

Resistencia de genotipos de frijol común a los daños causados por el gorgojo mexicano *Zabrotes subfasciatus* (Boheman) en el almacenamiento¹

Jose Raul Espinal²

respinal@zamorano.edu

Departamento de Agroindustria Alimentaria
Universidad Zamorano, Honduras

Ovidio José Soto

ovidio.soto.2014@alumni.zamorano.edu

Andrea Nicole Abrego

andrea.abrego.2015@alumni.zamorano.edu

Ian Pablo Pizarro

ian.pizarro.2015@alumni.zamorano.edu

Iveth Yassmin Rodriguez

irodriguez@zamorano.edu

Departamento de Ciencia y Producción Agropecuaria
Universidad Zamorano, Honduras

Juan Carlos Rosas Sotomayor

jcrosas@zamorano.edu

Profesor Emérito

Departamento de Ciencia y Producción Agropecuaria
Universidad Zamorano, Honduras

Resumen. Se evaluó la resistencia de genotipos de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) al ataque del Gorgojo Mexicano, *Zabrotes subfasciatus* (Boheman) durante el almacenamiento. El estudio se realizó en la Universidad Zamorano, Honduras. Se usó un diseño completamente al azar con cinco repeticiones. En el 2014 un grupo de ocho variedades mejoradas y criollas (Amadeus 77, DEOHRO, Cardenal, PM2-Don Rey, Cincuentaño y Paraisito) fueron evaluadas para conocer el nivel de daños del frijol almacenado causado por el gorgojo mexicano. En el 2015, 12 variedades ICTA Ligerero, Surú, Tío Canela-75, PM2-Don Rey, Verano, Amadeus-77, PR 1429-3 y PR 1429-4. Se determinó el total de huevos y promedio por hembra, número y peso de adultos emergidos, pérdida de peso de la semilla, número de perforaciones por semilla y porcentaje de germinación, el ciclo de vida del insecto, índice de susceptibilidad, proporción de hembras y período de desarrollo. En el 2014, aunque se presentaron diferencias entre las variedades, sin embargo, los altos valores registrados en la mayoría de variables indicaron susceptibilidad de todas. En el 2015, el genotipo más susceptible fue Azabache 40, con 100% de daño en las semillas y el más resistente PR 1429-4 con 15% de daño. La primera emergencia ocurrió 26 DDI en PM2-Don Rey, y la última a 57 DDI en Surú. PR 1429-3, PR 1429-4 y Surú fueron los genotipos más resistentes. Se recomienda validar los genotipos a nivel de finca para confirmar su potencial de resistencia.

Palabras clave: antibiosis, emergencia, índice de susceptibilidad, daños y pérdida de peso en almacén.

Resistance of common bean genotypes to the damages caused by the Mexican bean weevil *Zabrotes subfasciatus* (Boheman) in storage

Abstract. The resistance of dry bean genotypes (*Phaseolus vulgaris* L.) to the attack of the Mexican Bean weevil *Zabrotes subfasciatus* (Boheman) during storage was evaluated. The study was carried out in Zamorano University, Honduras. A completely randomized design with five replicates was used. In 2014, a group of 10 bean improved and landrace cultivars were evaluated to understand the level of damage of stored beans by the Mexican weevil. In

¹ Trabajo parcial de V.M Tax-Sapón para optar el título de Maestría en Ciencias en Agricultura Tropical Sostenible, Universidad Zamorano, Honduras.

² Autor para correspondencia.

2015 genotypes evaluated included, Azabache 40, Aifi Wuriti, ICTA Ligerero, Surú, Tío Canela-75, PM2-Don Rey, Verano, Amadeus-77, PR 1429-3, and PR 1429-4. The total number of eggs, average female number, weight and number of adults, seed weight loss, number of perforations per seed, and germination percentage were determined. In addition, the insect life cycle, susceptibility index, female proportion and development period were observed. After 17 days, oviposited eggs in the seed coat were counted. In 2014, The percentage of emergence of *Z. subfasciatus* in Amadeus-77, Tío Canela-75, Cardenal and Carrizalito, suggested an antibiosis effect in the insect. In 2015, the most susceptible genotype was Azabache 40, which showed 100% damage to the seed, and the most resistant PR 1429-4 which exhibited only 15% damage. The first emergence occurred after 26 days in PM2-Don Rey, and the last after 57 days in Surú. PR 1429-3, PR 1429-4 and Surú showed to be the most resistant genotypes. It is recommended to validate these genotypes at farm level to confirm their resistance potential.

Keywords: antibiosis, emergence, susceptibility index, seed damage and weight loss in storage.

Introducción

El frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) es la leguminosa de grano más importante para consumo humano a nivel mundial, es componente básico de la dieta diaria y una fuente importante de proteína, calorías, vitaminas del complejo B y minerales (Voyses, 2000; Fernández y Sanchez, 2017). América Latina es la región de mayor producción y consumo de frijol, y representa el 45% de la producción mundial, siendo considerado como uno de los productos básicos de la economía campesina (IICA/Proyecto Red SICTA, 2013).

La conservación y protección de este grano durante el almacenamiento constituye una necesidad alimenticia, social y económica. Hace más de dos décadas se estimaba que el 5-10% de la producción mundial de granos alimenticios se perdía a causa de insectos de almacén, lo que en ese entonces podría ayudar a alimentar a 130 millones de personas anualmente (FAO, 1999). Para América Central y México se han estimado pérdidas post cosecha que alcanzan hasta 35% de frijol almacenado (Permy et al., 2008; Nava-Perez et al., 2010). Los daños y pérdidas provocados por los insectos de granos almacenados pueden ser similares a los causados a los cultivos, pero cuando los insectos atacan el grano de frijol almacenado, no hay recuperación posible y el daño es irreversible (CIAT, 1988). Por consiguiente, su cotización en el mercado disminuye causando pérdidas económicas importantes para los productores y consumidores (Permy et al., 2008).

