



SECCIÓN CIENCIAS AGRARIAS Y DE LA PESCA

Artículo original de investigación

Bases para el mejoramiento genético de la resistencia de *Phaseolus vulgaris* L. frente a la especie de brúquido más frecuente y abundante en Mayabeque

Alexis Lamz Piedra ^{1*} <https://orcid.org/0000-0002-7668-1979>
Marilyn Florido Bacayao ¹ <https://orcid.org/0000-0001-7062-1361>
Belkis Peteira Delgado-Oramas ² <https://orcid.org/0000-0002-8491-2589>
Moraima Suris Campo ² <https://orcid.org/0000-0002-7032-8250>
María Isabel Gómez Jiménez ³ <https://orcid.org/0000-0002-5101-3157>
José Cruz Jiménez Galindo ⁴ <https://orcid.org/0000-0002-7543-444X>
Guadalupe Isela Olivas Orozco ⁵ <https://orcid.org/0000-0001-8242-8614>
Francisco Javier Molina-Corral ⁵ <https://orcid.org/0000-0001-7377-7409>
Luis Fernando Londoño Hernández ³ <http://orcid.org/0000-0003-0384-6055>
Eliana del Pilar Macea Choperena ³ <https://orcid.org/0009-0006-4370-4157>

¹ Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. Mayabeque, Cuba

² Grupo de Plagas Agrícolas, Dirección de Sanidad Vegetal, Centro Nacional de Sanidad Agropecuaria. Mayabeque, Cuba

³ Programa de frijol, Centro Internacional de Agricultura Tropical. Cali, Colombia

⁴ Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Chihuahua, México

⁵ Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo Chihuahua, México

* Autor para la correspondencia: alamzp@gmail.com

RESUMEN

Introducción: Las plagas de almacén afectan el grano del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en Cuba. **Objetivo:** Evaluar el comportamiento de genotipos de frijol común de diferente procedencia frente a la especie más frecuente y abundante de brúquidos en almacenes de Mayabeque. **Métodos:** Se determinó la frecuencia y abundancia entre *Zabrotes subfasciatus* Boh. y *Acanthoscelides obtectus* Say. en condiciones de campo y almacén. Se evaluaron diferentes mecanismos de resistencia ante *Z. subfasciatus* en genotipos de diferentes procedencias, su relación con rasgos morfológicos, nutricionales, moleculares y presencia de compuestos volátiles. Se caracterizaron agromorfológicamente genotipos resistentes a *Z. subfasciatus*. **Resultados:** *Z. subfasciatus* fue más frecuente y abundante en almacenes de Mayabeque y los cultivares comerciales cubanos evaluados fueron susceptibles frente a esta especie. Las accesiones silvestres y las líneas mejoradas presentaron resistencia ante esta plaga por el efecto antibiosis de las arcelinas: Arc1, Arc6, Arc7, Arc5 y Arc4, en ese orden. La resistencia no estuvo asociada a las características morfológicas, ni al contenido de minerales (Fe y Zn) de las semillas. El marcador molecular polimorfismo de un solo nucleótido Phvul.004G160500 permitió identificar individuos resistentes y susceptibles con alto grado de asociación. La accesión G11051 presentó resistencia antixenótica frente a individuos adultos del insecto, posiblemente debido a una mayor emisión de compuestos volátiles. Las líneas RAZ mostraron variabilidad genética y caracteres de interés agronómico

Editor

Lisset González Navarro
Academia de Ciencias de Cuba.
La Habana, Cuba

Traductor

Darwin A. Arduengo García
Academia de Ciencias de Cuba.
La Habana, Cuba

como precocidad y alto rendimiento. **Conclusiones:** Los resultados constituyen la base para el mejoramiento genético de la resistencia a *Z. subfasciatus* en frijol como apoyo al manejo integrado de plagas.

Palabras clave: resistencia; antibiosis; antixenosis; minerales; rendimiento

Bases for the genetic improvement of *Phaseolus vulgaris* L. resistance against the most common and abundant bruchid species in Mayabeque

ABSTRACT

Introduction: Storage pests affect bean grains (*Phaseolus vulgaris* L.) in Cuba. **Objective:** To evaluate the response of common bean genotypes from different origins against the most frequent and abundant bruchid species in storage facilities in Mayabeque. **Methods:** The frequency and abundance of *Zabrotes subfasciatus* Boh. and *Acanthoscelides obtectus* Say. were determined under field and storage conditions. Different resistance mechanisms against *Zabrotes subfasciatus* were assessed in genotypes from various origins, along with their relationship with morphometric traits, nutritional factors, molecular markers, and the presence of volatile compounds. Agromorphological traits of *Zabrotes subfasciatus*-resistant genotypes were characterized. **Results:** *Zabrotes subfasciatus* was the most frequent and abundant species in Mayabeque storage facilities, and the Cuban commercial cultivars evaluated were susceptible to this species. Wild accessions and RAZ lines exhibited resistance to this pest due to the antibiosis effect of arcelins (Arc1, Arc6, Arc7, Arc5, and Arc4, in that order). Resistance was not associated with morphometric traits or seed mineral content (Fe and Zn). The Single Nucleotide Polymorphism molecular marker *Phvul.004G160500* reliably distinguished resistant and susceptible individuals with a high degree of association. The G11051 accession showed antixenotic resistance against adult insects, possibly due to higher emissions of volatile compounds. The RAZ lines displayed genetic variability and agronomically desirable traits such as early maturity and high yield. **Conclusions:** These results provide a foundation for breeding *Zabrota subfasciatus*-resistant beans in support of Integrated Pest Management

Keywords: resistance; antibiosis; antixenosis; minerals; yield

INTRODUCCIÓN

La postcosecha del frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) es un período crítico debido a que el grano es afectado por plagas de almacén que causan pérdidas de peso en seco, que pueden alcanzar entre 50 %-70 % en la mayoría de las instalaciones de almacenamiento de los agricultores, por la falta de prácticas adecuadas de gestión. ⁽¹⁾ Los artrópodos *Zabrotes subfasciatus* (Boh.) y *Acanthoscelides obtectus* (Say), pertenecientes al orden Coleoptera: Chrysomelidae son las principales plagas a nivel mundial que dañan los granos de frijol almacenados. ⁽²⁾ En Cuba se encuentran ambas especies, aunque no está determinada cual aparece con mayor frecuencia y abundancia en el frijol almacenado. ⁽³⁾

El manejo de las poblaciones de estos insectos se realiza de manera convencional con la aplicación de insecticidas químicos. Esta práctica eleva los costos de producción, contamina el medio ambiente, elimina los enemigos naturales y puede provocar la aparición de poblaciones insecto-resistentes al producto, por lo que el tratamiento resulta inefectivo. ⁽¹⁾ La necesidad de manejar las poblaciones de estas plagas con prácticas más amigables con el medio ambiente ha hecho que el uso de cultivares resistentes sea una alternativa eficiente que permite reducir el daño causado y disminuir el uso de plaguicidas durante el período de almacenaje del grano. ⁽⁴⁾

En Cuba no se ha informado sobre el uso de esta práctica en el manejo de las mencionadas plagas. Por ello el estu-

dio e identificación de fuentes de resistencia que puedan ser incorporadas en cultivares comerciales son investigaciones que merecen ser priorizadas, con vistas a la inclusión de genotipos resistentes en la estrategia de manejo integrado de plagas (MIP). Los avances en la búsqueda de resistencia a estos brúquidos fueron posibles por la presencia, en accesiones silvestres, de frijol del locus complejo APA (del inglés: Arcelin, Phytohemagglutinin and α -Amylase inhibitors).

