el valor cercano a cero, seguida de las líneas PS/D-M-M- 39-1-M y PS/D-M-M- 31-1-M. La línea con mayor estabilidad y rendimiento fue PS/D-M-M- 17-1-M. López-Salinas *et al*, (2015), mencionan que la evaluación de genotipos en diversos ambientes permite identificar genotipos estables de alto rendimiento y amplia adaptación. Las líneas PS/D-M-M- 18-1-M , PS/D-M-M- 20-1-M , PS/D-M-M- 6-1-M , PS/D-M-M- 37-1-M , PS/D-M-M- 21-1-M , PS/D-M-M- 35-1-M , y PS/D-M-M- 8-1-M, fueron de menor rendimiento, sin embargo, muestran nula interacción con el ambiente, por lo que puede decirse que resultaron estables a través de las localidades de prueba. El tratamiento que mostró el menor rendimiento fue el PS/D-M-M- 22-1-M, seguido del PS/D-M-M- 15-1-M y PS/D-M-M- 11-1-M.

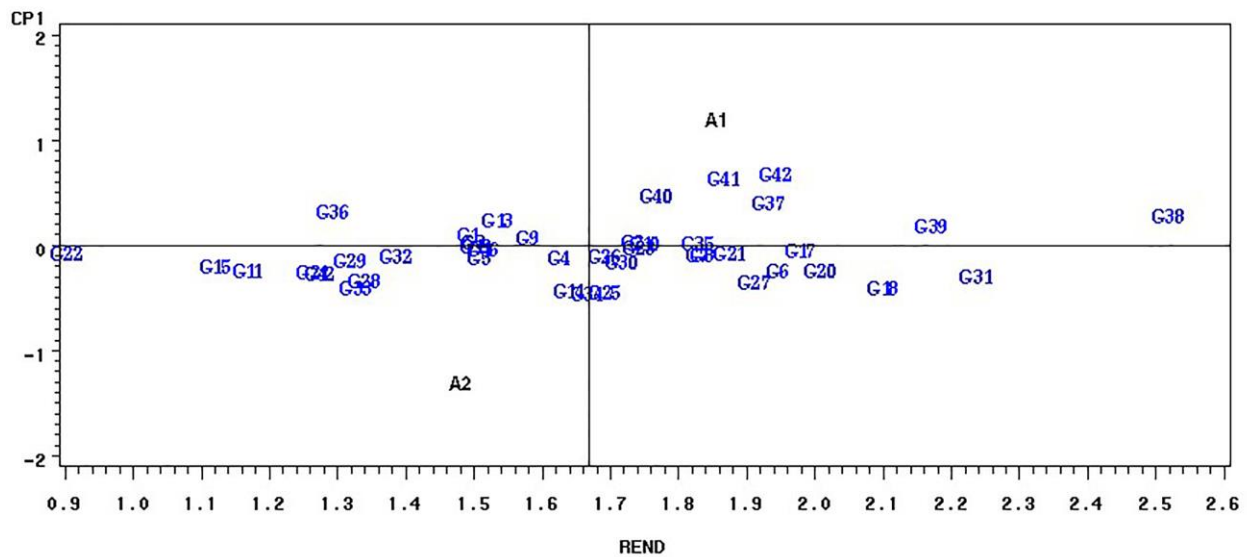


Figura 3. Componente principal y el rendimiento por hectárea por ambiente del modelo AMMI de cuarenta y dos genotipos tipo flor de junio. **G** = línea, por ejemplo, **G41** = PS/D-M-M- 41-1-M; **PS** = Pinto Saltillo, **D** = Dalia.

