

Control de *Zabrotes subfasciatus* con elicitores y su efecto en la calidad de semilla de frijol

Control of *Zabrotes subfasciatus* with elicitors and its effect on bean seed quality

Ana Patricia Raygoza-Martínez*, Luis Patricio Guevara-Acevedo**,
Francisco Cervantes-Ortiz**, Gilberto Rodríguez-Pérez***, Alfredo
Josué Gámez-Vázquez****, Mariano Mendoza-Elos**✉

Raygoza-Martínez, A. P., Guevara-Acevedo, L. P., Cervantes-Ortiz, F.,
Rodríguez-Pérez, G., Gámez-Vázquez, A. J., & Mendoza-Elos, M. (2025). Control
de *Zabrotes subfasciatus* con elicitores y su efecto en la calidad de semilla de
frijol. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*,
33(95), e6937, <https://doi.org/10.33064/iycuaa2025956937>

RESUMEN

La germinación y vigor de la semilla deben ser altos para garantizar un óptimo establecimiento. Los elicitores promueven mecanismos de defensa en las plantas. Por lo anterior, el objetivo fue evaluar el efecto de elicitores en la semilla de frijol y la mortalidad de *Zabrotes subfasciatus*. Se utilizaron tres variedades de frijol; Negro Veracruz, Flor de Mayo y Peruano. Las dosis fueron a 0.5% y 1% de carbonato de calcio, 1 μM y 10 μM de quitosan; 1 mM y 10 mM de ácido salicílico. Se realizaron pruebas de germinación, velocidad de emergencia e índice de vigor II y mortalidad. Los resultados indican que la mortalidad de *Z. subfasciatus* en frijol Negro alcanzó 53.79%. Los mejores elicitores para controlar el gorgojo fueron quitosan y carbonato de calcio con 60.18% y 58.87%. Ningún tratamiento afectó la calidad fisiológica de la semilla, germinación y vigor.

Palabras clave: germinación; velocidad de emergencia; vigor; mortalidad; ácido salicílico; quitosán; carbonato de calcio.

Recibido: 26 de septiembre de 2024, Aceptado: 27 de mayo de 2024, Publicado: 30 de mayo de 2025

*Maestría en Ciencias en Producción y Tecnología de Semillas, Instituto Tecnológico Roque, Tecnológico Nacional de México. Km 8 Carretera Celaya-Juventino Rosas, Apartado Postal 508, C. P. 38110, Celaya, Guanajuato, México. Correo electrónico: patyraygoza@hotmail.com

**Instituto Tecnológico Roque, Tecnológico Nacional de México. Km 8 Carretera Celaya-Juventino Rosas, Apartado Postal 508, C. P. 38110, Celaya, Guanajuato, México. Correo electrónico: luis.ga@roque.tecnm.mx; francisco.co@roque.tecnm.mx; mariano.me@roque.tecnm.mx ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4013-472X>; <https://orcid.org/0000-0003-2419-5896>; <https://orcid.org/0000-0002-8862-5819>

***Instituto Tecnológico del Valle del Yaqui, Tecnológico Nacional de México. Av. Tecnológico, Block No. 611, Valle del Yaqui Bacum, Obregón, Sonora, México. C. P. 85276. Correo electrónico: gilberto.rp@vyaqui.tecnm.mx ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2297-8598>

****Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Bajío. Carretera Celaya-San Miguel de Allende km 6.5, C. P. 38110, Celaya, Guanajuato, México. Correo electrónico: ajosueg@msn.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2453-0570>

✉ Autor para correspondencia

ABSTRACT

Seed germination and vigor must be high to ensure optimal establishment. Elicitors promote plant defense mechanisms. Therefore, the objective was to evaluate the effect of elicitors on bean seeds and the mortality of *Zabrotes subfasciatus*. Three bean varieties were used; Negro Veracruz, Flor de Mayo and Peruano. The doses were 0.5% and 1% calcium carbonate, 1 μ M and 10 μ M chitosan; 1 mM and 10 mM salicylic acid. Germination, emergence rate, vigor index (II) and mortality tests were conducted. The results indicate that *Z. subfasciatus* mortality in black beans reached 53.79%. The best elicitors for controlling the weevil were chitosan and calcium carbonate, with 60.18% and 58.87%. No treatment affected seed physiological quality, germination or vigor.

Keywords: germination; emergence rate; vigor; mortality; salicylic acid; chitosan; calcium carbonate.

INTRODUCCIÓN

El frijol es el segundo grano básico en importancia en la producción y dieta mexicana. Su importancia radica en el contenido de proteína, fibra y ácido fólico. En el ciclo otoño-invierno 2022/23 se cosecharon 203,375 ha con una producción de grano de 244,664 t. Sinaloa genero 92,535 t, 37.8%; Nayarit 69,246 t, 28.3%; Chiapas 27,125, 11.1% (SIAP, 2023).

En México, el frijol es el tercer cultivo de mayor importancia por la superficie de siembra (7.9%). Se cosecharon 1.6 millones de hectáreas en 2021; 87.2% fue siembra de temporal y 12.8% de riego; se han obtenido 1.176 millones de t. Las variedades de frijol Negro, pinto y azufrado/peruano son las de mayor participación en la producción nacional. El rendimiento promedio en riego se ubicó en 1.76 toneladas por hectárea y en temporal en 590 kg por hectárea (FIRA, 2022).