En este locus se encuentran ubicados los genes que codifican para la síntesis arcelina (Arc), una proteína de almacenamiento que se ha informado como la fuente de resistencia más importante para el control de los brúquidos.⁽⁵⁾ Hasta la fecha se han identificado 8 variantes alélicas de arcelinas, las cuales confieren diferentes niveles de resistencia ante *Z. subfasciatus* y *A. obtectus*, sin embargo, en Cuba no se han realizado estudios para su identificación en los materiales disponibles en el país.^(6,7)

Las tendencias actuales del mejoramiento genético se enfocan en la selección a través de diferentes marcadores que permiten reducir el costo y el tiempo del proceso de selección.⁽⁸⁾ Evaluar la relación de la resistencia a brúquidos con otras características que puedan servir como marcadores permitirá implementar la selección asistida, en lugar de la selección fenotípica. En los últimos años el interés por adoptar dietas saludables ha llevado a varias estrategias para atenuar el problema de las carencias de micronutrientes a través de la mejora genética del perfil nutricional de los productos alimenticios.⁽⁹⁾

El frijol común es uno de los cultivos objetivo de la biofortificación dado por la variabilidad genética en la acumulación de Fe y Zn en semillas de diferentes genotipos, pero ello pre-supone un problema si se desea mejorar la resistencia a *Z. subfasciatus* y en los mismos cultivares se desea mejorar el contenido de los minerales Fe y Zn, por lo que se hace necesario conocer cómo se relaciona la resistencia a *Z. subfasciatus* con el contenido de estos minerales.⁽¹⁰⁾ Asimismo, se requiere investigar la posible relación entre la resistencia y aspectos morfométricos de las semillas dado que estas características determinan las preferencias de consumo.

Por otra parte, los daños ocasionados por la puesta de huevos en la testa de las semillas, en particular por *Z. subfasciatus*, reducen la calidad del grano, por lo que la búsqueda de otros mecanismos asociados a la resistencia y dirigidos a minimizar la oviposición en la testa es igualmente importante y requieren ser investigados. Entre estos posibles mecanismos la antixenosis basada en la producción de compuestos volátiles (COV) producidos en plantas es una opción interesante que no ha sido investigada en genotipos resistentes a estos insectos.⁽¹¹⁾

Como parte del proceso de introducción-selección de los nuevos cultivares foráneos o nacionales, ya sea a la práctica productiva o al programa de mejoramiento genético, se requiere del conocimiento del comportamiento de dichos materiales en los ambientes meta. Por ello es necesaria la caracterización de estos genotipos. El objetivo de este trabajo fue evaluar el comportamiento de genotipos de frijol común de diferente procedencia frente a la especie más frecuente y abundante de brúquidos en almacenes de Mayabeque.

MÉTODOS

La investigación constó de 3 etapas. Primeramente, se determinó entre las 2 especies de mayor importancia para el frijol almacenado cuál era la de mayor frecuencia y abundancia en condiciones de campo y almacén. En la segunda etapa se evaluaron diferentes mecanismos de resistencia ante la especie más frecuente en almacén y su relación con características morfométricas de las semillas, el contenido de minerales Fe y Zn, el marcador SNP: Phvul. 004G160500 asociado al locus APA y la presencia de COV en semillas. Finalmente, en la tercera etapa se caracterizaron en campo líneas experimentales que resultaron resistentes (figura 1).

Especie más frecuente y abundante entre *Zabrotes subfasciatus* Boh. y *Acanthoscelides obtectus* Say. en frijol en condiciones de campo y de almacén. Primera etapa

Se desarrollaron 3 experimentos en el laboratorio de genética y mejoramiento de las plantas del INCA; el experimento 1 y 2 para determinar la frecuencia en condiciones de campo y el experimento 3 para la frecuencia en condiciones de almacén.

Para el experimento 1 se tomaron vainas al azar a partir de la madurez fisiológica y con una sistematicidad de cada 7 días, de 3 cultivares comerciales (Velazco Largo, Cuba Cueto 25-9N, Chévere), que se desarrollaron en parcelas de producción de semillas comercial en el área experimental del INCA.⁽³⁾ Las vainas se trasladaron al laboratorio y se colocaron por 35 días, en recipientes de cristal (27 cm de diámetro por 15 cm de alto) tapados con una malla antiáfidos, en condiciones de temperatura de $27^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, $70\% \pm 10\%$ de humedad relativa y en oscuridad total. Este procedimiento se repitió hasta los 28 días después de la madurez fisiológica según cultivar. Se evaluó el número de adultos emergidos de cada especie.

En el experimento 2 se recolectaron al azar 300 vainas en el momento óptimo de madurez de cosecha en cultivares de frijol que estaban en producción, durante la campaña productiva de 2019-2020, en 6 áreas experimentales y de producción de 5 municipios de la provincia Mayabeque (Nueva

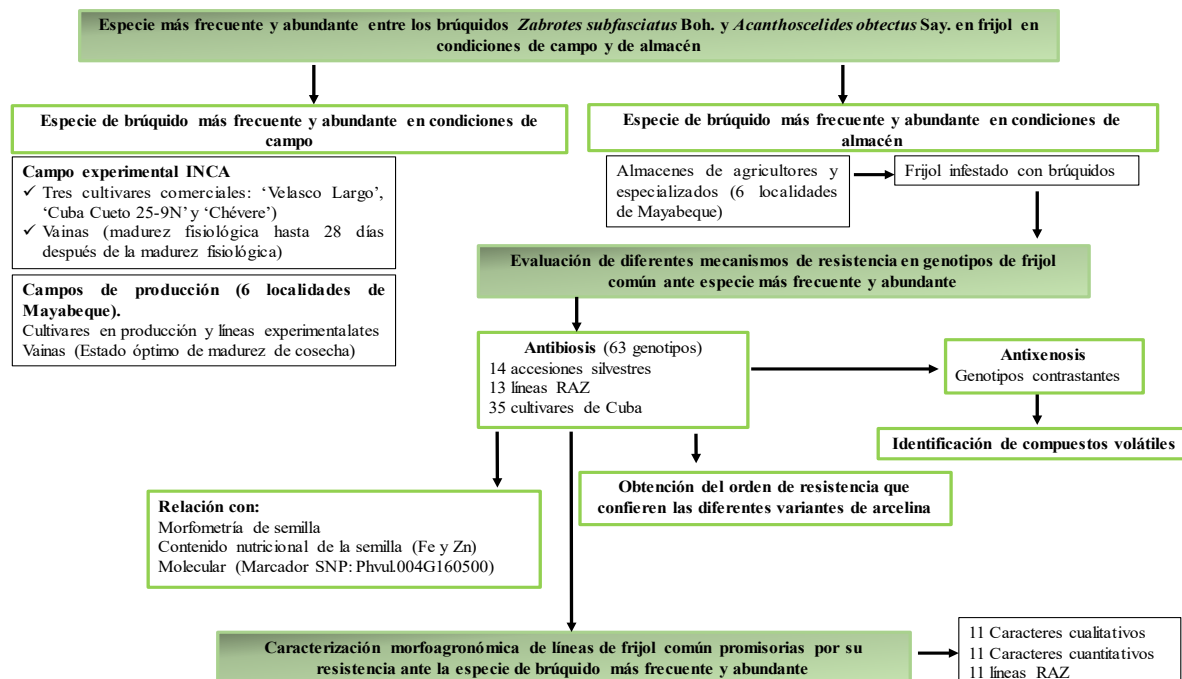


Fig. 1. Flujograma general de trabajo

Paz, San Nicolás de Bari, Güines, Melena del Sur y San José de las Lajas). Con las vainas recolectadas se siguió el procedimiento descrito en el experimento 1 con 10 repeticiones de 30 vainas cada una.

Para el experimento 3 se tomaron 19 muestras de granos de frijol infestados con brúquidos en almacenes de agricultores, entidades de comercio y germoplasma de la provincia Mayabeque (municipios: Melena del Sur, Güines, Madruga, San Nicolás de Bari y San José de las Lajas). Posteriormente, de cada muestra se tomaron 6 submuestras de 60 g cada una y se colocaron en recipientes cilíndricos de cristal en las condiciones descritas en el experimento 1.

Cada 7 días y hasta un máximo de 28 días se contabilizó el número de adultos emergidos y se identificó el género y la especie de brúquido adulto emergido con las claves propuestas por varios autores.^(12,13) Los experimentos se realizaron bajo un diseño completamente aleatorizado. Los experimentos 1 y 3 constaron con 6 repeticiones y en el experimento 2 se realizaron 10 repeticiones.

La especie más frecuente se determinó mediante el porcentaje de aparición en el total de las muestras analizadas. Se realizó un ANOVA de clasificación simple. Para determinar si entre las medias existían diferencias significativas se utilizó la prueba de comparaciones múltiples de Tukey ($p \leq 0,05$).