Oscurecimiento de la testa

Se evaluaron bajo luz UV las líneas superiores en rendimiento, las cuales fueron: PS/D-M-M-26-1-M, PS/D-M-M-38-1-M, PS/D-M-M-17-1-M, PS/D-M-M-42-1-M y PS/D-M-M-39-1-M, más el testigo Pinto Saltillo. Con la información obtenida después de 72 horas de exposición, se realizó el análisis de varianza y se compararon los promedios mediante la prueba de DMS 0.05 (Cuadro 3). El análisis de la información obtenida usando la luz UV mostró diferencias significativas ($P \leq 0.000$) entre líneas, lo cual se debe a que las líneas poseen en la testa el patrón de la variedad Dalia, cuyo color de grano es de fondo crema con franjas rosas (Acosta-Gallegos *et al.*, 2014b), mientras que el progenitor Pinto Saltillo es de color crema muy claro con pintas de color café (Sánchez *et al.*, 2004), las diferencias probablemente estuvieron relacionadas con la cantidad de color rosa de las franjas, color que es más oscurecido por la luz que las manchas café claro del pinto. Se observó que el grano de la variedad Pinto Saltillo utilizado como testigo, fue la que mayor claridad mostró al inicio del muestreo. No hubo diferencias estadísticas entre las líneas, sin embargo, en la comparación de medias se puede observar el comportamiento de cada línea, donde la línea PS/D-M-M- 38-1-M se mantuvo en la misma posición, no obstante, la graduación del color fue disminuyendo conforme fue avanzando el tiempo de exposición a la luz. Así mismo, presentó respuesta intermedia para el incremento del color amarillo y rojizo comparado con el resto de las líneas. Además, presentó una menor velocidad de oscurecimiento de testa comparado con el testigo. Al realizar el diferencial del grado de oscurecimiento de testa de las líneas y el testigo, se pudo observar que las líneas evaluadas presentan oscurecimiento más lento que Pinto Saltillo a excepción de la PS/D-M-M- 41-1-M, por lo que se pudiera inferir que estas líneas poseen el gen “sd sd” de oscurecimiento lento de testa (Junk-Nievel *et al.*, 2012), derivado de Pinto Saltillo.

Cuadro 3. Comparación de medias de parámetros de luminosidad y color para el oscurecimiento de testa en líneas flor de junio en diferentes tiempos de exposición a luz UV.

| Parámetro | Línea | Tiempo de exposición a luz UV | | | | | | | Cambio |
|-----------|-----------------|-------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-----------------------|
| | | 0 h | 12 h | 24 h | 36 h | 48 h | 60 h | 72 h | |
| | | | | | | | | | < ³ de ‘L’ |
| ‘L’ | PS ¹ | 64.7 a ² | 61.9 a | 61.6 a | 59.5 a | 59.2 a | 56.7 a | 55.9 a | 8.80 |

| | | | | | | | | | |
|---------|----|---------|--------|--------|---------|--------|--------|---------|----------|
| | 39 | 51.4 b | 51.1 b | 45.4 b | 46.8 b | 45.3 b | 45.2 b | 42.9 b | 8.50 |
| | 38 | 53.5 b | 51.2 b | 49.4 b | 49.0 b | 46.9 b | 46.0 b | 45.2 b | 8.30 |
| | 42 | 51.8 b | 48.7 b | 49.3 b | 45.1 b | 46.3 b | 44.9 b | 44.2 b | 7.60 |
| | 17 | 50.3 b | 49.3 b | 46.7 b | 45.7 b | 45.1 b | 41.9 b | 42.8 b | 7.50 |
| | 26 | 52.5 b | 49.0 b | 47.8 b | 44.5 b | 45.0 b | 39.8 b | 43.4 b | 9.10 |
| CV % | | 2.27 | 3.83 | 4.87 | 3.59 | 3.21 | 5.05 | 3.82 | |
| DMS .05 | | 3.161 | 5.120 | 6.271 | 7.501 | 4.429 | 5.948 | 4.502 | |
| | | | | | | | | | > de 'a' |
| | 42 | 11.2 ab | 13.0 a | 12.6 a | 13.3 a | 12.8 a | 14.4a | 14.8 a | 3.60 |
| | 26 | 10.1 b | 11.8 a | 13.2 a | 14.4 a | 13.1 a | 13.7 a | 13.2 a | 3.10 |
| 'a' | 38 | 11.2 ab | 11.9 a | 12.6 a | 13.3 a | 14.3 a | 13.5 a | 14.2 a | 3.00 |
| | 17 | 11.8 a | 13.4 a | 13.6 a | 13.0 a | 13.6 a | 14.8 a | 14.1 a | 2.30 |
| | 39 | 12.2 a | 12.1 a | 12.7 a | 14.0 a | 13.7 a | 13.7 a | 13.0 a | 0.80 |
| | PS | 2.7 c | 4.7 b | 6 b | 6.9 b | 7.7 b | 7.7 b | 8.32 b | 5.61 |
| CV % | | 4.78 | 6.07 | 6.75 | 6.76 | 8.88 | 6.58 | 5.47 | |
| DMS .05 | | 1.211 | 1.740 | 2.043 | 2.173 | 2.870 | 3.522 | 4.864 | |
| | | | | | | | | | > de 'b' |
| | PS | 12.4 a | 18.1 a | 20.1 a | 20.4 a | 21.7 a | 19.2 a | 20.4 a | 8.00 |
| | 38 | 9.8 b | 18.1 a | 18.9 a | 18.9 ab | 18.7 a | 19.2 a | 18.1 ab | 8.30 |
| 'b' | 42 | 10.0 b | 16.2 a | 17.9 a | 16.8 ab | 17.5 b | 19.7 a | 18.2 ab | 8.20 |
| | 17 | 9.0 b | 16.5 a | 17.4 a | 15.4 b | 17.0 b | 16.9 a | 17.2 ab | 8.20 |
| | 39 | 8.6 b | 16.4 a | 17.0 a | 18.2 ab | 17.9 b | 16.8 a | 16.5 b | 7.90 |
| | 26 | 8.4 b | 14.9 a | 16.5 a | 17.4 ab | 16.3 b | 16.7 a | 15.8 b | 7.40 |
| CV % | | 13.09 | 10.96 | 10.15 | 7.77 | 7.13 | 7.18 | 8.00 | |
| DMS .05 | | 2.040 | 4.710 | 4.691 | 3.569 | 3.336 | 3.341 | 3.642 | |