La especie que causa mayor daño al frijol almacenado es el gorgojo mexicano [*Zabrotes subfasciatus* (Boheman)], orden Coleóptera, familia Chrysomelidae, sub-familia Bruchinae (De Franca, 2012). El deterioro del grano de frijol como consecuencia del ataque de estos insectos sucede cuando las larvas se alimentan de las semillas, causando daños a los cotiledones. Los granos son cubiertos de huevos y presentan perforaciones que corresponden a las cámaras de alimentación de los insectos, lo que causa una significativa pérdida de peso (CIAT, 1988). Existen varias alternativas técnicas y de manejo que se han implementado para reducir las pérdidas post cosecha, principalmente durante el almacenamiento del grano de frijol (López-Monzón et al., 2016). Estas opciones incluyen desde establecer ciclos de producción que permitan cosechar en la época seca para reducir la humedad en el grano, hasta la utilización de sistemas de ventilación asistida que permitan secar el grano para almacenarlo en estructuras herméticas. Una de las alternativas más efectivas es el uso de variedades resistentes, la cual, podría no solo reducir las pérdidas sino disminuir el uso de pesticidas químicos usados en el control de esta plaga. Se considera a una variedad resistente cuando presenta menor daño con relación a una susceptible, debido a la presencia de genes que le confieren esa resistencia, la cual se expresa por mecanismos de no-preferencia, antibiosis y tolerancia (Paliwal et al., 2001; Valencia, 2006).

Las proteínas conocidas como arcelinas presentes en las semillas de frijol se consideran como uno de los mecanismos de antibiosis a los brúquidos que atacan al frijol almacenado (Miranda et al., 2002). La resistencia varietal es considerada un método eficaz y seguro de control, siempre y cuando no esté basado en factores que influyan negativamente en la nutrición humana (Schoonhoven, 1981). Las primeras líneas resistentes se desarrollaron usando germoplasma con presencia de una familia de lectinas en el grano conocidas como arcelinas asociadas con la resistencia a insectos de la familia Bruchidae, y de mayor efectividad contra *Z. subfasciatus* (Morais y Pinheiro, 2012).

En estudios más recientes se ha identificado que las arcelinas y dos proteínas de almacenamiento son codificadas por el locus APA (arcelina-fitohemaglutinina-inhibidor de alfa amilasa) en la accesión

silvestre G40199 de frijol tépari (*Phaseolus acutifolius* L.), resistente al gorgojo común (*Acanthoscelides obtectus* Say) (Kusolwa and Myers, 2011; Kanifwa et al., 2018). La base de esta resistencia se ha atribuido a la efectividad de las arcelinas codificadas por el locus APA, de las cuales se han identificado hasta la fecha ocho variantes en accesiones de frijol silvestre. La resistencia debido a la presencia del locus APA de la accesión G40199 de frijol tépari fue transferida a frijol común por Mbogo et al. (2009). La fuente de resistencia para el desarrollo de las líneas PR resistentes a gorgojos que atacan al frijol almacenado, incluidas en este estudio, proviene de la línea AO-1012-29-3A seleccionada en Puerto Rico de una población desarrollada en Tanzania mediante la cruce Rojo*3/SMARC2-PN-1//ICA Pijao*2/G40199 (Kusolwa y Myers 2011). SMARC 2-PN-1 es una línea de frijol blanco seleccionada por la ausencia de faseolina y presencia de fitohemaglutinina y Arc 2 en la semilla.

Las variedades resistentes para control del gorgojo son una estrategia muy apropiada para agricultores de pequeña escala quienes no disponen de los recursos económicos y conocimientos técnicos de tecnologías modernas para el almacenamiento de granos (Espinal, 1993). Como resultado del efecto antibiótico presente en las variedades resistentes, la emergencia de adultos se reduce significativamente, el ciclo de vida de los individuos que logran sobrevivir se prolonga sustancialmente y la progenie resultante se caracteriza por su tamaño y peso reducido (Cardona y Kornegay, 1989).

El objetivo de este estudio fue evaluar el nivel de riesgo de las variedades comerciales de frijol representadas por variedades mejoradas y criollas utilizadas por agricultores de Honduras, y la importancia de la resistencia genética en el manejo de los daños en almacenamiento, mediante la caracterización de los daños físicos, y el crecimiento y reproducción del insecto con el fin de validar la efectividad de la resistencia conferida por el locus APA en el gorgojo mexicano *Z. subfasciatus* más comúnmente presente en zonas productoras de frijol por debajo de los 1,000 msnm en Honduras.

Materiales y métodos

La presente investigación se llevó a cabo mediante la conducción de dos experimentos durante el 2014-15 en las instalaciones del Programa de Investigaciones del Frijol (PIF), Universidad Zamorano. La Universidad Zamorano está ubicada en el Valle de Yegüare, departamento de Francisco Morazán, a 30 Km de Tegucigalpa, Honduras, 14° latitud norte y 87° longitud oeste, 800 msnm, con una temperatura promedio anual de 24 °C y precipitación de 1100 mm. En el año 2014 (Experimento 1) se evaluaron seis variedades mejoradas (Amadeus 77, Cardenal, Carrizalito, DEORHO, PM2-Don Rey, Tío Canela-75) y dos criollas de Honduras (Cincuentaño y Paraisito). Estas variedades representaron a las de mayor uso por los productores de frijol en Honduras y algunos países de Centro América. El experimento se condujo con el propósito de conocer el estado de riesgo al que se encontraban expuestos los productores de frijol debido a los daños causados por el gorgojo mexicano durante el almacenamiento del grano.