Evaluación de diferentes mecanismos de resistencia en genotipos de frijol común frente a *Z. subfasciatus*. Relación con rasgos morfoagronómicos, nutricionales, moleculares y presencia de COV.

Etapas 2

Se utilizó una población de *Z. subfasciatus* que se mantenía en un cuarto de cría del CIAT sobre el cultivar susceptible ICA Pijao y en condiciones ambientales controladas de $27 \pm 2^\circ\text{C}$ y humedad relativa del $70 \pm 5\%$.⁽¹⁴⁾ Se evaluó la antibiosis en 63 genotipos. De ellos 14 accesiones silvestres de *P. vulgaris* portadoras de 7 de las 8 variantes de arcelina que confieren resistencia ante los diferentes brúquidos; 13 líneas experimentales, denominadas RAZ, del programa de mejoramiento para resistencia a *Z. subfasciatus* del CIAT y con fuente de arcelina conocida y 35 cultivares comerciales de Cuba.⁽³⁾ Se utilizaron como testigos susceptibles ICA Pijao y Calima.⁽¹⁴⁾ Para la evaluación de la resistencia se aplicó la metodología diseñada en el CIAT.^(15,16)

Las evaluaciones consistieron en emergencia de adultos y se calculó el porcentaje de emergencia (PE), días a la emergencia de adultos (DEA) y el índice de susceptibilidad (Is). Con los valores de PE se clasificó la resistencia de los materiales en resistentes (R): $PE \leq 15,0$; intermedios (I): $15,1 \leq PE \leq 30,0$ y susceptibles (S): $PE \geq 30,1$ y con el Is se realizó una segunda clasificación de la resistencia en: re-

sistentes (R): $Is \leq 3,0$; intermedios (I): $3,1 \leq Is \leq 5,0$ y susceptibles (S): $Is \geq 5,1$. A estas variables se les determinó el intervalo de confianza ($p \leq 0,05$). Para obtener el orden de resistencia que confirió cada variante de arcelina como promedio se desarrollaron grupos independientes de todos los genotipos que correspondían a una variante y se promediaron los PE.

Para determinar la relación entre los rasgos morfométricos y nutricionales de las semillas con el nivel de resistencia en los 63 genotipos utilizados (etapa 2) se desarrollaron análisis de la forma lateral de la semilla. Los caracteres morfométricos se evaluaron usando descriptores fenotípicos basados en el análisis digital de imágenes que incluyeron: área, ancho, largo, perímetro, aspecto radio y redondez. ^(17,18) Además, se determinó el contenido de los minerales Fe y Zn por fluorescencia de rayos X por energía dispersiva (XRF-ED). ⁽¹⁹⁾ Para el análisis de los datos se desarrollaron correlaciones simples de Pearson entre el PE como criterio de resistencia y el resto de las variables.

Detección del marcador molecular tipo SNP: Phvul.004G160500, asociado al locus APA

El análisis de la presencia del marcador SPN (polimorfismo de un solo nucleótido) Phvul.004G160500 se realizó en los 63 genotipos con resistencia conocida (etapa 2) y se incluyeron los testigos resistentes MAZ 13 y MAZ 42 y susceptible CAL 96. ⁽²⁰⁾ Se realizó la extracción del ADN genómico de tejido fresco y se verificó la concentración y la calidad del ADN. ⁽²²⁾

La región blanco de las amplificaciones fue el marcador SNP: Phvul.004G160500, asociado al locus APA. Los 3 cebadores que se utilizaron (2 delanteros específicos y el cebador reverso común) se diseñaron en el laboratorio de frijol de CIAT y están en proceso de patente. La amplificación del SNP se realizó por PCR en tiempo real homogénea y específica y el análisis de las curvas de disociación se hizo a través del método de cambio de temperatura de fusión. ⁽²³⁾ Para ello se analizaron e interpretaron las curvas de las temperaturas de fusión para el alelo de referencia A (78 °C-79 °C) y el alelo alternativo G (82 °C-83 °C).

Resistencia antixenótica

Se utilizaron 2 genotipos contrastantes: ICA Pijao clasificado como susceptible y G11051 clasificado como resistente (etapa 2). La infestación con la especie de insecto más frecuente se realizó según lo descrito anteriormente, sin limitar la oviposición a las semillas, ya que no se colocaron las lijas en los frascos. ^(15,16)

Pasados 30 min después de la infestación se evaluó el porcentaje de repelencia (tiempo en minutos que los insectos adultos estaban separados de las semillas) cuantificando du-

rante 240 minutos los insectos que no preferían estar sobre o cercanos a las semillas (1 cm o más), con un intervalo de 30 min entre las evaluaciones. Posteriormente, se aplicó la fórmula siguiente: Porcentaje de repelencia

$$PR = \frac{ISS}{IT} * 100$$

donde ISS es insectos separados de las semillas 1,0 cm o más;

IT es insectos totales en F0 (insectos parentales).

Además, se cuantificaron los huevos totales (HT), huevos sobre las semillas (HSS) y el número de huevos en las paredes del recipiente (HR) y se calcularon los porcentajes de huevos en el recipiente (PHR) y de huevos sobre las semillas (PHSS) con las fórmulas siguientes:

$$PHR = \frac{HR}{HT} * 100$$

y

$$PHSS = \frac{HSS}{HT} * 100$$

Identificación de compuestos orgánicos volátiles

La identificación de compuestos orgánicos volátiles (COV) se realizó en semillas de los genotipos ICA Pijao y G11051 mediante la técnica de microextracción en fase sólida de espacio de cabeza acoplada a cromatografía de gases con detectores de espectrometría de masas. ⁽²⁴⁾ Las medias de los datos se compararon mediante la prueba T de Student ($p \leq 0,05$).

Caracterización agronómica de líneas de frijol su resistencia a *Z. subfasciatus*. Etapa 3

El experimento se desarrolló en el área experimental del INCA sobre un suelo nitrisol ferráltico lúxico. ⁽²⁵⁾ Se caracterizaron las 13 líneas RAZ resistentes *Z. subfasciatus* según resultados de la etapa 2. Las líneas se sembraron en una parcela de 2 hileras de 2 m de longitud, separadas a 0,75 m y una distancia entre plantas de 0,08 m y bajo las atenciones culturales establecidas para frijol en Cuba. ⁽³⁾

Se analizaron 22 caracteres cuantitativoscolor predominante de los cotiledones, del hipocotilo, de las alas de la flor, de la vaina en madurez fisiológica; color primario de la semilla, hábito predominante de crecimiento del tallo; perfil predominante de la vaina; forma predominante del ápice de la vaina; aspecto predominante de la testa; presencia de color alrededor del hilo y forma predominante de la semilla. Y caracteres cualitativos días a la germinación, días al inicio de la floración, días a la floración, días a la madurez fisiológica, días a la madurez de cosecha, número de vainas por plantas, número de granos por vaina, longitud del grano, ancho del grano, masa de 100 granos y rendimiento. ⁽²⁶⁾

Se determinó la frecuencia de aparición de las variantes evaluadas para cada carácter cualitativo estudiado. Se utilizó un diseño de bloque al azar con 3 réplicas. A los caracteres cuantitativos se les calcularon los estadígrafos básicos: media, desviación estándar y coeficiente de variación. Se realizó un análisis de componentes principales (ACP) con los caracteres cuantitativos y se agruparon las líneas según su relación con cada carácter. Todos los análisis estadísticos se realizaron con el uso del programa estadístico IBM SPSS Statistics, versión 22.0.

RESULTADOS

En las muestras recolectadas en campo solo se identificó la especie *A. obtectus*. Se detectaron pocos adultos emergidos de *A. obtectus* (entre 1 y 7) a partir de las vainas recolectadas en campo (figura 2).

Al analizar si la especie *A. obtectus* infestó en estado óptimo de madurez de cosecha no se detectó la presencia de insectos en las vainas recolectadas en las 6 localidades de Mayabeque estudiadas.

