Evaluación de la resistencia de materiales genéticos al ataque de *Zabrotes subfasciatus* (Boheman) en frijol común (*Phaseolus vulgaris L.)* almacenado

Andrea Nicole Abrego Florentino

Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano
Honduras
Noviembre, 2015

ZAMORANO
CARRERA AGROINDUSTRIA ALIMENTARIA

Evaluación de la resistencia de materiales genéticos al ataque de *Zabrotes subfasciatus* (Boheman) en frijol común (*Phaseolus vulgaris L.)* almacenado

Proyecto especial de graduación presentado como requisito parcial para optar por el título de Ingeniera en Agroindustria Alimentaria en el Grado Académico de Licenciatura

Presentado por

Andrea Nicole Abrego Florentino

Zamorano, Honduras
Noviembre, 2015

Evaluación de la resistencia de materiales genéticos al ataque de *Zabrotes subfasciatus* (Boheman) en frijol común (*Phaseolus vulgaris L.)* almacenado

Presentado por:

Andrea Nicole Abrego Florentino

Aprobado:

_____
Raul Espinal, Ph.D.
Asesor principal

_____
Luis Fernando Osorio, Ph.D.
Director
Departamento de Agroindustria Alimentaria

_____
Juan Carlos Rosas, Ph.D.
Asesor

_____
Raúl Zelaya, Ph.D.
Decano Académico

Evaluación de la resistencia de materiales genéticos al ataque de *Zabrotes subfasciatus* (Boheman) en frijol común (*Phaseolus vulgaris L.)* almacenado.

Andrea Nicole Abrego Florentino

Resumen: El gorgojo del frijol**,** *Zabrotes subfasciatus* es de importancia económica en el frijol almacenado causando pérdidas entre el 15-20%**.** El propósito fue evaluar la resistencia durante el almacenamiento de 10 genotipos de *Phaseolus vulgaris* (XRAV 40-4, Aifi Wuriti, ICTA Ligero, Surú, Tío Canela 75, PM2-Don Rey, Verano, Amadeus 77, PR 1429-3 y PR 1429-4) al ataque de *Zabrotes subfasciatus*. El ensayo se realizó en las instalaciones del Programa de Investigaciones en Frijol, bajo condiciones de temperatura de 27 ± 3 °C y humedad relativa de 72 ± 7.5%. Cada unidad experimental fue infestada con 10 parejas de adultos de *Z. subfasciatus*. A los 17 días después de la infestación se retiraron los gorgojos de los frascos de las diferentes repeticiones y se cuantificaron los huevos ovipositados en la testa de la semilla. Se midió el número de huevos totales y promedio por hembra, el número de adultos emergidos, peso de los adultos, pérdida de peso del grano consumido, número de perforaciones y el ciclo de vida; además, se calculó un índice de susceptibilidad para cada genotipo. El genotipo más susceptible fue XRAV 40-4, con un 100% de daños en las semillas; y el que expresó más resistencia fue la línea PR 1429-4 con 15% de daño. En base a las variables evaluadas, las líneas PR 1429-4 y la variedad Surú resultaron ser las más resistentes a *Z. subfasciatus*. Se recomienda la validación de estas líneas a nivel de finca. Además, se sugiere su uso como progenitores de materiales genéticos para conferir resistencia al gorgojo. Se recomienda a través del uso de marcadores moleculares, confirmar la presencia de genes de arcelina-like (ARL2), arcelina de frijol tepari (ARC), α-AI y PHA.
Palabras clave: Adultos emergidos, almacenamiento, índice de susceptibilidad, infestación, factores de resistencia.

Abstract: The bean weevil, Zabrotes subfasciatus is of economic importance in the stored beans causing losses between 15-20%. The purpose was to evaluate the resistance during storage of 10 genotypes of Phaseolus vulgaris (XRAV 40-4 , Aifi Wuriti , ICTA Ligero , Suru , Tio Canela 75, PM2 -Don King , Verano, Amadeus 77, PR 1429 and PR 1429-3 -4) to the attack of *Zabrotes subfasciatus*. The test was conducted on the premises of Bean Research Program, under temperature of 27 ± 3 ° C and relative humidity of 72 ± 7.5 %. Each experimental unit was infested with 10 couples of Z. subfasciatus. At the 17 day after the infestation the weevils in the different bottles were removed and proceeded to count ovoposited eggs in the seed coat of the bean. The total number of eggs per female, the average of eggs, the number of emerged adults, adult's weight, grain weight loss, number of perforations and the cycle life were measured; additionally a susceptibility index was calculated for each genotype. The most susceptible genotype was XRAV 40-4 with a 100% damage in seeds; and the genotype that expressed more resistance is PR 1429-4 with 15 % damage. Based on the evaluated variables, PR 1429-4, and Suru variety were the most resistant to *Z. subfasciatus* .Validation of these lines is recommended at farm level. It is also suggested the use of progenitors of genetic material to confer resistance against weevil. It is recommended the use of molecular markers to confirm the presence of genes arcelin -like (ARL2), bean arcelin tepari (ARC) , α -AI and PHA.
Key words: Emerged adults, infestation, resistance factors, storage, and susceptibility index.