Una vez conocido que las variedades mejoradas y criollas representativas de la producción en Honduras estaban sujetas a un alto riesgo de pérdidas durante el almacén causadas por daños del gorgojo mexicano, en el 2015 se decidió conducir el Experimento 2 utilizando un grupo de 10 variedades de frijol incluyendo a Aifi Würiti 55, Amadeus 77, Azabache 40, ICTA Ligero, PM2-Don Rey, Surú, Tío Canela 75, Verano, y las líneas PR1429-3 y PR1429-4 de la Universidad de Puerto Rico (UPR) resistentes al gorgojo del frijol común. Las líneas PR fueron generadas a través de la cruce de AO1012-29-3/XRAV-40-4. AO1012-29-3 es una línea derivada de la cruce Rojo*3// SMARC 2-PN-1// ICA Pijao* 2 /G40199 (Kusolwa y Myers, 2011; Beaver et al., 2016).

Para la cría de *Z. subfasciatus* se colocaron 500 g de semilla de frijol de las variedades criollas susceptibles Danli-46 en el 2014 y Seda en el 2015, en frascos de vidrio Mason de 16 oz con tapa de rosca y malla metálica. Los gorgojos fueron colocados a razón de 100 hembras y 100 machos en cada frasco de crianza. A los 13 días después de la infestación (DDI) de las semillas, se retiraron los adultos usando un tamiz Tyler Equivalent® No. 12 con malla metálica de 9-10 mesh. Este proceso se repitió dos días después hasta remover todos los insectos contenidos en los frascos. Para continuar con el proceso de crianza se dejaron 200 individuos de *Z. subfasciatus* en un nuevo frasco con granos de frijol, repitiendo el procedimiento antes descrito (Schoonhoven et al., 1988).

Ambos experimentos fueron conducidos utilizando un diseño completamente randomizado con cinco repeticiones. Las unidades experimentales fueron frascos de vidrio cilíndricos de 14 cm de altura y 5 cm de diámetro con una perforación circular de 3 cm de diámetro en la tapa metálica cubierta con malla de

40 mesh para permitir la aireación y evitar el escape de los gorgojos. En cada frasco, se colocaron 20 semillas infestadas con 10 parejas sexadas de *Z. subfasciatus*, que se retiraron después de 17 días. Los frascos infestados se colocaron a una temperatura de $27 \pm 3^\circ\text{C}$ y humedad relativa de $72 \pm 7.5\%$.

Para determinar la ovoposición por hembra de *Z. subfasciatus* se dividió el número total de huevos ovopositados (THO) en la testa del frijol entre el total de las 10 hembras usadas en la infestación. El total de adultos emergidos (TAE) fueron los gorgojos adultos emergidos en el primer ciclo, mediante conteos cada tres días desde los 23 DDI. El porcentaje de emergencia de adultos (PEA) se estimó mediante el TAE con relación al THO, mediante la ecuación 1 (Moreira, 1994):

$$\text{PEA} = \text{TAE} / \text{THO} \times 100 \quad [1]$$

Al finalizar la emergencia de los adultos, estos fueron sexados y se calculó la proporción de hembras emergidas (PHE) de la relación del total de hembras emergidas (THE) entre el TAE ($\text{PHE} = \text{THE} / \text{TAE}$). El tiempo promedio de desarrollo (TPD) de huevo a adulto, se calculó mediante el número de adultos emergidos por día (AED) y los días de emergencia de adultos (DEA) entre el TAE, según la ecuación 2 (Ribero et al., 2007):

$$\text{TPD} = \sum (\text{AED} \times \text{DEA}) / \text{TAE} \quad [2]$$

El peso vivo promedio de hembras y machos se calculó cuantificando y pesando los gorgojos vivos en una balanza de precisión. Los insectos muertos se pesaron por separado. Para evitar el escape de los insectos vivos al momento del sexado, se colocaron en una bandeja de aluminio en contacto con hielo, para disminuir la actividad metabólica del insecto y facilitar su manejo (CIAT, 1988). Para el cálculo del índice de susceptibilidad del genotipo de frijol (ISG) a *Z. subfasciatus* se utilizó el logaritmo del TAE entre el TPD de los gorgojos, multiplicándolos por 100, según la ecuación 3 (Dobie, 1974).

$$\text{ISG} = \text{Log} (\text{TAE}) / \text{TPD} \times 100 \quad [3]$$

El porcentaje de semilla dañada (PSD) se midió hasta el día 57, cuando finalizó la emergencia del último gorgojo, dividiendo el número total de semillas dañadas (TSD) con presencia de perforaciones, entre el número total de semillas utilizadas (TSU) y multiplicado por 100 ($\text{PSD} = \text{TSD} / \text{TSU} \times 100$).

Los datos obtenidos durante las etapas de desarrollo del insecto fueron analizados utilizando el programa estadístico “Statistical Analysis Software” (SAS versión 9.3) a través de análisis de varianza y separación de medias Duncan al 95% de significancia. Con los datos del Experimento 2 conducido en el 2015, se realizó un análisis de regresión lineal para determinar los efectos de las variables evaluadas en el ISG de las variedades evaluadas.

Resultados

En el Experimento 1 conducido en el 2014 para conocer la susceptibilidad al gorgojo mexicano de variedades mejoradas y criollas de frijol representativas de las utilizadas por agricultores de Honduras, se encontraron diferencias significativas ($P < 0.05$) para el total de hembras (THE), machos (TME) y adultos emergidos (TAE) de *Z. subfasciatus*, siendo la mayor cantidad en PM2-Don Rey (93, 92 y 185 adultos), y la menor en Carrizalito (50, 43 y 93 adultos), respectivamente (Cuadro 1). Las variedades Amadeus 77, Paraisito, Tío Canela-75, Cincuentaño y Carrizalito no presentaron diferencias entre sí. La emergencia de adultos expresado en porcentaje (PEA) fue en general alta, y con diferencias entre PM2-Don Rey (80.2%) y Amadeus 77 (68.8%), Cardenal (69.6%), Tío Canela 75 (69.2%) y Carrizalito (64.3%), pero no entre estas cuatro variedades. En el tiempo de duración del periodo de desarrollo de huevo-adulto (TPD) de *Z. subfasciatus* se encontraron diferencias significativas ($P < 0.05$) entre las variedades evaluadas. Aunque los valores absolutos son muy similares, las variedades Tío Canela-75 (29.2) y Paraisito (29.2) presentaron diferencias significativas en el TPD en relación con PM2-Don Rey (30.5) y Cardenal (30.2).