La especie más frecuente fue *Z. subfasciatus*, la cual se identificó en el 94,73 % de las muestras recolectadas y solo en el 21,05 % de las muestras se identificó la especie *A. obtectus*. Además, esta especie se encontró en mayor abundancia con un número de adultos emergidos que osciló entre 1 insecto y 40 insectos. ⁽²⁷⁾

Se detectó resistencia por antibiosis en las accesiones silvestres y las líneas RAZ ante *Z. subfasciatus*. Las accesiones silvestres (a excepción de G12922) y las líneas RAZ,

presentaron menor NAE (1-35), un alargamiento de los días a emergencia (DEA) (41-62) días después de la infestación y menor PE entre 0,65 % y 24,10 %. Según los valores del PE de las 14 accesiones silvestres de *P. vulgaris* en 11 se clasificaron como resistentes (G02771; G11051, G11051-25-1-2; G11051-31-1; G12866; G12882; G12981-A; G12985, G13029; G24582 y G24584) con PE inferior a 15 %. En 2 accesiones (G12949 y G12981-B) mostraron una respuesta intermedia con PE entre 15,1 % y 30,0 % y G12922 mostró una respuesta susceptible con PE superior a 30,0 %. Las líneas RAZ fueron resistentes, excepto RAZ 63 y RAZ 64, que mostraron una respuesta intermedia. Resulta importante destacar que se identificó un número menor de huevos totales ($42 \pm 23,43$) y de adultos emergidos ($3 \pm 0,57$) y un mayor número de días a emergencia de adultos ($56,7 \pm 9,45$), en la accesión silvestre G11051 ($42 \pm 23,43$).

En las clasificaciones según el *Is* las accesiones silvestres fueron resistentes excepto G12922, que mantuvo la clasificación susceptible según el PE. En las líneas RAZ se ratificó la misma clasificación que se obtuvo con el PE. En los cultivos comerciales de Cuba no se identificó resistencia con ninguno de los parámetros evaluados (figura 3).

El orden de resistencia de las fuentes de Arc que se obtuvo fue $Arc1 > Arc6 > Arc7 > Arc5 > Arc2 > Arc4 > Arc3$. Ésta última es la única variante que no confirió resistencia. En cuanto a la relación entre el nivel de resistencia ante *Z. subfasciatus* y rasgos morfométricos y nutricionales (Fe y Zn) de las semillas no se detectó correspondencia (figura 4). ⁽²⁸⁾

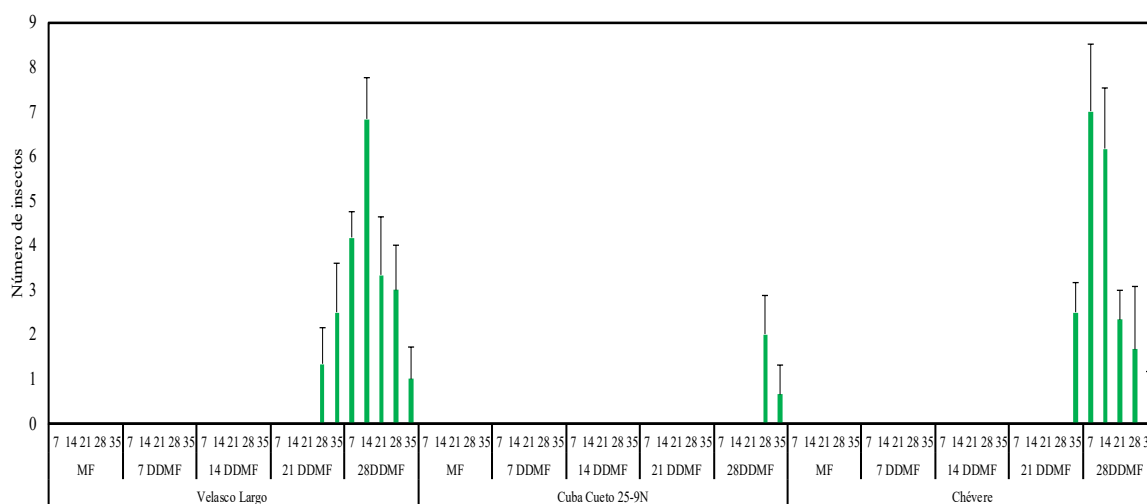


Fig. 2. Valores medios del número de adultos de *A. obtectus* emergidos en el tiempo en vainas recolectadas de 3 cultivares comerciales de frijol común. Leyenda: Las barras en las columnas indican intervalo de confianza ($p \leq 0,05$); MF, madurez fisiológica; DDMF, días después de la madurez fisiológica.

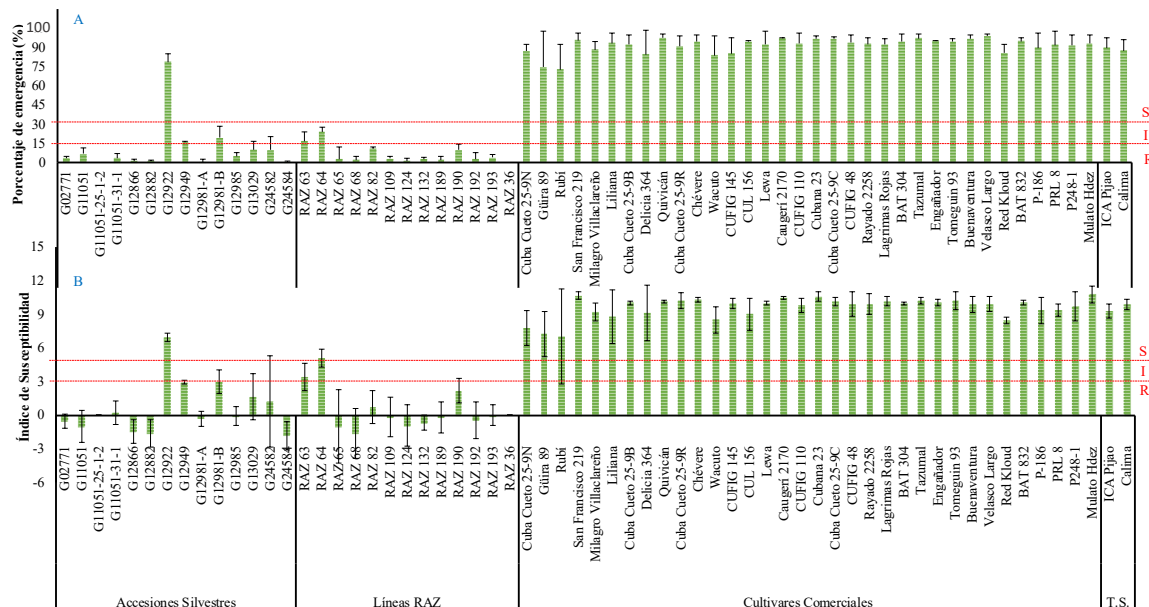


Fig. 3. Clasificación de los niveles de resistencia ante *Z. subfasciatus* en accesiones, líneas y cultivares de frijol común de diferentes procedencias; A, clasificación con el PE; B, clasificación con el Is; (R, I y S). Leyenda: Las barras en las columnas indican el intervalo de confianza ($p \leq 0,05$)

En la amplificación por PCR en tiempo real se detectaron diferencias entre genotipos en la temperatura de fusión para el marcador molecular tipo SNP: Phvul.004G160500. La presencia de este marcador se obtuvo en 83,33 % de coincidencia en la identificación de los genotipos susceptibles y 62,96 % con relación a la identificación de los genotipos resistentes (figura 5).

En cuanto a la evaluación de la repelencia y la preferencia para oviposición de *Z. subfasciatus* encontramos que en todos los momentos de evaluación la accesión G11051 mostró los valores más altos de repelencia o antixenosis en adultos de *Z. subfasciatus* con un promedio de 80 %, mientras que el cultivar ICA Pijao solo mostró 11 % de repelencia. ⁽²⁹⁾ Las semillas de la accesión G11051 fueron menos ovipositadas que las semillas del cultivar ICA Pijao. En G11051 el 72,45 % de los huevos se detectaron en las paredes del recipiente, mientras que en ICA Pijao el 93,0 % de los huevos se detectaron sobre las semillas. Este comportamiento sugiere un efecto de no preferencia para oviposición sobre semillas de la accesión G11051 o lo que se conoce como efecto antixenótico para oviposición.