CONTENIDO

Portadilla i
Página de firmas ii
Resumen iii
Contenido iv
Índice de Cuadros, Figuras y Anexos v

1. INTRODUCCIÓN 1

2. MATERIALES Y MÉTODOS 3

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 8

4. CONCLUSIONES 13

5. RECOMENDACIONES 14

6. LITERATURA CITADA 16

7. ANEXOS 18

ÍNDICE DE CUADROS, FIGURAS Y ANEXOS

Cuadros Página

1. Diferencias en la tasa de oviposición expresada en número totales de huevos y huevos /hembra en líneas de frijol común infestados con *Zabrotes subfasciatus*. Zamorano, Honduras, 2015. 9
2. Diferencias en la tasa de emergencia de adultos expresada en hembras, machos y números totales emergidos en líneas de frijol común infestados con *Zabrotes subfasciatus*. Zamorano, Honduras, 2015. 10
3. Diferencias en el porcentaje de emergencia de adultos, periodo de desarrollo e índice de susceptibilidad en líneas de frijol común infestados con *Zabrotes subfasciatus*. Zamorano, Honduras, 2015. 10
4. Diferencias en el porcentaje de pérdida de peso de semillas en líneas de frijol común infestados con *Zabrotes subfasciatus*, Zamorano, Honduras, 2015. 11
5. Diferencias en proporción de hembras y peso de adultos en líneas de frijol común infestados con *Zabrotes subfasciatus*. Zamorano, Honduras, 2015. 12

Figura Página

1. Promedios y desviación estándar del porcentaje de semilla dañada por *Z. subfasciatus* de diez variedades de frijol común a 27 ± 3 °C y 72± 7.5% de humedad relativa. Coeficiente de variación=11% 12

Anexos Página

1. Se muestran las temperaturas y humedad Relativa de la duración del primer ciclo 18
2. Correlaciones entre las variables de los tratamientos y análisis de regresión del índice de susceptibilidad..... 19

1. INTRODUCCIÓN

El frijol común (*Phaseolus vulgaris L.*) es considerado una de las leguminosas más importantes para él consumo del ser humano, principalmente en Honduras, donde representa la fuente principal de proteína para la mayoría de la poblaciones rurales y urbanas. Actualmente también es un componente esencial de la dieta de países en Centroamérica y Sudamérica (Ulloa, 2011). Se considera un elemento central de la dieta alimenticia de más de 400 millones de personas en los trópicos. Según la FAO se cultiva en 129 países de los cinco continentes. América Latina es la zona de mayor producción y consumo, se estima que más del 45% de la producción mundial proviene de esta región, donde es considerado como uno de los productos básicos de la economía campesina (Fenalce, 2010).

El frijol es una fuente importante de proteína vegetal para la población. El consumo anual per cápita de frijol en Honduras es de 13.72 kg/persona/año, fundamentalmente en áreas rurales, pero con un consumo incremental en las áreas urbanas. Es uno de los pocos alimentos ricos tanto en carbohidratos (60.8%) como en proteínas (22.0%) y minerales (3.6%) (PCCMCA, 1972).

En Honduras el frijol es más que una fuente alimenticia, se ha vuelto un hábito en la dieta de todas las personas por lo que impera una producción agrícola de granos de frijol con un rendimiento considerable. No obstante esta producción está en manos de pequeños agricultores que no cuentan con suficiente conocimiento que les haga ser más eficientes, con una tecnología que les ayude a tener mayor calidad y cuentan con poca capacidad instalada.

La conservación y protección de este grano almacenado constituye una necesidad alimenticia, social y económica. Se estima que del 5 al 10% de la producción mundial de granos alimenticios se pierde a causa de insectos de almacén, lo que equivale a la cantidad de granos necesaria para alimentar a 130 millones de personas anualmente (FAO, 1999). La especie que causa mayor daño al frijol almacenado es *Zabrotes subfasciatus* (Boheman), perteneciente al orden Coleóptera y a la familia Bruchidae (Trivelli y Arias 1985). El deterioro del grano de frijol como consecuencia del ataque de estos insectos sucede cuando sus larvas se alimentan exclusivamente de las semillas, causando daños considerables al atacar los cotiledones. Los granos son cubiertos de huevos y presentan muchas perforaciones que corresponden a las cámaras de alimentación de los insectos, lo que causa pérdida de peso y menor cantidad de nutrientes (CIAT, 1988).

Existen varias alternativas que se han implementado para reducir las pérdidas post cosechas, principalmente en el almacenamiento del grano de frijol; que incluye desde establecer ciclos de producción controlados que permitan hacer las jornadas de cosecha en la época seca,

para reducir humedad en el grano, hasta la utilización de sistemas de ventilación asistida que permitan secar el grano para almacenarlo en silos. El almacenamiento es un proceso de vital importancia y de larga, por eso es importante contar con condiciones idóneas que permitan mantener la calidad del grano por más tiempo. La resistencia varietal o resistencia genética, es el mejor método de controlar plagas que afectan a los cultivos, de una forma ecológicamente limpia y natural. Dentro del control genético existen diferentes mecanismos mediante los cuales una planta puede obtener resistencia, siendo estos antibiosis, la antixenosis y la tolerancia (Cardona, 1997).

El uso de variedades resistentes permite una disminución del costo del control del insecto, proporcionando un producto de buena calidad sin la presencia de insecticidas (Valencia, 2006). Las proteínas conocidas como arcelinas (Arc1, Arc2, Arc3, Arc4) presentes en las semillas de fríjol, se consideran como uno de los mecanismos de la antibiosis de variedades de fríjol a los brúchidos que atacan la semilla (Miranda *et al*, 2002). Es por eso que 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 variedades resistentes para control del gorgojo son una estrategia muy apropiada para pequeños agricultores quienes se encuentran desprovistos de recursos económicos y conocimientos técnicos de tecnologías modernas en el almacenamiento de grano (Espinal, 1993).

En el estudio se evaluó la resistencia de 10 variedades de frijol común al ataque de *Z. subfasciatus.* Los objetivos planteados para el estudio fueron:

- Evaluar la resistencia de 10 genotipos de frijol común (*Phaseolus vulgaris*) al ataque del gorgojo *Zabrotes subfasciatus.*

- Caracterizar daños físicos causados por el ataque de *Z. subfasciatus* en genotipos de frijol mediante la medición de variables reproductivas y de desarrollo del insecto.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Localización. El presente estudio se llevó a cabo en los meses de Mayo a Septiembre del 2015 en el Banco de Germoplasma del Programa de Investigaciones del Frijol (PIF), en la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, ubicada a 30 km sur este de Tegucigalpa, municipio de San Antonio de Oriente en el departamento de Francisco Morazán, Honduras.