En cuanto al índice de susceptibilidad de los genotipos (ISG) se observaron diferencias significativas entre las variedades, siendo Carrizalito la que presentó el índice más bajo (6.5) con relación al resto, exceptuando a Amadeus 77 (6.6), Cardenal (6.9) y PM2-Don Rey (7.0). Asimismo, las variedades menos afectadas en el porcentaje de semilla dañada (PSD) fueron Paraisito (47.0%) y Carrizalito (50.4%) en

relación con el resto (76.0 a 83.8%) que presentaron diferencias con Cincuentaño (65.8%) pero no entre ellas. Aunque hubo diferencias significativas en cuanto a PSD, los valores obtenidos en todas las variedades fueron muy altos.

Cuadro 1. Total de hembras (THE), machos (TME) y adultos emergidos (TAE), porcentaje de emergencia de adultos (PEA), período de desarrollo del insecto (huevo-adulto) (TPD), índice de susceptibilidad de genotipos (ISG), y porcentaje de semilla dañada (PSD) de ocho variedades de frijol común infestados con el gorgojo mexicano del frijol *Zabrotes subfasciatus*. Zamorano, Honduras.

Variedades	THE	TME	TAE	PEA (%)	TPD (días)	ISG	PSD (%)
PM2-Don Rey	93.0 a	92.3 a	185.3 a	80.2 a	30.5 a	7.0 abc	81.6 a
Amadeus-77	61.0 b	77.7 ab	161.0 a	68.8 bc	29.7 abc	6.6 bc	79.4 a
DEORHO	74.4 ab	73.4 b	147.8 ab	73.4 abc	29.9 abc	7.1 ab	76.0 a
Cardenal	73.7 ab	75.7 ab	149.3 ab	69.6 bc	30.2 ab	6.9 abc	83.8 a
Paraisito	58.8 b	55.5 bc	114.3 bc	77.4 ab	29.2 c	7.2 a	47.0 c
Tío Canela-75	59.0 b	56.5 bc	111.7 bc	69.2 bc	29.2 c	7.2 a	83.2 a
Cincuentaño	60.0 b	56.8 bc	116.8 bc	74.8 ab	29.6 bc	7.1 ab	65.8 b
Carrizalito	49.8 b	43.0 c	92.8 c	64.3 c	29.8 bc	6.5 c	50.4 c
CV (%)	20.8	22.0	17.1	8.2	1.8	5.0	10.6

En cuanto al índice de susceptibilidad de los genotipos (ISG) se observaron diferencias significativas entre las variedades, siendo Carrizalito la que presentó el índice más bajo (6.5) con relación al resto, exceptuando a Amadeus 77 (6.6), Cardenal (6.9) y PM2-Don Rey (7.0). Asimismo, las variedades menos afectadas en el porcentaje de semilla dañada (PSD) fueron Paraisito (47.0%) y Carrizalito (50.4%) en relación con el resto (76.0 a 83.8%) que presentaron diferencias con Cincuentaño (65.8%) pero no entre ellas. Aunque hubo diferencias significativas en cuanto a PSD, los valores obtenidos en todas las variedades fueron muy altos.

En el Experimento 2 conducido en el 2015, se presentaron diferencias entre las variedades para la mayoría de las variables evaluadas en el experimento conducido en el 2015, resaltando los valores bajos de las líneas PR1429-4, PR1429-3 y Surú con relación al resto de las variedades (Cuadro 2). Los datos de adultos emergidos hembras (THE), machos (TME), total (TAE) y en porcentaje (PEA), fueron significativamente mayores en las variedades PM2-Don Rey, XRAV 40-4, Amadeus77, ICTA Ligero, Verano, Aifi Wuriti y Tío Canela 75, en relación con los valores más bajos observados en Surú, PR 1429-3 y PR 1429-4. Por otro lado, la variedad Surú fue la que presentó el TPD más prolongado (46 días), seguida de Tío Canela 75 (39 días) y Aifi Wuriti (40 días). Los ISG fueron significativamente más bajos en Surú (2.2) y PR1429-4 (2.5) y los más altos en PM2-Don Rey y XRAV40-4 (6.0), y estos solo superiores a Tío Canela 75 (4.3) y PR1429-3 (4.2). Los PSD calculados después de la emergencia del último adulto (56 DDI), en semillas con por lo menos una perforación, fueron menores en PR1429-4 (20%), Surú (31%) y PR1429-3 (34%), y los más altos en XRAV40-4 (100%), Amadeus 77 (97%) y PM2-Don Rey (93%).

En el análisis de regresión lineal se pudo identificar los efectos de las diferentes variables que influyen en el ISG (Cuadro 3). Las variables TME, porcentaje de huevos por hembra (PHH), PEA, PHE, y días al último adulto emergido (DUE) afectaron el ISG positivamente, y el TAE y TPD negativamente. Así mismo, las variables con mayor efecto sobre el ISG fueron el TAE y el TPD.