Identificación de compuestos orgánicos volátiles candidatos

En estos experimentos se demostró las diferencias entre los perfiles cromatográficos de los genotipos estudiados. En total se detectaron 76 COV con gran diversidad química. Entre

los compuestos identificados se encuentran el disulfuro de dimetilo, el limoneno, el (*E*)-2-hexenal y el hexanal con presencia en el G11051 y ausente o menos cuantía en ICA Pijao. Estos se han notificado con efecto repelente, tóxico y en algunos casos, con efecto atrayente sobre algunas plagas.

Caracterización de líneas resistentes a *Z. subfasciatus*

Se observó variabilidad para los caracteres evaluados, con valores de coeficiente de variación que oscilaron entre 7,34 % (considerados bajos) para los días a la madurez de cosecha, hasta superar el 60 % para el rendimiento. ⁽³⁰⁾ Se detectaron caracteres de interés como el color de los granos, los días a la madurez de cosecha (75-91) días, los hábitos de crecimiento que correspondieron con tipo II (arbustivo indeterminado) y III (postrado indeterminado) y alto rendimiento el cual osciló entre 702,00 kgha⁻¹ y 4237,75 kgha⁻¹ con un promedio de 1685,00 kgha⁻¹.

DISCUSIÓN

En el MIP es importante el conocimiento del comportamiento de los diferentes agentes nocivos. Esto facilita el mejor enfoque en la estrategia a seguir durante el manejo, la incorporación de las tácticas más adecuadas y contribuye al ahorro de tiempo y recursos, que en ocasiones son escasos. Además, existe la posibilidad de introducir alternativas más

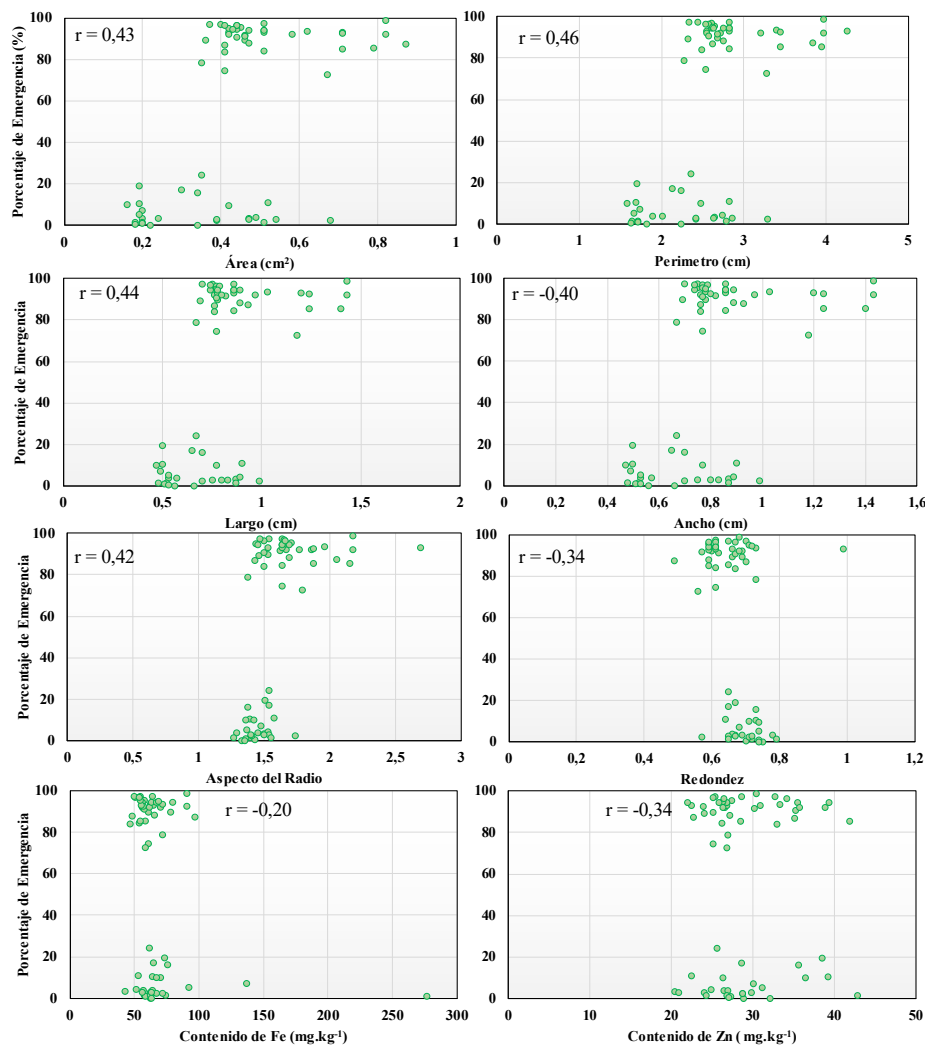


Fig. 4. Diagrama de dispersión entre rasgos morfométricos y nutricionales de las semillas y el porcentaje de emergencia de adultos de *Z. subfasciatus* en 63 genotipos de frijol común

eficientes y amigables con el medio ambiente, para mantener dichos agentes en niveles poblacionales por debajo de los umbrales de daños económicos en los cultivos.

Los resultados de este trabajo permitieron conocer, por primera vez en Cuba, el comportamiento en cuanto a la frecuencia y abundancia de las especies de insectos *Z. subfasciatus* y *A. obtectus* en condiciones de campo con diferentes propósitos, así como en diferentes escenarios donde se almacena el grano de frijol común en la provincia Mayabeque.

Ambos insectos constituyen plagas que afectan el frijol común en el periodo postcosecha y producen pérdidas importantes del grano de frijol. Sin embargo, entre las 2 *Z. subfasciatus* fue la de mayor importancia en condiciones de almacén en los escenarios estudiados. Este resultado permitió

afirmar que el manejo de *Z. subfasciatus* deberá enfocarse con mayor énfasis en una mejor gestión en los almacenes.

El uso de la resistencia varietal es uno de los pilares fundamentales a considerar en el MIP. La utilización de variedades resistentes es una alternativa ventajosa, de fácil utilización, bajo costo, no contamina el medio ambiente y es compatible con otras prácticas agrícolas.⁽³¹⁾ Además, es la primera barrera a la que se enfrentan los insectos al colonizar el cultivo. Se plantea que esta es una de las tácticas que presenta resultados favorables en el manejo de los brúquidos del frijol.

Los resultados del presente trabajo se plantean como favorables para el control de *Z. subfasciatus*, ya que se identificaron genotipos que presentan resistencia tipo antibiosis que produce un efecto deletéreo en la biología del insecto. En este

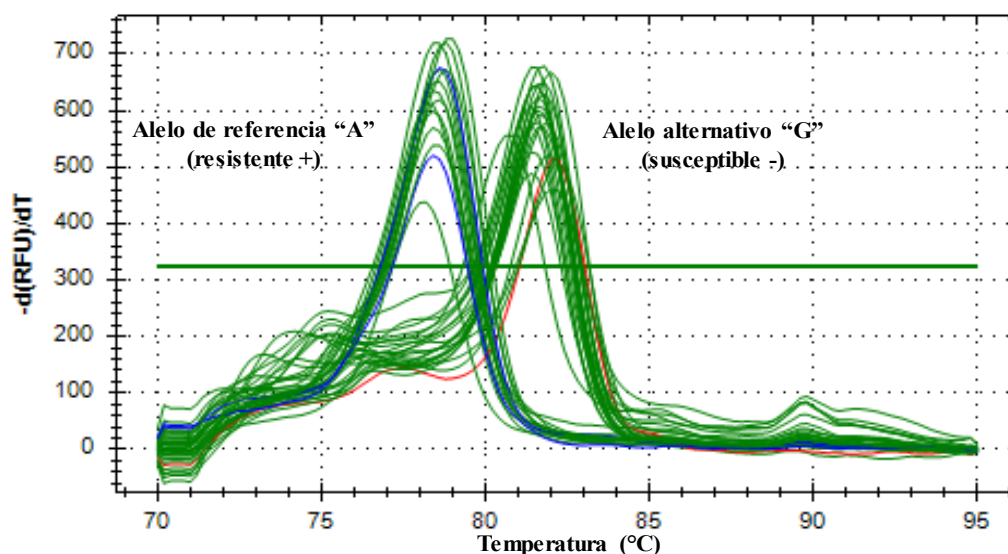


Fig. 5. Curvas de fusión de los 63 genotipos de frijol común analizados con el marcador SNP: Phvul.004G160500. A la izquierda genotipos positivos (controles en color azul MAZ 13 y MAZ 42); a la derecha, genotipos negativos (control en color rojo CAL 96)

caso de estudio en particular la resistencia tipo antibiosis estuvo basada en la función de las arcelinas, proteínas presentes en las accesiones silvestres de frijol común recolectadas en México y que son codificadas por genes ubicados en el locus APA en esos genotipos. ⁽¹⁶⁾ Se informa por primera vez que los cultivares comerciales evaluados en esta investigación fueron susceptibles al ser evaluados en ensayos con el insecto, lo que constituye un aspecto vulnerable para el MIP del frijol común en el país.