Tratamientos. En el estudio se evaluaron 10 tratamientos conformados por genotipos de frijol, incluyendo variedades y líneas mejoradas del Programa de Investigaciones en Frijol (PIF), las cuales se describen a continuación.

Surú. Es una variedad de grano blanco, desarrollada en Honduras por la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, derivada de cruza de PAN68/Bribri. Posee un alto potencial de rendimiento y calidad de grano y de resistencia intermedia a los principales patógenos. Fue liberada en el 2009 en Costa Rica por el programa PITTA-Frijol, y su nombre Surú significa blanco en la lengua Cabécar.

Tío Canela 75. Es una variedad mejorada desarrollada en Honduras por la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, de la cruza de DOR483/DOR391/Pompadour J. Es resistente al virus del mosaico común (VMCF) y al virus del mosaico dorado amarillo (VMDAF) del frijol y fue liberada en 1996 en Honduras.

Amadeus 77. Es una variedad mejorada desarrollada en Honduras por la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, de la cruza simple de Tío Canela 75/DICTA 105. Se adapta al calor, por lo que se recomienda para zonas costeras, y a condiciones variables de fertilidad del suelo.

PM2-Don Rey. También llamada Paraisito Mejorado 2 es una variedad desarrollada en Honduras por la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, de la cruza de Carrizalito/Paraisito Criollo. Es resistente al VMDAF y al VMCF. Se adapta a la sequía y a la baja fertilidad.

Verano. Es una variedad desarrollado por la Universidad de Puerto Rico y el USDA-ARS/Tropical Agriculture Research Service. Es resistente al VMDAF y es tolerante al calor.

XRAV 40-4. Es una variedad desarrollada por la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano y la UPR. Posee resistencia a tres virus, el VMDAF, VMCF y al virus del mosaico común necrótico del frijol (VMCNF).

Aifi Würiti 55. Esta variedad fue desarrollada en Honduras por la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano de la cruza múltiple Tío Canela 75/ DICTA105 // BG12 / WB12/// Tío Canela 75/DICTA105/AL12. Posee resistencia al VMCF, VMDAF, mancha angular y mustia hilachosa. Es una variedad precoz de altos rendimientos con buena adaptación a zonas bajas tropicales y tiene buena tolerancia al calor y la sequía.

ICTA Ligero. Es una variedad de la cruza DOR 385/JU-90-4. Fue liberada por el CIAT y el ICTA/Guatemala. Es una variedad precoz resistente a VMCF y VMDAF.

PR 1429-3 y PR 1429-4. Son líneas desarrolladas por la UPR con resistencia al gorgojo del frijol común, derivadas de la cruza de AO1012-29-3/XRAV-40-4. AO1012-29-3 es una línea derivada de Rojo*3 /// SMARC 2-PN-1 // ICA Pijao* 2 /G40199 por Kusolwa y Myers.

Unidades experimentales. Las unidades experimentales se infestaron con frascos cilíndricos de vidrio de ocho centímetros de altura con dos centímetro de diámetro, en las cuales se colocaron 20 semillas. A las tapas de cada frasco de frijol infestado se le realizo una perforación circular de un diámetro de 3 cm y se le coloco una malla de 40 mesh que permitió la aireación y evito el escape del gorgojo. Para poder cuantificar la cantidad de semilla que iba a contener cada frasco se utilizó un cuantificador para 100 semillas marca Seedburo™.

Cría de *Zabrotes subfasciatus.* Se colocaron 500 g de semilla de frijol de una variedad susceptibles al ataque de los gorgojos (Seda). Se utilizaron frascos de vidrio marca Mason de 946 ml con tapa de rosca y malla metálica para facilitar la aireación y evitar que se escapen los insectos. Los gorgojos son sexuados y colocados a razón de 100 hembras en el frasco. A los 15-18 días de haberse infestado las semillas se retiraron los adultos mediante cernido usando una malla metálica de 3-4 mm, repitiendo este proceso dos días después hasta remover todos los insectos que se presenten en los frascos conteniendo los granos de frijol (CIAT, 1988).

Para continuar con el proceso de crianza se deben dejar otra vez 200 individuos de las especies de gorgojos de la bandeja en un nuevo frasco con granos de frijol, repitiendo el procedimiento antes descrito (CIAT, 1988).

Infestación. Cada frasco de ocho centímetros de altura con dos centímetros de diámetro se infesto con parejas sexuadas de Zabrotes y se mantuvo por diecisiete días. Para poder obtener los gorgojos que se utilizaron para la infestación, los cuales provenían de la variedad de frijol CEDA, se hizo uso de un tamiz tyler # 12 .Para evitar el escape de los gorgojos se introdujeron en un ambiente frio, en este caso se utilizó una refrigeradora , introduciendo los gorgojos por dos minutos, para reducir su movilidad, debido a que las bajas temperaturas disminuyen la actividad metabólica del insecto y así se facilita su manipulación (CIAT, 1988), luego se introdujeron en frascos de vidrio con malla de 40 mesh que contenían las semillas de frijol. Los frascos infestados se ubicaron en un cuarto a una temperatura de 27 ± 3 °C y humedad relativa de 72 ± 7.5%.

Diseño experimental. Se usó un diseño completamente al azar con 10 tratamientos (genotipos de frijol), empleándose cinco repeticiones, para un total de 50 unidades experimentales. El estudio de la evaluación del ataque del gorgojo *Z. subfasciatus* en semillas de variedades de frijol en frascos de vidrio se realizó bajo condiciones ambientales de 27 ± 3 °C y humedad relativa de 72 ± 7.5%. En el ensayo para medir la resistencia a *Z. subfasciatus* se utilizaron frascos pequeños de vidrio con 20 semillas de frijol de los 10 genotipos de frijol.