Discusión

En el Experimento 1 se presentaron diferencias significativas en la mayoría de las variables evaluadas en las ocho variedades, sin embargo, todas las variedades fueron seriamente afectadas por el gorgojo mexicano de acuerdo con los resultados registrados, mostrando ser susceptible al estar expuestas al ataque y daños causados por este gorgojo. Lo anterior demuestra el riesgo que pueden experimentar la mayoría de los productores de frijol durante el almacenamiento de sus cosechas, y los comerciantes minoristas y mayoristas en sus almacenes, si no se tienen en cuenta las recomendaciones para el manejo de los gorgojos de almacén. Siendo este problema de conocimiento de ambos productores y comerciantes

de grano, se utilizan en la mayoría de los casos medidas de control poco efectivas o de alto riesgo para la salud. Esta situación refuerza la importancia de implementar el uso de variedades con resistencia a gorgojos de almacén y la iniciativa de determinar la efectividad de esta resistencia como estrategia para reducir y controlar este problema que afecta al frijol almacenado.

Cuadro 2. Total de hembras (THE), machos (TME) y adultos emergidos (TAE), porcentaje de emergencia de adultos (PEA), periodo de desarrollo (TPD) del insecto (huevo-adulto), índice de susceptibilidad de genotipos (ISG) y porcentaje de semillas dañadas (PSD) de 10 variedades de frijol común infestadas con el gorgojo mexicano *Zabrotes subfasciatus*^z. Zamorano, Honduras.

Variedades	THE	TME	TAE	PEA (%)	TPD (días)	ISG	PSD (%)
PM2-Don Rey	58.4 a	58.8 a	117.2 a	39.4 ab	34.5 cd	6.0 a	93 ab
XRAV 40-4	54.8 a	46.4 ab	101.2 ab	36.6 ab	33.2 cd	6.0 a	100 a
Amadeus 77	51.2 a	49.2 ab	100.4 ab	45.0 a	35.8 c	5.6 ab	97 a
ICTA Ligero	50.2 a	35.0 bc	85.2 b	34.0 bc	33.7 cd	5.6 ab	84 bc
Verano	50.0 a	34.8 bc	84.8 b	32.6 bc	34.3 cd	5.6 ab	97 a
Aifi Würiti	47.2 a	43.0 b	90.2 ab	37.8 ab	39.8 b	4.9 bc	91abc
Tío Canela-75	21.6 b	25.0 cd	46.6 c	45.2 a	39.0 b	4.3 c	81 c
PR 1429-3	12.0 bc	10.6 de	22.6 cd	12.6 d	31.9 d	4.2 c	34 d
Surú	5.8 bc	9.2 e	15.0 d	27.0 c	46.0 a	2.2 d	31 d
PR 1429-4	4.2 c	7.4 e	11.6 d	8.8 d	34.0 cd	2.5 d	20 e
CV (%)	36.1	36.4	33.8	21.5	6.5	16.3	12.8

^z Promedios con diferente letra en la misma columna son significativamente diferentes (P<0.05).
CV: Coeficiente de variación.

CV:

Cuadro 3. Análisis de regresión lineal entre el índice de susceptibilidad de genotipos (ISG) y las variables del total de machos emergidos (TME), porcentaje de huevos por hembra (PHH), total adultos emergidos (TAE), porcentaje de emergencia de adultos (PEA), porcentaje de hembras emergidas (PHE), días al último adulto emergido (DUE) y tiempo promedio de desarrollo huevo-adulto (TPD). Zamorano, Honduras.

Variedades	THE	TME	TAE	PEA (%)	TPD (días)	ISG
Intercept	1	4.02546	0.82816	4.86	<.0001	0
TME	1	0.03051	0.01478	2.06	0.0454	25.62145
PHH	1	0.05916	0.02912	2.03	0.0487	20.93554
TAE	1	-0.01621	0.00934	-1.73	0.0903	46.08594
PEA	1	0.05204	0.01277	4.07	0.0002	8.33824
PHE	1	0.02677	0.00573	4.67	<.0001	1.94444
DUE	1	0.04511	0.01767	2.55	0.0145	2.66326
TPD	1	-0.15484	0.02200	-7.04	<.0001	2.86655

ISG= 4.02 + TME (0.03) + PHH (0.059) - TAE (0.016) + PEA (0.052) + PHE (0.026) + DUE (0.045) - TDH (0.154).

Discusión

En el Experimento 1 se presentaron diferencias significativas en la mayoría de las variables evaluadas en las ocho variedades, sin embargo, todas las variedades fueron seriamente afectadas por el gorgojo mexicano de acuerdo con los resultados registrados, mostrando ser susceptible al estar expuestas al ataque y daños causados por este gorgojo. Lo anterior demuestra el riesgo que pueden experimentar la mayoría de los productores de frijol durante el almacenamiento de sus cosechas, y los comerciantes minoristas y mayoristas en sus almacenes, si no se tienen en cuenta las recomendaciones para el manejo de los gorgojos de almacén. Siendo este problema de conocimiento de ambos productores y comerciantes de grano, se utilizan en la mayoría de los casos medidas de control poco efectivas o de alto riesgo para la salud. Esta situación refuerza la importancia de implementar el uso de variedades con resistencia a

gorgojos de almacén y la iniciativa de determinar la efectividad de esta resistencia como estrategia para reducir y controlar este problema que afecta al frijol almacenado.

En la práctica, los daños a las semillas causados por *Z. subfasciatus* no solo se restringen a las perforaciones físicas de los granos, sino que incluye la pérdida de la germinación y los daños causados por el ataque de hongos y bacterias patógenas debido al ingreso de hongos y bacterias. Las larvas producen daños en los granos no solo por el consumo sino por su actividad metabólica que produce deshechos deteriorando su valor nutritivo y reduciendo la calidad (Montoya 2001).

En el Experimento 2 se demostró que la resistencia genética en las líneas PR derivadas de las cruizas con fuentes del locus APA, representa una alternativa efectiva para el manejo y la prevención de los daños causados por el gorgojo mexicano. Las líneas PR fueron las primeras generadas en el Universidad de Puerto Rico, y nuevas líneas de varios tipos de grano están actualmente en proceso de evaluación en Honduras y Centro América.