Las fuentes de arcelina varían en su grado de resistencia en función de la variante que esté presente en las semillas de los diferentes genotipos. ^(6,7,32) En el presente estudio se actualiza la información en cuanto al orden de resistencia que confieren las arcelinas. El orden de resistencia detectado fue Arc1>Arc6>Arc7>Arc5>Arc2>Arc4>Arc3 y permitió identificar que la variante que mayor resistencia confiere es la Arc1 sin diferir de Arc6, Arc7, Arc5, y Arc2, la variante Arc4 aportó grado de resistencia intermedio y la Arc3 no confirió resistencia.

Según Cardona *et al.*, la variante Arc4 al ser introgresada en cultivares comerciales no confiere resistencia a la progenie. ⁽³²⁾ Si se toma como premisa este aspecto se recomienda la introducción de las variantes Arc1, Arc2, Arc5, Arc6 y Arc7 en los programas de mejoramiento de frijol en Cuba. Estas variantes de arcelinas pueden ser incorporadas en cultivares comerciales a partir de las líneas RAZ que se han mejorado con las fuentes Arc1, Arc2 y Arc5. También se identificó que la variante Arc7 estuvo entre las que mayor grado de resistencia

confirió ante el artrópodo. Ello sugiere la posibilidad del uso de las accesiones silvestres G24582 y G24584 portadoras de dicha variante de la proteína.

Con ello se lograrían cultivares comerciales en Cuba resistentes a *Z. subfasciatus* con la incorporación de las fuentes de Arc1, Arc2, Arc5, Arc6 y Arc7, con una variabilidad amplia en la fuente de resistencia, que permita que esta sea duradera, debido a la convergencia de diferentes cultivares con diferentes genes de resistencia, lo que limitaría la adaptación del insecto. Los nuevos enfoques de los programas de mejora están dirigidos a la búsqueda de cultivares que cumplan con las demandas del mercado y más nutritivos. ⁽³³⁾ En el cultivo del frijol la demanda por las cualidades morfológicas de las semillas define entre los cultivares a explotar en determinadas regiones. Los desórdenes nutricionales son reconocidos como unos de los principales problemas de salud en diferentes regiones a nivel mundial, sobretudo la deficiencia de nutrientes como el Fe y Zn. ⁽³⁴⁾ La fortificación de los alimentos está considerada como una de las estrategias efectivas para prevenir y combatir dichos desórdenes nutricionales. ^(35,36)

Este estudio brinda aportes en este campo ya que no se detectó relación entre la resistencia a *Z. subfasciatus* con las características morfológicas y el contenido de Fe y Zn de la semilla. De este modo, en los programas de mejora, para cumplir con las demandas del mercado y la biofortificación de los alimentos se pueden seleccionar libremente para cualquiera

de los caracteres, sin que una característica determine la otra. La obtención de nuevos cultivares a través del mejoramiento convencional es un proceso considerablemente largo. ⁽³⁷⁾

La selección asistida por marcadores moleculares ha revolucionado el paso y la precisión del análisis genético de las plantas, que a su vez facilitó el mejoramiento molecular de los cultivos. ⁽³⁸⁾ El marcador SPN: Phvul.004G160500 que se utilizó en este trabajo permitió identificar, con alto porcentaje de coincidencia, los individuos que presentaron resistencia y susceptibilidad ante *Z. subfasciatus*. Este resultado permitirá la introducción del uso de este marcador en la selección asistida en el programa de mejoramiento genético para este carácter, con sus considerables beneficios. Es de considerar, que en Cuba se ha consolidado el estudio en plantas a nivel genómico y este aspecto reviste gran importancia para el desarrollo agrícola venidero.

Entre los nuevos enfoques del MIP se presta especial atención a los mecanismos de resistencia que han desarrollado las plantas. Gran parte de estas reacciones de defensa son el reflejo de una gran diversidad bioquímica, resultado de interacciones complejas a lo largo del tiempo. ⁽³⁹⁾ La repelencia de insectos adultos y una menor preferencia para la oviposición de *Z. subfasciatus* que se detectaron en la accesión silvestre G11051 constituyen un nuevo mecanismo de resistencia informado para esta especie. Este resultado abre nuevas pautas en las investigaciones de los mecanismos de resistencia detectados hasta la fecha contra este insecto.

La repelencia se identificó como un mecanismo de defensa contra varias plagas insectiles en diferentes cultivos. ⁽⁴⁰⁾ Los enfoques anteriores para la identificación de resistencia ante *Z. subfasciatus* estaban solo dirigidos a la búsqueda de resistencia por antibiosis. Los resultados muestran que, al realizar cambios en la metodología de evaluación de resistencia, al eliminar las lijas en los recipientes y bajo la presión en experimentos sin libre elección, los insectos no prefirieron ovipositar en las semillas de la accesión G11051 y colocaron la mayor parte de los huevos en las paredes del recipiente, comportamiento que provoca que los huevos no sean viables.

La composición de la mezcla de compuestos volátiles emitidos por G11051, así como los niveles detectados en algunos compuestos específicos respecto al cultivar susceptible ICA Pijao parece ser parte de la explicación de la repelencia detectada. Sin embargo, nuevas investigaciones se requieren para profundizar en estos aspectos.

Finalmente, para conocer los posibles aportes a la variación de los progenitores en los programas de mejora estos deben ser caracterizados adecuadamente. Las líneas RAZ reúnen características morfoagronómicas deseables para ser incorporadas en los programas de mejora nacional o ser evalua-

luadas en ensayos regionales. Es de destacar, que las líneas presentaron, alto rendimiento, hábitos de crecimiento del tallo, precocidad y colores y tamaño del grano como atributos que cumplen las exigencias demandadas por el mercado y la población cubana.

Conclusiones

Este trabajo constituye un aporte al conocimiento en cuanto la presencia, en condiciones de campo y de almacén, de las principales plagas que afectan el grano de frijol durante la postcosecha en Cuba, la resistencia como herramienta para el MIP, los mecanismos de resistencia informados hasta la fecha a nivel mundial en frijol frente a *Z. subfasciatus*. Se actualizan los resultados en cuanto a la fuente de resistencia por antibiosis, con aportes novedosos sobre el orden de resistencia que confieren las fuentes de arcelina. Se informa por primera vez la no existencia de relación con rasgos morfo-métricos de las semillas y con el contenido de minerales de alto valor en la nutrición humana.