Variables medidas. En el estudio se midieron las variables de la ovoposición (número de huevos totales y numero de huevos por hembra), número de adultos emergidos y porcentaje de emergencia de adultos, porcentaje de hembras emergidas, peso de los adultos, duración del ciclo de vida (huevo a adulto), porcentaje de semilla dañada, porcentaje de pérdida de peso de las semillas, como se describe a continuación.

Ovoposición. Para determinar el resultado de esta variable se contó el número de huevos ovopositados en la testa de cada semilla de frijol, utilizando una lupa para poder visualizar mejor, ya que algunas variedades de frijol eran de color blanco, dicha cualidad dificultaba la observación de los huevos siendo estos del mismo color y otra razón fue por el tamaño de los huevo; se utilizó también una pinza BioQuip N° 2 A con puntas planas redondeadas para evitar el daño en los huevos. El conteo se realizó el día 17 después de la infestación.

Oviposición por hembra de *Zabrotes subfasciatus*. Para calcular esta variable de dividió el número total de huevos ovipositados en la testa del frijol entre el número total de hembras usadas en la infestación.

Total de adultos emergidos. Es la cuantificación total del número de gorgojos adultos que salieron en su primer ciclo. Se realizaron observaciones cada tres días desde los 23 DDI; observando el primer gorgojo emergido al 29 DDI en las líneas de frijol común Verano y PM2 Don Rey, y los últimos emergidos fueron a los 57 DDI en la variedad Surú.

Porcentaje de emergencia de adultos. Indica la cantidad de gorgojos emergidos con relación a la cantidad de huevos totales, se dividió el total de adultos emergidos entre el total de huevos producidos usando la ecuación 1 de (Moreira, 1994).

$$\mathrm{PEA}(\%) = \frac{\mathrm{TAE}}{\mathrm{TH}} \times 100 \qquad [1]$$

PEA: Porcentaje de emergencia de adultos
TAE: Total de adultos emergidos
TH: Total de huevos (ovoposición)

Proporción de hembras de *Zabrotes subfasciatus*. Al momento que finaliza la emergencia de todos los adultos de gorgojos estos son sexuados y cuantificados. Para obtener la proporción de hembras, se usa la cantidad total de hembras emergidas entre el total de adultos emergidos (ecuación 2).

$$\mathrm{PH} = \frac{\mathrm{THe}}{\mathrm{TAE}} \qquad [2]$$

PH: Proporción de hembra

THe: Total de hembras emergidas
TAE: Total de adultos emergidos

Tiempo promedio de desarrollo (huevo-adulto). Para calcular esta variable se usó el total de adultos emergidos y los días de emergencia de los adultos. El tiempo promedio se determinó usando la ecuación 3 (Ribero *et al*, 2007).

$$\mathrm{TD} = \frac{\sum(\mathrm{AED} \times \mathrm{DE})}{\mathrm{TAE}} \qquad [3]$$

TD: Tiempo de desarrollo (días)
AED: Número de adultos emergidos por día.
DE: Días de emergencia
TAE: Total de adultos emergidos

Peso vivo promedio de hembras y machos. Al finalizar el sexuado de los gorgojos emergidos totales, se calculó el peso vivo promedio de hembras y machos, cuantificando y pesando los gorgojos vivos, manejándolos a temperaturas bajas por dos minutos, y los muertos, pesándolos en una balanza milimétrica.

Índice de susceptibilidad del frijol a *Z. subfasciatus*. Para esta variable se utilizó un logaritmo del total de adultos emergidos de cada genotipo entre el tiempo de desarrollo de los gorgojos, multiplicándolos por 100, usando la ecuación 4 de (Dobie, 1974).

$$\mathrm{IS} = \frac{\mathrm{Log}(\mathrm{TAE})}{\mathrm{TD}} \times 100 \qquad [4]$$

IS: Índice de susceptibilidad
TAE: Total de adultos emergidos
TD: Tiempo de desarrollo

Porcentaje de semilla dañada. Esta variable se midió al día 57 cuando finalizo la emergencia del último gorgojo *Z. subfasciatus*, cuantificando el número de semillas perforadas, mediante la división del número total de semillas utilizadas y este valor multiplicándolos para 100 se usó la ecuación 5.

$$\mathrm{SD}(\%) = \frac{\mathrm{TSD}}{\mathrm{TS}} \times 100 \qquad [5]$$

SD: Porcentaje de semilla dañada
TSD: Número de semillas perforadas
TS: Número de semillas utilizadas

Porcentaje de pérdida de peso de semillas. Esta variable indica el porcentaje de pérdida de peso de cada línea de frijol. Primero se obtuvo el peso inicial de las unidades experimentales de 20 semillas; a los 57 DDI, que fue la última emergencia de adultos y se obtuvo el peso final del grano en una balanza de marca Seedburo^{TM}, Modelo 8800 en una escala en gramos. La diferencia de peso se consideró como peso perdido ocasionado por el gorgojo *Z. subfasciatus*, para el cálculo de esta variable se utilizó la ecuación 6:

$$\mathrm{PP}(\%) = \frac{\mathrm{Pi} - \mathrm{Pf}}{\mathrm{Pi}} \times 100 \quad [6]$$

PP: Porcentaje de pérdida de peso
Pi: Peso inicial
Pf: Peso final

Análisis estadísticos. Los datos obtenidos se analizaron a través de un análisis de varianza (ANDEVA) y se realizó una separación de medias por el método de Diferencia Mínima Significativa (DMS) al 5%. Además, se realizó un análisis de regresión lineal para determinar la significancia de las variables evaluadas en el índice de susceptibilidad. Para llevar a cabo estos análisis se usó el programa Statistical Analysis System (SAS®).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Ovoposición. Los resultados obtenidos del conteo del número de huevos totales y el promedio de huevos por hembra del gorgojo del frijol *Zabrotes subfasciatus* indican que la mayor tasa de ovoposición se presentó en las líneas PM2-Don Rey, XRAV 40-4 y Verano y otros (>24 huevos/hembra); y la menor ovoposición fue en las líneas PR 1429-4, Tío Canela 75 y Surú (<14 huevos/hembra) (Cuadro 1). La línea PR 1429-4 de grano negro proviene del programa de mejoramiento de resistencia a gorgojos de frijol de la Universidad de Puerto Rico; pero para las variedades Tío Canela 75 de grano rojo y de Surú de grano blanco cultivadas en Centro América, no se tenía datos de sus comportamientos ante el ataque de *Z. subfasciatus* y por ello los datos resultan ser importantes.