Altamirano (1992) evaluó el efecto de arcelina en el TPD de *Z. subfasciatus* en seis líneas de frijol (Arc1, Arc2, Arc3, Arc4, Arc- y Danlí-46) obteniendo los resultados de 41, 34, 37, 38, 32 y 31 días, respectivamente. En un estudio similar, Barbosa et al., (1999) obtuvieron que los insectos criados en Arc1 tuvieron el período más prolongado de TPD (43.7 días), seguido de Arc3 (37.5 días), Arc4 (36.6 días), Arc2 (36.5 días), Porrillo-70 (32.4 días) y Goiano Precoce (31.1 días). En el presente estudio, todas las variedades evaluadas presentaron un menor TPD que los encontrados por Altamirano (1992) y Barbosa et al., (1999). Harmsen et al., (1988) en un estudio sobre resistencia a brúchidos, utilizando la variedad Porrillo-70, encontraron que los tipos de Arcelina Arc4 y Arc3 son las responsables de prolongar el ciclo de vida de los adultos.

Estas diferencias, aunque sean bajas pueden tener un impacto negativo en agricultores de subsistencia. Montoya, (2001) reportó pérdidas a nivel de productores de subsistencia y mediana escala (0.3-7.7 ha) de 5.6% en frijol almacenado, lo que representa el alimento consumido por una familia promedio (6-8 personas) durante un mes. Altamirano (1992) en la evaluación de seis líneas de frijol (Arc1, Arc2, Arc3, Arc4, Arc- y Danlí-46) en condiciones similares a las de este estudio, documentó PPP de 2.7 a 7.0%, siendo la línea Arc1 la de menor y Danlí-46 la de mayor PPP. En relación con este estudio se puede mencionar que existe algún factor que confiere mayor tolerancia a *Z. subfasciatus* en las variedades que presentaron menor pérdida de peso. En el porcentaje de germinación de la semilla de frijol después del ataque de *Z. subfasciatus* se encontraron diferencias significativas entre las diferentes variedades.

Según Cardona et al. (1990) la reducción en TAE puede ocurrir en materiales resistentes, afectando la población insectil durante el almacenamiento debido a un mecanismo de antibiosis producido por la planta sobre la biología del insecto reduciendo significativamente la emergencia de adultos. La antibiosis incluye todos los efectos fisiológicos adversos de naturaleza temporal o permanente que ocurre como resultado de la ingestión de una planta o producto de esta por el insecto. La ocurrencia de antibiosis puede deberse a una serie de factores presentes en las plantas, de los cuales se reconocen características morfológicas, presencia de metabolitos tóxicos (alcaloides y glucósidos), presencia o ausencia de nutrimentos y presencia o ausencia de enzimas u otros compuestos (Cardona, 1997).

Cardona et al. (1990) confirmaron que el efecto antibiótico que confiere el mecanismo de resistencia o tolerancia por la proteína arcelina a *Z. subfasciatus*, al realizar ensayos de resistencia usando semillas artificiales con harina de granos de frijol de variedades resistentes en los cuales se mantuvo la resistencia. También encontró que al aumentar el contenido de arcelina, el efecto antibiótico aumentaba, cuantificado en la prolongación del ciclo de vida, el descenso de la emergencia de adultos, reducción del peso y tamaño de la progenie. Esto demostró que los factores de la resistencia son de naturaleza química y están presentes en los cotiledones de las semillas, descartando así la dureza de la testa como factor de resistencia.

En la evaluación de las líneas isogénicas cercanas Arc1, Arc2, Arc3, Arc4, Wanderley, (1995) observó que la utilización de Arc1 y Arc2 resultó en un menor número TAE, siendo los efectos más expresivos en Arc1, la cual presentó una emergencia de 14.63% y en Arc2 fue de 52.0%. En estudios similares, Barbosa et al., (1999), obtuvieron los siguientes resultados para el PAE en los cultivares Goiano Precoce (67.7%),

Porrillo 70 (62.2%), Arc4 (61.9%), Arc3 (64.5%), Arc2 (22.5%) y Arc1 (16.4%). En la investigación llevada a cabo en el CIAT (1989) se encontró un PAE de 18.4% en semillas artificiales que contenían Arc1, mientras que en el testigo sin Arcelina (Arc-) la emergencia fue 86.1%.

Las larvas de *Z. subfasciatus* se alimentan exclusivamente de las semillas causando daños considerables al atacar los cotiledones, donde la construcción de “ventanas” puede destruirlos totalmente. *Z. subfasciatus* también dañan las semillas al consumir los cotiledones, resultando en un debilitamiento de las plantas, pérdida de vigor o incluso evitando su germinación (Gallo et al., 1988). La base bioquímica de resistencia a *Z. subfasciatus* se asocia con la presencia de proteínas que impiden la proteólisis de enzimas producidas por las larvas del insecto, evitando que la disponibilidad de aminoácidos esenciales (Oriani et al., 1996). El TPD de los gorgojos se determinó considerando el tiempo (días) desde la primera hasta la última emergencia de adultos, e indica el tiempo que el gorgojo perdura en desarrollarse dentro del grano almacenado. Entre más corto sea el periodo de desarrollo más probabilidades tienen los gorgojos de dañar otras semillas. El ISG permite hacer comparaciones entre tratamientos y permite clasificar las variedades como resistentes, intermedias o susceptibles al ataque de los insectos (Dobie, 1974). En cuanto al ISG del frijol al ataque de *Z. subfasciatus* se encontraron diferencias significativas ($P < 0.05$) en las variedades evaluadas.