¹ PS = Pinto Saltillo y número de línea. ² Prueba de Duncan, valores con diferentes letras son significativamente diferentes ($p < 0.05$). ³ < = decremento, > = incremento

Conclusiones

Las líneas estudiadas presentaron variación en el peso de la semilla y rendimiento por hectárea entre y dentro de localidades, y en consecuencia diferente nivel de IGA para esas características.

El modelo AMMI permitió identificar las líneas superiores en peso de cien semillas y rendimiento con base a su nivel de interacción con el ambiente.

Con base en todas las características determinadas, la línea PS/D-M-M- 38-1-M resultó sobresaliente y pudiera ser utilizada como progenitor o en el futuro convertirse en una nueva variedad mejorada del tipo Flor de Junio con grano de oscurecimiento lento.

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
- Acosta-Gallegos J. A., Jiménez-Hernández Y., Montero-Tavera V., Sánchez García B. M. y Guzmán-Maldonado S. H. 2014a. Junio León, nueva variedad de frijol para riego y temporal el altiplano y la mesa central de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 7:1369-1374
- Acosta-Gallegos J. A., Montero-Tavera V., Jiménez-Hernández Y., Anaya-López J. L. y González-Chavira M. M. 2014b. Dalia', nueva variedad de frijol de grano tipo Flor de Junio para la región centro de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 5 (2): 331-336
- Acosta-Gallegos J. A., E. Espinoza-Trujillo B., Sánchez-García M., Jiménez-Hernández Y., Salinas-Pérez R. A., Rosales-Serna R., Zandate-Hernández R. y González-Rivas C. 2012. Adaptación del frijol tipo flor de junio a diferentes ambientes de México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 427 – 438
- Basset, M.J. 1996. The margo (*mar*) seedcoat color gene is a synonym for the joker locus (*j*) in common bean. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 121:1028-1031
- Beninger C.W., L. Gu, R.L. Prior, D.C. Junk, A. Vanderberg and Bett K.E. 2005. Changes in polyphenols of the seed coat during the after-darkening process in pinto beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *J. Agric. Food Chem.* 57:7777-7782.
- Beyene A. T., Derera J., Sibiya J. and Fikre A. 2016. Gene action determining grain yield and chocolate spot (*Botrytis fabae*) resistance in faba bean. *Euphytica*. 207: 293–304

- Camargo R. V. P., Moda-Cirino V., Destro D., Fonseca J., N. da S. and Cavenaghi P. C. E. 2010. Adaptability and stability for the trait grain yield for the color and black commercial groups in common bean. *Ciencias Agrarias, Londrina*. 31:39-54.
- Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). 1987. Sistema estándar para la evaluación de germoplasma de frijol. Aart van Schoonhoven y Marcial A. Pastor-Corrales (comps). Cali, Colombia. 56 p.
- http://www.mcolorcontrol.com/archivos/L10-01_Understand_Color_es.pdf. Consultado Abril, 2018.
- Corte. A. D.; Moda-Cirino V.; Arrabal A. C. A. Ferraz de T. J. F. and Destro D. 2010. Genetic Analysis of Seed Morphological Traits and its Correlations with Grain Yield in common Bean. *Brazilian Archives of Biology and Technology*. 53(1): 27-34
- Elsadr, H.T., L.C. Wright, K.P. Pauls and Bett K.E.. 2011. Characterization of seed coat postharvest darkening in common bean (*Phaseolus vulgaris*). *Theor. Appl. Genet.* 123:1467-1472.
- Freixas C. J. A., Munholland S., Silva A., Subedi S., Lukens L., Crosby W. L., Pauls K. P. and Bozzo G. G. 2017. Proanthocyanidin accumulation and transcriptional responses in the seed coat of cranberry beans (*Phaseolus vulgaris* L.) with different susceptibility to postharvest darkening. *BMC Plant Biology*. 1 – 23
- Gauch J. H. G. 2013. A simple protocol for AMMI analysis of yield trials. *Crop Science*. 53: 1860-1869
- Jiménez-Hernández Y., Anaya-López J.L., Montero-Tavera V., Jiménez-Galindo J.C., Guerrero-Aguilar, B.Z., Herrera-Hernández G. y Acosta-Gallegos J.A. 2018. Salinas, nueva variedad de frijol pinto para áreas de temporal en Querétaro y Guanajuato. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* (En prensa).
- Junk-Knievel D. C., Vandenberg A., and Bett K. E. 2007. An accelerated post-harvest seed-coat darkening protocol for pinto beans grown across different environments. *Crop science*. 47:694-702.
- Junk-Knievel D. C., Vandenberg A., and Bett K. E. 2007. Slow darkening in Pinto bean (*Phaseolus vulgaris* L.) seed coats is controlled by a single major gene. *Crop Science* 48:189-193