Además, se propone por primera vez en Cuba el uso de herramientas moleculares novedosas no usadas hasta la fecha en la mejora vegetal, que facilitan el proceso de selección, así como se detectan características agronómicas deseables, bajo condiciones de campo, en líneas resistentes a la plaga de almacén más frecuente y abundante en el frijol almacenado. Los resultados constituyen la base para el mejoramiento genético de la resistencia a *Z. subfasciatus* y tributan al MIP con alternativas más amigables con el medio ambiente con la considerable reducción de los costos que proporcionan beneficios sociales cuantiosos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Tigist S. Common Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and the Bean Bruchid (*Zabrotes subfasciatus*): A Review. *International Journal of Research in Agriculture and Forestry*, 2020;7(11):21-31. ISSN 2394-5915
2. Iturralde-García RD, Castané C, Wong-Corral FJ, Riudavets J. Biological control of *Acanthoscelides obtectus* and *Zabrotes subfasciatus* in stored dried beans. *BioControl* [Internet]. 2020 [citado 02 abr 2023];65:693-701. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s10526-020-10048-5>
3. Faure B, Benítez R, García A, Ortega L. *Manual para la producción sostenible del frijol común*. Instituto de Investigaciones de Granos. 2017.
4. Tigist S, Melis R, Sibiya J, Amelework BA, Keneni G, Tegene A. Genetic diversity analysis of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes for resistance to Mexican weevil (*Zabrotes subfasciatus*), using single nucleotide polymorphism and phenotypic markers. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B-Soil & Plant Science* [Internet]. 2020 [citado 24 nov 2022];70(6):495-506. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/09064710.2020.1779339>

5. Goosens A, Quintero C, Dillen W, De Rycke D, Flower J, De Clercq J, Van Montagu M, Cardona C, Angenon G. Analysis of bruchid resistance in the wild common bean accession G02771: no evidence for insecticidal activity of arcelin 5. *Journal of Experimental Botany* [Internet]. 2000 [citado 06 abr 2023];51:1229-36. Disponible en: <https://doi.org/10.1590/1984-70332022v22n4a50>
6. Acosta-Gallegos JA, Quintero C, Vargas J, Toro O, Tohme J, Cardona C. A new variant of arcelin in wild common bean, *Phaseolus vulgaris* L., from southern Mexico. *Genetic Resources and Crop Evolution* [Internet]. 1998 [citado 02 abr 2023];45(3):235-42. Disponible en: <https://doi.org/10.1023/A:1008636132108>
7. Zaugg I, Magni C, Panzeri D, Daminati MG, Bollini R, Benrey B, Bacher S, Sparvoli F. QUES, a new *Phaseolus vulgaris* genotype resistant to common bean weevils, contains the Arcelin-8 allele coding for new lectin-related variants. *Theoretical and Applied Genetics* [Internet]. 2012 [citado 13 jul 2023];126:647-61. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s00122-012-2008-2>
8. Mammadov J, Aggarwal R, Buyyarapu R, Kumpatla S. SNP markers and their impact on plant breeding. *International Journal of Plant Genomics* [Internet]. 2012 [citado 13 jul 2023];1-11. Disponible en: <https://doi.org/10.1155/2012/728398>
9. Huertas R, Karpinska B, Ngala S, Mkandawire B, Maling'a J, Wagenkeche E, Kimani P, M, Boesch C, Stewart D, Hancock RD, Foyer CH. Biofortification of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) with iron and zinc: Achievements and challenges. *Food and Energy Security* [Internet]. 2022 [citado 20 jul 2023];12(2):e406. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/fes3.406>
10. Díaz S, Polania J, Ariza-Suarez D, Cajiao C, Grajales M, Raatz B, Beebe SE. Genetic correlation between Fe and Zn biofortification and yield components in a common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Frontiers in Plant Science* [Internet]. 2022 [citado 24 nov 2023];12. Disponible en: <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.739033>
11. Reyes-Guzmán R, Borboa-Flores J. Cinco-Moroyoqui FJ, Rosas-Burgos EC, Osuna-Amarillas PS, Wong-Corral FJ, Ortega-Nieblas, MM, León-Lara DD. Actividad insecticida de aceites esenciales de dos especies de Eucalyptus sobre Rhyzopertha dominica y su efecto en enzimas digestivas de progenies. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* [Internet]. 2013 [citado 20 jul 2023];18(3):385-94. Disponible en: <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2012.02.015>
12. Yus Ramos R. Genera de Coleópteros de la Península Ibérica e Islas Baleares: familia Bruchidae (Coleoptera, Chrysomeloidea). *Boletín-Asociación Española de Entomología*. 2007;31(1-2):65-114. ISSN: 0210-8984
13. de la Cruz A, Romero J, Carrillo JL, García E, Grether R, Sanchez S, Pérez M. Brúquidos (Coleoptera: Bruchidae) del estado de Tabasco, México. *Acta Zoológica Mexicana* (n. s.) [Internet]. 2013 [citado 02 abr 2023];29(1):1-95. Disponible en: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0065-17372013000100001
14. Valencia SJ. Efectos subletales de resistencia antibiótica a inmaduros en la demografía de adultos de los gorgojos de frijol *Acanthoscelidessobtectus* (Say) y *Zabrotes subfasciatus* (Boheman) (Coleoptera: Bruchidae). (Tesis de doctorado). Universidad Nacional de Colombia, Palmira, Colombia. 2006 [citado 22 de septiembre de 2023]. 123p. Disponible en: http://ciat-library.ciat.cgiar.org/articulos_ciat/ipm/pdfs/tesis_sandra_valencia.pdf
15. Posso CE, Cardona C, Valor J, Morales H. Characterization of a new protein as a responsible factor for the resistance of *Phaseolus vulgaris* to *Zabrotes subfasciatus* (Boheman) (Coleoptera: Bruchidae). *Revista Colombiana de Entomología* [Internet]. 1989 [citado 13 jul 2023];15(2):3-9. Disponible en: <https://doi.org/10.25100/socolen.v15i2.10176>
16. Blair M, Prieto S, Díaz LM, Buendía HF, Cardona C. Linkage disequilibrium at the APA insecticidal seed protein locus of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *BMC Plant Biology* [Internet]. 2010 [citado 24 nov 2022];10:79. Disponible en: <https://doi.org/10.1186/1471-2229-10-79>
17. Rosero A, Leiter G, Pérez JL, Rosero D, Burgos-Paz W, Martínez R, Morales A. Morphometric and colourimetric tools to dissect morphological diversity: an application in sweet potato [*Ipomoea batatas* (L.) Lam.]. *Genetic resources and crop evolution* [Internet]. 2019 [citado 10 oct 2022];66(6):1257-78. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s10722-019-00781-x>
18. Schlautman B, Díaz-García L, Barriballa S. Morphometric approaches to promote the use of exotic germplasm for improved food security and resilience to climate change: a kura clover example. *Plant Science* [Internet]. 2020 [citado 10 oct 2022];290:1-11. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2019.110319>
19. Paltridge NG, Milham, PJ, Ortiz-Monasterio JI, Velu G, Yasmin Z, Palmer LJ, Guild GE, Stangoulis JCR. Energy-dispersive X-ray fluorescence spectrometry as a tool for zinc, iron and selenium analysis in whole grain wheat. *Plant Soil* [Internet]. 2012 [citado 24 nov 2022];361:261-9. <https://doi.org/10.1007/s11104-012-1423-0>
20. Mukankusi CM, Bodo R, Stanley N, Fenta B, Papias B, Michael K, Beebe S. Genomics, genetics and breeding of common bean in Africa: A review of tropical legume project. *Plant Breeding* [Internet]. 2019 [citado 13 jul 2023];138:401-14. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/pbr.12573>
21. Soler A, Lobaton JD, Macea E, Grajales M, Raatz B, Beebe S. Single nucleotide polymorphism (SNP) marker discovery and genetic mapping associated with resistance to Bean Golden Yellow Mosaic Virus". *Publications from USDA-ARS/UNL Faculty*. 1757 [Internet]. 2017 [citado 13 jul 2023]. Disponible en: <https://digitalcommons.unl.edu/usdaarsfacpub/1757>
22. Sambrook J, Fritsch EF y Maniatis T. *Molecular cloning: a laboratory manual*. 2nd ed. Cold Spring Harbor: N Y, USA. 1989: ISBN: 9780879693091
23. Wang J, Chuang K, Ahluwalia M, Patel S, Umblas N, Mirel D, Higuchi R, Germer S. High-throughput SNP genotyping by single-tube PCR with Tm-shift primers. *Research Report* [Internet]. 2005 [citado 02 abr 2023];39(6):885-92. Disponible en: <https://doi.org/10.2144/000112028>
24. Oomah BD, Liang LS, Balasubramanian P. Volatile Compounds of Dry Beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Plant Foods Human Nutrition* [Internet]. 2007 [citado 10 oct 2022];62:177-83. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11130-007-0059-3>
25. Hernández JA, Morales DM, Borges BY, Vargas VD, Cabrera RA, Ascanio GMO, Ríos LH, Funes MF, Bernal FA, González CPJ. Degradación de las propiedades de los suelos Ferralíticos Rojos lixiviados de la Llanura Roja de La Habana por el cultivo continuado. Algunos resultados sobre su mejoramiento. 2014; INCA, MES, Mayabeque, Cuba. 156p.