Los resultados observados en el comportamiento de las líneas PR 1429-3, PR 1429-4 y Surú en la mayoría de las variables evaluadas sugieren que estos genotipos poseen mecanismos de resistencia al daño causado por el gorgojo del frijol *Z. subfasciatus*. Las líneas PR provienen del programa de mejoramiento de la resistencia a gorgojos de la Universidad de Puerto Rico por lo que su comportamiento en los ensayos conducidos en Zamorano valida estas cualidades. Sin embargo, no se tenía conocimiento de la resistencia a *Z. subfasciatus* de la variedad Surú, por lo que se recomienda un seguimiento mediante el uso de marcadores moleculares asociados a los genes de resistencia identificados hasta la actualidad. Para fines comerciales, se sugiere la validación de las líneas PR y Surú a nivel de finca; estas líneas pueden ser utilizadas para fines de mejoramiento ya que adicionalmente poseen genes de resistencia a los virus del mosaico común y mosaico dorado amarillo de frijol.

Agradecimientos

Agradecemos al Dr. James Beaver de la Universidad de Puerto Rico por facilitar las líneas resistentes PR para este estudio, y por el invaluable apoyo técnico y logístico, sin el cual, no hubiese sido posible realizar este estudio.

Literatura citada

- Altamirano Pólit, R.C. 1992. Efecto de arcelina en la tasa de crecimiento y reproducción de *Zabrotes subfasciatus* (Boheman). Tesis Ing. Agr. Zamorano, Honduras, Escuela Agrícola Panamericana. 96p.
- Barbosa, F., M. Yokoyama, P. Pereira y F. Pfeilsticker. 1999. Efeito da proteína arcelina na biología de *Zabrotes subfasciatus* (Boheman 1833) em feijoeiro. *Pesquisa Agropecuária do Brasil* 34(10):1805-1810.
- Beaver, J.S., A. González, Y. Trukhina and T.G. Porch, 2016. Development of a black bean line that combines bruchid and multiple virus resistance. *Annual Report of the Bean Improvement Cooperative* 59:15-16.
- Cardona, C. 1997. Resistencia Varietal a Insectos. Universidad Nacional de Colombia. Palmira, Colombia. 86p.
- Cardona, C. 1994. Insectos y otras plagas invertebradas en frijol en América Latina. Centro Internacional de Agricultura Tropical. Cali, Colombia. 734p.
- Cardona, C. y J. Kornegay. 1989. Use of wild *Phaseolus vulgaris* to improve beans for resistance to bruchids. In: S. Beebe (ed), *Current topics in breeding of common beans*. Cali, Colombia, Centro Internacional de Agricultura Tropical. p 90-98.
- Cardona, C., J. Kornegay, C. Posso, F. Morales y H. Ramirez. 1990. Comparative value of four arcelin variants in the development of dry bean lines resistant to the Mexican bean weevil. *Entomología Experimental y Aplicada* 56:197-206.
- Cardona, C., C. Posso, J. Kornegay, J. Valor y M., Serrano. 1989. Antibiosis effects of dry bean accessions on the Mexican Bean Weevil and the bean Weevil (Coleoptera: Bruchidae). *Journal of Economic Entomology* 82(1):310-316.

- Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). 1989. Temas actuales en mejoramiento genético del frijol común: Memorias del Taller Internacional de Mejoramiento Genético de Frijol. S. Beebe (ed). Cali, Colombia, CIAT. 465p.
- Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). 1988. Principales insectos que atacan el grano de frijol almacenado y su control: Guía de estudio para ser usada como complemento de la unidad audio-tutorial sobre el mismo tema. 3ª ed. Cali, Colombia. Publicaciones CIAT. 45p.
- De Franca, M. S., J. Vargas de Oliveira, A. B. Esteves Filho, C. Moura de Oliveira. 2012. Toxicity and repellency of essential oils to *Zabrotes subfasciatus* (Boheman) (Coleoptera, Chrysomelidae, Bruchinae) in *Phaseolus vulgaris* L. Acta Amazónica 42 (3).
- Dobie, P. 1974. Laboratory assessment of the inherent susceptibility of maize lines to post-harvest infestation by *Sitophilus zeamais* (Motschulsky)(Coleoptera: Curculionidae). Journal Stored Products Research 10: 183-197.
- Espinal, R., R. Higgins, and V. F. Wright. 2004. Economic Losses associated with *Zabrotes subfasciatus* (Boheman) (Coleoptera: Bruchidae) and *Acanthoscelides obtectus* (Say) (Coleoptera: Bruchidae) Infestations of stored dry red beans (*Phaseolus vulgaris* L.) in Southeastern Honduras. Ceiba 45(2):107-119.
- Fernández, A.F. y E. Sanchez. 2017. Estudio de las propiedades fisicoquímicas y calidad nutricional en distintas variedades de frijol consumidas en México. Nova Scientia 9(18):133-148.
- Gallo, D., O. Nakano, F. Wiendl, S. Silveria, y R. Carvalho. 1988. Manual de entomología agrícola. Sao Paulo, Brasil, Editora Agronómica Ceres. 649p.
- González, V., R. Roche, y M. Simanca. 1984. Ciclo de vida de *Zabrotes subfasciatus* (Coleoptera:Bruchidae), plagas de granos almacenados. Ciencia de la Agricultura 21:2530.
- Harmsen, R., F. Bliss, C. Cardona, C. Posso y T. Osborn.1988. Transferring genes for arcelin protein from wild to cultivated beans: implications for bruchid resistance. Annual report of Bean Improvement Cooperative, 31:54-55.
- Hernández, J.C., N.F. Chaves, R. Araya, J.C. Rosas. 2020. Surú: Variedad de frijol común de grano blanco (Raza Mesoamérica). Agronomía Costarricense 45(1):9-18, ISBN:0377-9424.
- IICA/Proyecto Red SICTA. 2013. Estudio de la cadena de valor maíz blanco y frijol en Centroamérica. IICA, San José, Costa Rica, 115p.
- Kanifwa, K., J.S. Beaver, K.A. Cichy, J.D. Kelly. 2018. QTL mapping of resistance to weevil in common bean. Crop Science 58:2370-2378.
- Kusolwa, P. M. y Myers, J. R. 2011. Wild tepary bean G40199 confers resistance to *Acanthoscelides obtectus* when expressed in common beans. African Crop Science Journal, 19(4):255–256.
- Lara, F.M. 1997. Resistance of wild and near isogenic bean lines with variants to *Zabrotes subfasciatus* (Boheman). I-Winter crop. Memorias de la Sociedad Entomológica de Brasil 26(3):551-560.
- López-Monzón, C.E., W. V. Tobar-Tomas, A.L. Ventura-Gómez. 2016. Controles alternativos para el gorgojo del frijol *Acanthoscelides obtectus* (Say) (Coleoptera:Bruchidae). Ciencia, Tecnología y Salud 3 (2):149-156. ISSN: 2410-6356 (electrónico)/2409-3459(impreso).
- Mbogo, K.P., J. Davis, J.R. Myers. 2009. Transfer of the arcelin-phytohaemagglutinin- α amylase inhibitor seed protein from tepary bean (*Phaseolus acutifolius* A. Gray) to common bean (*P. vulgaris* L.) Biotechnology 8 (3):285-295.
- Miranda, J.E., L.C. Toscano, y M.G. Fernandes. 2002. Evaluación de resistencia de diferentes genotipos de *Phaseolus vulgaris* a *Zabrotes subfasciatus* (Boh) (Coleoptera:Bruchidae). Sanidad Vegetal, Plagas 28: 571-576.
- Montoya-Aburto, G.G. 2001. Evaluación de pérdidas físicas y monetarias en dos sistemas de almacenamiento de frijol (*Phaseolus vulgaris*) en El Paraíso, Honduras. Tesis Ing. Agr. Zamorano, Honduras, Escuela Agrícola Panamericana. 39p.
- Morais, A. A. de, J.B. Pinheiro. 2012. Breeding for Resistance to Insect Pests of Stored Grain. En R. Fritsche-Neto y A. Borém (Eds.), Plant Breeding for Biotic Stress Resistance (Vol. 50, pp. 127–135). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-33087-2_7.
- Nava-Pérez, E., P. Gastelum-Hurtado, J.R. Camacho-Baez, B. Valdez-Torres, C.R. Bernal-Ruiz, R. Herrera-Flores. 2010. Utilización de extractos de plantas para el control de gorgojo pardo *Acanthoscelides obtectus* (say) en frijol almacenado. Ra Ximbai 6(1):37-43.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). 2014. Dirección de Estadísticas: FAOSTAT (en línea). Consultado el 12 de octubre de 2014. Disponible en <http://faostat3.fao.org/faostat-gateway/go/to/home/S>.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). 1999. Alimentación, Nutrición y Agricultura. 2 ed. Roma, Italia, Dirección de Información de la FAO. 56p.