- Lee C. M.; Park J., Kim B.; Seo J., Lee G., Jang S. and Koh H. J. 2015. Influence of multi-gene allele combinations on grain size of rice and development of a regression equation model to predict grain parameters. *Crop Science* 8(1): 1-20
- López-Salinas E., Tosquy-Valle O. H. Villar-Sánchez B., Acosta-Gallegos J. A. Rodríguez-Rodríguez J. R. y Andrés-Meza P. 2015. Rendimiento y estabilidad de líneas mejoradas de frijol negro en Veracruz y Chiapas, en México. *Rev. Fitotec. Mex.* 38 (2): 173 – 181
- Osuna-Ceja E. S., Reyes-Muro L., Padilla-Ramírez J. S. y Martínez -Gamiño M. A. 2012. Rendimiento de frijol Pinto Saltillo en altas densidades de población bajo temporal. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas.* 3 (7): 1389-1400
- Pereira H. S.; Melo L. C.; de Faria L. C.; Cabrera D. J. L.; del Peloso M. J.; Cáprio da C. J. G. and Wendlan A. 2009. Stability and adaptability of carioca common bean genotypes in states of the central South Region of Brazil. *Crop Breeding and Applied Biotechnology.* 9:181-188.
- Rosales-Serna R.; Nava-Berumen C. A.; González-Ramírez H.; Herrera M. D.; Jiménez-Galindo J. C. Ramírez-Cabral N. Y. Z. y Osuna-Ceja 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
- Rodríguez, O.; Chaveco, O.; Ortiz, R.; Ponce, M.; Ríos, H.; Miranda, S.; Díaz, O.; Portelles, Y.; Torres, R. y Ceduno L. 2009. Líneas de frijol común (*Phaseolus vulgaris L.*) resistencia a la sequía. Evaluación de comportamiento frente a condiciones de riego, sin riego y enfermedades. *Ciencia y Tecnología* 13: 38 pp. 17-26
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2016. Anuario estadístico de la producción agrícola. <http://siap.gob.mx>
- Silva, F.C., P.G.S. Melo, H.S. Pereira and L.C. Melo. 2014. Genetic control and estimation of genetic parameters for seed-coat darkening of carioca beans. *Genetics and Molecular Research.* 13 (3): 6486-6496
- Sánchez V., I.; Acosta G., J. A.; Ibarra P., F. J.; Rosales S., R y Singh S. P. 2004. Registration of Pinto Saltillo common Bean. *Crop Science.* 44 (5): 1865- 1866
- Sánchez V., I.; Acosta G., J. A.; Ibarra P., F. J.; Rosales S., R. y Cuellar R., E. I. 2009. Pinto Saltillo: variedad mejorada de frijol para el estado de Durango. Folleto técnico Núm. 36. Campo Experimental Valle del Guadiana. CIRNOC-INIFAP. 23 p.

- Tarlak F., Ozdemir M. and Melikdglu M. 2016. Computer vision system approach in colour measurements of foods: Part II. Validation of methodology with real foods. Food Science and Technology. 6 p.
- Yan, W. 2002. Singular-value partitioning in biplot analysis of multienvironment trial data. Agronomy Journal. 94:990-996.
- Zobel R. W., Wright M. J., and Gauch J., H. G. 1988. Statistical Analysis of a Yield Trial. Crop Science. 387- 393