26. Muñoz G, Giraldo G. de Soto JF. Descriptores varietales: Arroz, frijol, maíz, sorgo. CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical) [Internet]. Cali, Colombia. 1993 [citado 18 oct 2022]. Disponible en: http://ciat-library.ciat.cgiar.org/articulos_ciat/descriptores_varietales.pdf
27. Lamz Piedra A, Florido M, Morales-Soto A, Mederos A, Suris M, Peteira B. Frecuencia y abundancia predominante en condiciones de campo y almacén entre Zabrotes subfasciatus (Boheman) y Acanthoscelides obtectus Say. (Coleoptera: Chrysomelidae) en frijol común (Phaseolus vulgaris L.). Rev. Protección Veg [Internet]. 2021 [citado 24 nov 2022];36(2). Disponible en: <https://eqrcode.co/a/4JA8fi>
28. Lamz, A., Santiago, R. R. R., Jiménez, M. I. G., Londono, L. F., Bueno, J. M., Olivas-Orozco, G. I., Molina, F. J., Florido-Bacallao, M., Peteira, B. Resistance to Zabrotes subfasciatus (Boheman, 1833) (Coleoptera: Chrysomelidae) in common bean (Phaseolus vulgaris L.) and relationship with Fe and Zn content. International Journal of Tropical Insect Science [Internet]. 2024 [citado 9 abril 2025] (preprint). <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-4366723/v1>
29. Lamz Piedra A, Jiménez JC, Gómez MA, Olivas-Orozco GI, Molina-Corral J, Florido M, Suris M, Peteira B, Pino JA. Metabolomics of common vean (Phaseolus vulgaris L.) antixenosis to the Mexican weevil (Zabrotes subfasciatus Boh.). J. of Plant Diseases and Protection [Internet]. 2024 [citado 18 oct 2022];131(3):743-55. Disponible en: <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3070361/v1>
30. Lamz Piedra A, Morales-Soto A, Peteira B, Florido M, Caracterización de 11 líneas de frijol común (Phaseolus vulgaris L.) resistentes a Zabrotes subfasciatus Boheman en Cuba. Ciencia UAT [Internet]. 2023[citado 10 oct 2022];18(1):178-90. Disponible en: <https://doi.org/10.29059/cienciauat.v18i1.1680>
31. Henrique P. Control biológico del gorgojo de la judía Acanthoscelides obtectus (Say) (Coleoptera: Chrysomelidae: Bruchinae) en la región de Castilla y León-España (Tesis de doctorado). Universidad de León, León, España. 2017 [citado 20 de septiembre de 2023] 128p. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=124323>
32. Cardona C, Kornegay J, Posso CE, Morales F, Ramirez H. Comparative value of four arcelin variants in the development of dry bean lines resistant to the Mexican bean weevil. Entomologia Experimentalis et Applicata [Internet]. 1990 [citado 18 oct 2022];56:197-206. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/j.1570-7458.1990.tb01397.x>
33. Beintema JJS, Gallego-Castillo S, Londoño-Hernandez LF, Restrepo-Manjarres J, Talsma EF. Scaling-up biofortified beans high in iron and zinc through the school-feeding program: A sensory acceptance study with schoolchildren from two departments in southwest Colombia. Food Science Nutrition. 2018;6:1138-45.
34. Muthayya S, Rah JH, Sugimoto JD, Roos FF, Kraemer K, Black RE. The global hidden hunger indices and maps: An advocacy tool for action. PLOS ONE [Internet]. 2013 [citado 13 jul 2023];8:e67860. Disponible en: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0067860>
35. Bouis HE, Hotz C, McClafferty B, Meenakshi J, Pfeiffer WH. Biofortification: A new tool to reduce micronutrient malnutrition. Food and Nutrition Bulletin [Internet]. 2011 [citado 20 jul 2023];32:S31-S40. Disponible en: <https://doi.org/10.1177/15648265110321S105>
36. Verma A. Food fortification: A complementary strategy for improving micronutrient malnutrition (MNM) status. Journal of Food Science and Technology. 2015;6:381-9.
37. Mukankusi CM, Bodo R, Stanley N, Fenta B, Papias B, Michael K. Beebe S. Genomics, genetics and breeding of common bean in Africa: A review of tropical legume project. Plant Breeding [Internet]. 2019 [citado 24 nov 2022];138:401-14. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/pbr.12573>
38. Mukankusi CM, Amongi W, Sebuliba S, Musoke S, Acam C. Characterisation of Phaseolus coccineus interspecific germplasm accessions for disease resistance, grain market class and yield attributes. African Crop Science Journal [Internet]. 2018;26(1):117-35. Disponible en: <http://10.4314/acsj.v26i1.9>
39. Rivera LE, Morales AT, Adame RM, Heil M, Quintana E. Compuestos orgánicos volátiles emitidos por Phaseolus vulgaris contribuyen en la defensa hacia antracnosis. Jóvenes Investigadores [Internet]. 2015 [citado 24 nov 2022];1(3):55-9. Disponible en: <http://repositorio.ugto.mx/handle/20.500.12059/3232>
40. Ramírez-Medorio NJ, Hernández-Rosas F, Osorio-Acosta F, López-Collado J, Figueroa-Rodríguez KA, Amante-Orozco A. Composición química de volátiles de hojas de caña de azúcar y pastos mediante cromatografía de gases. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas [Internet]. 2019 [citado 24 nov 2022];22:129-38. Disponible en: <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i22.1864>

Recibido: 11/04/2025

Aprobado: 22/04/2025

Conflictos de intereses

No existen conflictos de intereses en relación con la investigación presentada.

Contribuciones de los autores

- Conceptualización: Alexis Lamz Piedra; Marilyn Florido Bacayao; Belkis Peteira Delgado-Oramas, José Cruz Jiménez Galindo
- Curación de datos: Alexis Lamz Piedra; José Cruz Jiménez Galindo; Francisco Javier Molina-Corral; Luis Fernando Londoño Hernández
- Análisis formal: Alexis Lamz Piedra
- Adquisición de fondos: Alexis Lamz Piedra; Guadalupe Isela Olivas Orozco
- Investigación: Alexis Lamz Piedra; María Isabel Gómez Jiménez; Eliana Macea
- Metodología: Alexis Lamz Piedra, María Isabel Gómez Jiménez, José Cruz Jiménez Galindo
- Administración del proyecto: Guadalupe Isela Olivas Orozco
- Recursos: Guadalupe Isela Olivas Orozco
- Supervisión: Marilyn Florido Bacayao; Belkis Peteira Delgado-Oramas; José Cruz Jiménez Galindo
- Validación: Alexis Lamz Piedra
- Visualización: Alexis Lamz Piedra, Marilyn Florido Bacayao; Belkis Peteira Delgado-Oramas
- Redacción-borrador original: Alexis Lamz Piedra
- Redacción-revisión y edición: Alexis Lamz Piedra, Marilyn Florido Bacayao; Belkis Peteira Delgado-Oramas

Financiamientos

La investigación estuvo financiada por el proyecto "Fortalecimiento de los sistemas locales de innovación e incremento de la seguridad de semillas a nivel local" del Programa Alimento Humano (P131LH0011235) y por la Beca de la Agency for International Development Cooperation (AMEXCID).

Cómo citar este artículo

Lamz Piedra A, Florido Bacayao M, Peteira Delgado-Oramas B, Suris Campo M, Gómez Jiménez MI, Jiménez Galindo JC, et al. Bases para el mejoramiento genético de la esistencia de *Phaseolus vulgaris* L. frente a la especie de brúquido más frecuente y abundante en

Mayabeque. An Acad Cienc Cuba [Internet] 2025 [citado en día, mes y año];15(2):e3035. Disponible en: <http://www.revistaccuba.cu/index.php/revacc/article/view/3035>

El artículo se difunde en acceso abierto según los términos de una licencia Creative Commons de Atribución/Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0), que le atribuye la libertad de copiar, compartir, distribuir, exhibir o implementar sin permiso, salvo con las siguientes condiciones: reconocer a sus autores (atribución), indicar los cambios que haya realizado y no usar el material con fines comerciales (no comercial).

© Los autores, 2025.