Espinal JR, Soto OJ, Abrego AN, Pizarro IP, Rodriguez IY, Rosas-Sotomayor JC. 2021. Resistencia de genotipos de frijol común a los daños causados por el gorgojo mexicano *Zabrotes subfasciatus* (Boheman) en el almacenamiento. Ceiba. Zamorano Investiga: 112–121.

- Oriani, M., F. Lara y A. Boica. 1996. Resistencia de genotipos de frijol a *Zabrotes subfasciatus* (Boh) (Coleoptera: Bruchidae). *Anales de la Sociedad Entomológica de Brasil* 25(2):213-216.
- Paliwal, R.L., G. Granados, H.R. Lafitte y A.D. Violic. 2001. El maíz en los trópicos: Mejoramiento y producción. FAO, Roma.
- Permuy, N., O. Chaveco, J. Gonzalez, E. Garcia y F. Hidalgo. 2008. Pérdida de grano de frijol común en un sistema de almacenamiento tradicional. *Agricultura Técnica en México* 34(1): 91-100.
- Ribero, C., P. Pereira y L. Zukovski. 2007. Desenvolvimiento de *Zabrotes subfasciatus* (Boh) (Coleoptera: Chrysomelidae, Bruchidae) en genotipos de *Phaseolus vulgaris* L. (Fabaceae) cultivados en el estado de Paraná y conteniendo arcelina. *Entomología Neotropical* 36(4):560-564.
- Schoonhoven, A. y C. Cardona. 1982. Low levels of resistance to the Mexican bean weevil in dry beans. *Journal of Economic Entomology*, 75(4):567-569.
- Trivelli, H.D. y C. J. Arias. 1985. Insectos que dañan granos productos y productos almacenados. Santiago, Chile, Oficina Regional de la FAO para América Latina y El Caribe. 146p.
- Valencia-Cataño, S. J. 2006. Efectos sub-letales de resistencia antibiótica a inmaduros en la demografía de adultos de los gorgojos del frijol *Acanthoscelides obtectus* (Say) y *Zabrotes subfasciatus* (Boheman) (Coleoptera: Bruchidae). *Ing. Agr., Palmira, Colombia, Centro Internacional de Agricultura Tropical*. 135p.
- Voyses, O. 2000. Mejoramiento Genético del Frijol (*Phaseolus vulgaris* L.): Legado de Variedades de América Latina 1930-1999. Cali, Colombia, Centro Internacional de Agricultura Tropical. 195p.
- Wanderley, V. 1995. Identificación de fuentes de resistencia en cultivares y líneas de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L) a *Zabrotes subfasciatus* (Boh.1833) (Coleoptera, Bruchidae) en condiciones de laboratorio. Tesis M.Sc. Recife, Brasil, Universidad Federal Rural de Pernambuco. 113p.

Recibido enero 16, 2021; aceptado febrero 26, 2021.

Cómo citar: Espinal JR, Soto OJ, Abrego AN, Pizarro IP, Rodriguez IY, Rosas-Sotomayor JC. 2021. Resistencia de genotipos de frijol común a los daños causados por el gorgojo mexicano *Zabrotes subfasciatus* (Boheman) en el almacenamiento. Ceiba. Zamorano Investiga: 112–121.