Emergencia de adultos. Los análisis de los datos expresados en hembras, machos y total de adultos emergidos presentaron diferencias significativas, observándose en general mayores tasas de emergencia de hembras (>50), machos (>45) y totales adultos emergidos (>100) en genotipos de frijol como PM2-Don Rey, XRAV 40-4 y Amadeus 77. De manera contrastante, los valores más bajos de hembras (< 12), machos (<11) y totales (<23) de adultos emergidos se presentaron en Tío Canela 75, PR 1429-3, Surú y PR 1429-4 (Cuadro 2).

Porcentaje de emergencia de adultos. De la relación de las tasas de ovoposición y la emergencia de adultos, se pudo observar que el mayor porcentaje de adultos emergidos se presentó en Tío Canela 75 y Amadeus 77, dos variedades importantes en Centro América en relación a los porcentajes más bajos observados en Surú, PR 1429-3 y PR 1429-4 (Cuadro 3). Sin embargo este dato debe considerarse cuidadosamente ya que no se relaciona directamente con los daños y pérdida de peso causados por el ataque de *Z. subfasciatus* a semillas de las líneas frijol, lo que se discutirá posteriormente.

Desarrollo de *Zabrotes subfasciatus* (huevo-adulto). El período de desarrollo de los gorgojos se determinó considerando el tiempo (días) desde la primera hasta su última emergencia de adultos, e indica el tiempo que el gorgojo dura en desarrollarse dentro del grano almacenado. Entre más corto sea el período de desarrollo más probabilidades tienen los gorgojos para poder dañar otras semillas almacenadas. La variedad Surú fue la que tuvo el período de desarrollo más largo (46 días), seguida de Tío Canela 75 y Aifi Wuriti. Las demás líneas tuvieron un período de desarrollo más corto (31-35 días) (Cuadro 3).

Índice de susceptibilidad del frijol a *Zabrotes subfasciatus*. El índice de susceptibilidad (IS) indica que tan susceptible es el grano de frijol al ataque del gorgojo, a valores más altos mayores daños a las semillas. Los mayores IS se presentaron en PM2-Don Rey y XRAV 40-4 (6.0); y los más bajos en Surú y PR 1429-4 (<2).

Cuadro 1. Diferencias en la tasa de oviposición expresada en número totales de huevos y huevos /hembra en líneas de frijol común infestados con *Zabrotes subfasciatus*. Zamorano, Honduras, 2015.

	Ovoposición (huevos)	
Líneas de frijol	No. Total	Huevos /hembra
PM2-Don Rey	298 A	29.8 A
XRAV 40-4	276 A	27.7 A
Verano	261 A	26.2 A
Aifi Würiti	242 AB	24.2 AB
ICTA Ligero	240 AB	24.1 AB
Amadeus 77	226 AB	22.6 AB
PR 1429-3	182 BC	18.2 BC
PR 1429-4	135 CD	13.5 CD
Tío Canela 75	104 DE	10.5 DE
Surú	50 E	5.1 E
Promedio	202	20.2
Probabilidad	0.00**	0.00**
Coeficiente de Variación (%)	28.5	28.5
Diferencia mínima significativa (P<0.05)	36.3	3.6

Valores con letras diferentes en la misma columna son significativamente diferentes (P<0.05).

Cuadro 2. Diferencias en la tasa de emergencia de adultos expresada en hembras, machos y números totales emergidos en líneas de frijol común infestados con *Zabrotes subfasciatus*. Zamorano, Honduras, 2015.

	Emergencia de adultos		
Genotipos	Hembras	Machos	Total
PM2-Don Rey	58.4 A	58.8 A	117.2 A
XRAV 40-4	54.8 A	46.4 AB	101.2 AB
Amadeus 77	51.2 A	49.2 AB	100.4 AB
ICTA Ligero	50.2 A	35.0 BC	85.2 B
Verano	50.0 A	34.8 BC	84.8 B
Aifi Würiti	47.2 A	43.0 B	90.2 AB
Tío canela 75	21.6 B	25.0 CD	46.6 C
PR 1429-3	12.0 BC	10.6 DE	22.6 CD
Surú	5.8 BC	9.2 E	15.0 D
PR 1429-4	4.2 C	7.4 E	11.6 D
Promedio	35.5	31.9	67.5
Probabilidad	0.00**	0.00**	0.00**
Coeficiente de Variación (%)	36.1	36.4	33.8
Dif. mínima significativa (P<0.05)	8.1	7.3	14.4

Valores con letras diferentes en la misma columna son significativamente diferentes (P<0.05).

Cuadro 3. Diferencias en el porcentaje de emergencia de adultos, periodo de desarrollo e índice de susceptibilidad en líneas de frijol común infestados con *Zabrotes subfasciatus*. Zamorano, Honduras, 2015.

Genotipos	Emergencia (%)	Periodo de desarrollo (días)	Índice de susceptibilidad
Tío Canela 75	45.2 A	39.0 B	4.3 C
Amadeus 77	45.0 A	35.8 C	5.6 AB
PM2-Don Rey	39.4 AB	34.5 CD	6.0 A
Aifi Würiti	37.8 AB	39.8 B	4.9 BC
XRAV 40-4	36.6 AB	33.2 CD	6.0 A
ICTA Ligero	34.0 BC	33.7 CD	5.6 AB
Verano	32.6 BC	34.3 CD	5.6 AB
Surú	27.0 C	46.0 A	2.2 D
PR 1429-3	12.6 D	31.9 D	4.2 C
PR 1429-4	8.80 D	34.0 CD	2.5 D
Promedio	31.9	36.2	4.6
Coeficiente de Variación (%)	21.5	6.5	16.3
Dif. mínima significativa (P<0.05)	4.3	1.49	0.48

Valores con letras diferentes en la misma columna son significativamente diferentes (P<0.05).

Pérdida de peso de la semilla. Las variedades de frijol evaluadas presentaron diferencias significativas (P<0.05) en el porcentaje de pérdida de peso sufrido por la semilla después del ataque de *Z. subfasciatus* (Cuadro 4). La variedad Suru fue la variedad que presentó la menor pérdida de peso con un 1.4%, seguidamente de PR 1429-4 y Tío Canela que también presentaron perdidas menores de peso 14.6% y 14.6%, respectivamente las otras variedades tuvieron un mayor porcentaje de pérdida de peso siendo muy diferentes a las primeras mencionadas. Dichos datos se asemejan a los datos encontrados por Pleités (2014). Aunque las diferencias de las variedades Suru, PR 1429-4 y tío canela parezcan bajas, estas pueden llegar a tener un mayor impacto principalmente en agricultores de subsistencia en el almacenamiento de frijol. Montoya (2001) reporta pérdidas promedios de frijol almacenado por productores de subsistencia y mediana escala (0.5-10 mz) de un 5.6% y 4.7, indicando una pérdida de peso de 10.1 kg y 8.49 kg estas cifras son expresadas monetariamente en $5.3 y $4.4 respectivamente .Estos porcentajes indican una pérdida de alimento de un mes ya que cada familia consume aproximadamente 2.2 kg de frijol por semana.

Cuadro 4. Diferencias en el porcentaje de pérdida de peso de semillas en líneas de frijol común infestados con *Zabrotes subfasciatus*, Zamorano, Honduras, 2015.

Genotipos	Pérdida de peso (%)	
XRAV 40-4	30.4	A
PM2-Don Rey	29.2	A
PR 1429-3	25.6	AB
Amadeus 77	24.6	AB
ICTA Ligero	24.2	AB
Aifi Würiti	20.3	BC
Verano	17.5	BC
PR 1429-4	14.6	C
Tío Canela 75	14.3	C
Surú	1.4	D
Promedio	20.2	
Probabilidad	0.00**	
Coeficiente de Variación (%)	34.4	
Diferencia mínima significativa (P<0.05)	4.4	

Valores con letras diferentes en la misma columna son significativamente diferentes (P<0.05).

Proporción de hembras de *Z. subfasciatus*. La proporción mayor de hembras se presentó en las variedades Tío Canela 75 y Amadeus 77 (>45%), dos variedades comerciales de grano rojo conocidas en Centro América (Cuadro 5). Las líneas PR 1429-3 y PR 1429-4 presentaron las menores proporciones de hembras (<13%), lo que significa menores tasas de ovoposición y daños a las semillas en el ciclo siguiente de *Z. subfasciatus* en frijol almacenado. La importancia en la proporción sexual de *Z. subfasciatus* radica en que al disminuir el número de hembras en relación al total de la población, implicaría una

disminución en el número de oviposición y por lo tanto el daño se vería disminuido (Decheco y Ortiz 1987).

Cuadro 5. Diferencias en proporción de hembras y peso de adultos en líneas de frijol común infestados con *Zabrotes subfasciatus*. Zamorano, Honduras, 2015.

Genotipos	Hembras (%)	Peso adultos (mg)	
		Hembras	Machos
Tío Canela 75	45.2 A	47.4 BC	20.7 CD
Amadeus 77	45.0 A	72.5 AB	34.4 BC
PM2-Don Rey	39.4 AB	93.2 A	49.4 AB
Aifi Würiti	37.8 AB	82.8 AB	46.4 AB
XRAV 40-4	36.6 AB	81.5 AB	45.6 AB
ICTA Ligero	34.0 BC	86.5 A	48.1 AB
Verano	32.6 BC	104.9 A	51.9 A
Surú	27.0 C	10.3 D	11.3 D
PR 1429-3	12.6 D	19.9 CD	10.2 D
PR 1429-4	8.8 D	7.5 D	7.4 D
Promedio	31.9	60.6	31.9
Probabilidad	0.00**	0.00**	0.00**
Coeficiente de Variación (%)	20.9	47.7	39.5
Dif. mínima significativa (P<0.05)	6.4	18.3	8.1

Valores con letras iguales en la misma columna no son significativamente diferentes (P>0.05).

Peso vivo promedio de hembra y machos. El peso vivo varía con la cantidad de gorgojos emergidos en cada tratamiento. El mayor peso de hembras (104.5 m) y de machos (51.9 mg) ocurrió en la variedad Verano (cuadro 5). ICTA Ligero también presentó un peso de hembras alto (86.5 mg). Los pesos de hembras más bajos fueron en Surú, PR 1429-3 y PR 1429-4 (<20 mg); y de machos fueron en las mismas líneas (<12 mg). Especificando que el peso total de las hembras en este estudio está relacionado con el total de emergencia final que tuvo cada variedad. Según, (Davies, 1997) el peso de la hembra es aproximadamente una y media veces el peso del macho. El peso total menor de las hembras se debe como resultado del efecto antibiótico presente en las variedades resistentes, donde la emergencia de adultos se reduce significativamente y los individuos que logran sobrevivir se ven afectados por su tamaño y su peso reducido.

Este comportamiento puede explicarse por el dimorfismo sexual que presenta esta especie, donde el macho es de menor tamaño que la hembra. (Velez, 1997).Otro factor importante sería la resistencia como medio de control que se puede estimar con el tamaño pequeño y el bajo peso de las especímenes. Una variedad resistente actúa sobre la fisiología del insecto y se manifiesta, entre otras características, en un menor tamaño y baja fecundidad de este. (González, 1986).

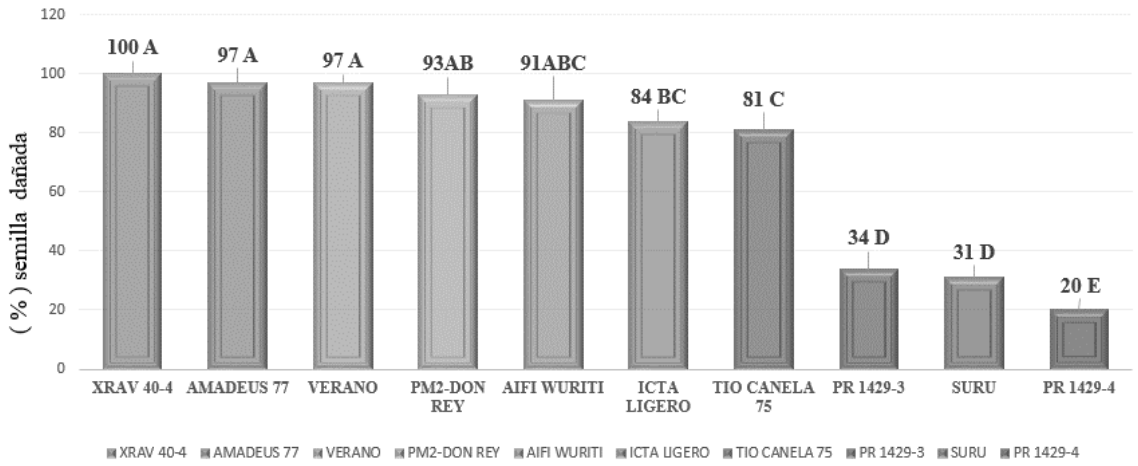

Figura1. Promedios y desviación estándar del porcentaje de semilla dañada por *Z. subfasciatus* de diez variedades de frijol común a 27 ± 3 °C y 72± 7.5% de humedad relativa. Coeficiente de variación= 11%.

Porcentaje de semilla dañada. Estos datos se calcularon hasta después de los 56 DDI, cuando ocurrió la emergencia del último adulto de *Z. subfasciatus*, cuantificándose el número de semillas perforadas que presentaban por lo menos un agujero. Los mayores daños de la semilla fueron en las variedades de XRAV 40-4, Amadeus 77 y Verano (>97%); y los menores en la línea PR 1429-4, seguida de PR1429-4 y Surú (Figura 6) Según (Schoonhoven, 1998) los daños causados por Zabrotes subfasciatus se pueden clasificar en daños por cantidad que sería el porcentaje de semilla dañada o daños por calidad que sería granos contaminados de excrementos de cuerpos de los mismos insectos. Dentro de los daños causados por los bruchidos, también se incluye la perdida de la germinación y los daños causados por el ataque de patógenos, debido a que las perforaciones son una puerta de entrada por hongos y bacterias. El porcentaje bajo de semilla dañada que presento PR 1429-4, Suru y PR1429-3 posiblemente se debe a la resistencia genética de la que nos informa (Cardona, 1997) donde dice que es el mejor método de control de plagas que afectan a los cultivos y también reduce a la dependencia del uso de insecticidas sintéticos y es duradero.

4. CONCLUSIONES

- Los materiales genéticos que mostraron resistencia al ataque de *Zabrotes subfasciatus* fueron las líneas PR 1429-4 y Surú.

- El mecanismo de resistencia mostrado en los materiales PR 1429-4 y Surú sugieren la presencia de antibiosis.

- La ovoposición expresada en total de huevos ovipositados, el promedio de huevo/hembra y un menor número de adultos totales emergidos, resultó en un menor daño de semillas y una menor tasa de infestación.

- La variedad comercial Amadeus 77 presento tasas bajas de ovoposición y de emergencia de adultos, sin embargo presento un alto porcentaje de daños en la semilla, por lo que se le considera como susceptible a *Z. subfasciatus*.

5. RECOMENDACIONES

- Evaluar un segundo ciclo de infestación de *Zabrotes subfasciatus* en las variedades que mostraron resistencia.

- Evaluar otras líneas de frijol para descubrir nuevos genotipos resistentes al ataque de *Zabrotes subfasciatus.*

- Evaluar en futuros estudios la resistencia de los materiales estudiados a la otra plaga del frijol almacenado, *Acanthoscelides obtectus*.

6.LITERATURA CITADA

Base SAS® 9.3 TS1M2. SAS Institute Inc., Cary, NC.

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. p90-98.

Cardona, C., Kornegay, J., Posso, C., Morales, F. 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. Posso, C. Kornegay, J. Valor, J. 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). 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 de CIAT.45p.

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.

Consejo Regional de Cooperación Agrícola (CORECA). 1999. El mercado mundial del frijol y sus vinculaciones con el mercado centroamericano. San José, Costa Rica, IICA.100p.

Cope, J. y C. Fox. 2003. Oviposition decisions in the seed beetle *Callosobruchus maculaatus* (Coleoptera:Bruchidae): Effects of seed size on super-parasitism. Journal of Stored Products Research 39:355-365.

González, V., Roche, R. y M. Simanca. 1984. Ciclo de vida de *Zabrotes subfasciatus* (Coleoptera:Bruchidae), plagas de granos almacenados. Ciencia de la Agricultura 21:25-30.

Harmsen, R. Bliss, F. Cardona, C. Posso y T. Osbor.1988. Transferring genes for arcelin protein from wild to cultivated beans: implications for bruchid resistance. Annual report of Bean Improvement Cooperative, 31:54-55.

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.

Mazzoneto, F. y J. Boica. 1999. Determinación de dos tipos de resistencia de genotipos de frijol al ataque de *Zabrotes subfas*ciatus (Boh) (Coleoptera:Bruchidae), Memorias de la Sociedad Entomológica de Brasil 28(2):307-311.

Miranda, J.E., Toscano, L.C. 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.

Moreira Guerra, V.1994. Ciclo de vida de *Zabrotes subfasciatus* (Boheman) en genotipos locales de frijol común en Honduras. Tesis Ing. Agr., El Zamorano, Honduras, Escuela Agrícola Panamerica.84p.

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.

Ulloa, J. Rosas, P. Ramírez, J. B., Ulloa. 2011. El frijol (*Phaseolus vulgaris*): su importancia nutricional y como fuente de fotoquímicos. Revista Fuente 3(8):5-9.

Utida, S. 1967. Collective oviposition and larval aggregation in *Zabrotes subfasciatus* (Boh) (Coleoptera, Bruchidae). Journal of Stored Products Research 2:315-322.

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.

Voysest Voysest, O. 2000. Mejoramiento Genético del Frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) Legado de Variedades de América Latina 1930-199. Cali, Colombia, Centro Internacional de Agricultura Tropical.195p.

7. ANEXOS

Anexo 1. Cuadro de Control de temperatura y humedad relativa para el primer ciclo.

Semanas	Temperatura (°C)			% Humedad Relativa Promedio
	Máxima	Mínima	Promedio	
1	29	25	27	64
2	29	25	26	64
3	29	25	26	62
4	30	25	27	59
5	30	25	26	64
6	31	25	28	56
7	30	26	28	61
8	29	24	30	65
9	30	25	28	62
TOTAL	31	24	27	62

Anexo2. Correlaciones entre variables evaluadas.

Prob > |r| under H0: Rho=0										
Observaciones	**Total Machos Emergidos**	**Total Hembras Emergidas**	**Total Huevos**	**Promedio Huevo Hembra**	**Total Adultos Emergidos**	**Porcentaje Eclosión Adultos**	**Porcentaje Proporción Hembra**	**Días Primer Emergido**	**Día de Ultimo Emergido**	**Tiempo de Desarrollo**
Total Machos Emergidos	1	0.86989 0.0552	-0.0902 0.8853	-0.09018 0.8853	0.96229 0.0087	0.981 0.0031	0.89753 0.0388	-0.37419 0.5349	0.68357 0.2032	-0.02464 0.9686
Total Hembras Emergidas	0.86989 0.0552	1	0.02552 0.9675	0.02552 0.9675	0.97126 0.0058	0.94225 0.0165	0.92448 0.0246	-0.30815 0.614	0.34261 0.5725	-0.28811 0.6383
Total Huevos	-0.09018 0.8853	0.02552 0.9675	1	1 <.0001	-0.02944 0.9625	-0.11881 0.8491	0.255 0.6789	0.93914 0.0179	-0.0055 0.993	0.61626 0.2683
Promedio Huevo Hembra	-0.09018 0.8853	0.02552 0.9675	1 <.0001	1	-0.02944 0.9625	-0.11881 0.8491	0.255 0.6789	0.93914 0.0179	-0.0055 0.993	0.61626 0.2683
Total Adultos Emergidos	0.96229 0.0087	0.97126 0.0058	-0.0294 0.9625	-0.02944 0.9625	1	0.99303 0.0007	0.94295 0.0162	-0.35051 0.563	0.5188 0.3704	-0.17078 0.7836
Porcentaje Eclosión Adultos	0.981 0.0031	0.94225 0.0165	-0.1188 0.8491	-0.11881 0.8491	0.99303 0.0007	1	0.91583 0.0289	-0.42684 0.4735	0.55917 0.3271	-0.17998 0.7721
Porcentaje Proporción Hembra	0.89753 0.0388	0.92448 0.0246	0.255 0.6789	0.255 0.6789	0.94295 0.0162	0.91583 0.0289	1	-0.08054 0.8976	0.4267 0.4737	-0.03528 0.9551
Días Primer Emergido	-0.37419 0.5349	-0.30815 0.614	0.93914 0.0179	0.93914 0.0179	-0.35051 0.563	-0.42684 0.4735	-0.08054 0.8976	1	-0.07538 0.9041	0.71377 0.1757
Día de Ultimo Emergido	0.68357 0.2032	0.34261 0.5725	-0.0055 0.993	-0.0055 0.993	0.5188 0.3704	0.55917 0.3271	0.4267 0.4737	-0.07538 0.9041	1	0.57488 0.3106
Tiempo de Desarrollo	-0.02464 0.9686	-0.28811 0.6383	0.61626 0.2683	0.61626 0.2683	-0.17078 0.7836	-0.17998 0.7721	-0.03528 0.9551	0.71377 0.1757	0.57488 0.3106	1

Anexo3. Análisis de Regresión Lineal para las variables evaluadas.

Variable	DF	Parameter Estimate	Standard Error	t Value	Pr > |t|	Variance Inflation
Intercept	1	4.02546	0.82816	4.86	<.0001	0
TMEmergidos	1	0.03051	0.01478	2.06	0.0454	25.62145
PHuevo_hembra	1	0.05916	0.02912	2.03	0.0487	20.93554
TAEmergidos	1	-0.01621	0.00934	-1.73	0.0903	46.08594
PEclosion_Adultos	1	0.05204	0.01277	4.07	0.0002	8.33824
PProporcion_hembra	1	0.02677	0.00573	4.67	<.0001	1.94444
dultimo_emergido	1	0.04511	0.01767	2.55	0.0145	2.66326
tdesarrollo	1	-0.15484	0.02200	-7.04	<.0001	2.86655

Índice de Susceptibilidad = 4.02 + Total de Machos emergidos (0.03) + Promedio de Huevo por Hembra (0.059) + % de Eclosión de adultos (0.052) + % Proporción de Hembras (0.026) + Día Ultimo Emergido (0.045) – tiempo de Desarrollo (0.154)