Por otra parte, respecto al uso de una semilla de calidad es fundamental para establecer las bases de una cosecha exitosa y reducir riesgos productivos (Ávila Marioni et al., 2011). Adicionalmente, el valor alimenticio de los granos y el valor económico de las semillas requiere cuidados especiales en el almacén que permitan garantizar la conservación de la calidad que deberá mantenerse durante el tiempo de almacenamiento y hasta el momento en que serán utilizados (Lorenzo Quispe, 2023).

En poscosecha o almacenamiento existen fuertes problemas, principalmente por los gorgojos que afectan los granos y semillas; entre ellos el gorgojo pinto del frijol: *Zabrotes subfasciatus* Boheman, un insecto perteneciente a la familia Bruchidae; básicamente se alimenta de granos de frijoles (figura 1), aunque puede encontrarse también en arvejas, lentejas y soya. Se localiza básicamente en América, aunque existen reportes de su presencia en África. Se caracteriza por tener cuerpo negro u oscuro, cuenta con élitros con una banda blanca mesal y transversal, mide de 1.8 a 2.5 mm de longitud y de 1.2 a 1.8 de ancho. Tiene antenas largas que sobrepasan la mitad del cuerpo. La hembra es más grande que el macho, presenta un color negro mientras que el macho es pardo oscuro. La hembra adhiere sus huevecillos en la semilla, las larvas emergen y se instalan en el interior del grano, se alimentan del endospermo y en ocasiones sólo dejan la cubierta del pericarpio y entonces salen al exterior. Los adultos tienen un periodo de vida de entre 10 y 12 días. Su ciclo biológico dura de 20 a 24 días a una temperatura de 35 °C, pero si ésta disminuye a 20 °C el ciclo puede alargarse hasta por 100 días (FAO & AfricaSeeds, 2019).

Para lograr lo anterior y minimizar efectos adversos en el ambiente y la salud humana, en la última década se ha incrementado el estudio del empleo de productos naturales que sustituyan a los plaguicidas (Rodríguez-Pedroso, Ramírez-Arrebató, Cárdenas-Travieso, Falcón-Rodríguez, & Bautista-Baños, 2006; Rojas-Pirela, Carillo, Lárez-Velásquez, & Romanazzi, 2024). Entre estos productos se encuentran los elicitores que son moléculas de origen biótico o abiótico (quitosano, ácido salicílico, entre otros) capaces de estimular mecanismos defensivos en las plantas que puedan ser aplicados de forma preventiva o directa a las plantas (Burgos-Avila, Álvarez-Herrera, & Pinto-Acero, 2021). Por ello, han surgido nuevas alternativas en la producción alimentaria, como el uso de elicitores para consolidar una agricultura más sostenible y sin efectos adversos a la salud del consumidor.

Los elicitores pueden estimular el metabolismo propio de las plantas para producir compuestos que resultarán en rasgos agronómicos deseados, como metabolitos secundarios de uso nutracéutico (Caicedo-López et al., 2021). Los elicitores bióticos son todas aquellas sustancias generadas por organismos vivos; como proteínas, carbohidratos, bacterias, hongos y fitohormonas (hormonas vegetales). Por su parte, los elicitores abióticos son todos los estímulos físicos a los que son susceptibles las plantas; como la luz, la temperatura, señales eléctricas de larga distancia, ondas electromagnéticas, ondas de radiofrecuencia, percepción de estímulos mecánicos y emisiones acústicas; entre otros (Dannehl, 2018; Naik & Al-Khayri, 2016). Dentro de éstos se encuentran, además, el ácido salicílico, el quitosano, el ácido jasmónico, el ácido 2,6-dicloroisonicotínico; así como el ácido amino butírico (Delgado-Oramas, 2020). El quitosano es un compuesto natural derivado de la quitina del caparazón del cangrejo; es un biopolímero con propiedades antivirales, antibacterianas, antifúngicas (Riseh, Hassanisaadi, Vatankhah, Babaki, & Barka, 2022).

Por lo anterior, el propósito del presente trabajo fue evaluar la mortalidad en *Z. subfasciatus* y la calidad fisiológica de semilla por el efecto de elicitores como quitosano, carbonato de calcio y ácido salicílico en tres variedades de frijol.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del área de estudio

El presente trabajo se llevó a cabo en el Tecnológico Nacional de México campus Roque (ITR) ubicado en el km 8 de la carretera Celaya-Juventino Rosas en el municipio de Celaya, Guanajuato. Se utilizaron tres variedades de frijol: Flor de Mayo, Peruano y Negro; propiedad del INIFAP, Celaya. Se consideraron estas variedades porque son las usuales; además de tener características genéticas contrastantes y de diferente origen.

Reproducción de gorgojo *Z. subfasciatus* Boheman

Los gorgojos fueron colectados en bodegas del Instituto Tecnológico de Roque. Los individuos de *Z. subfasciatus* Boheman fueron separados y colocados en frijol limpio en una cámara bioclimática (VWR S/P, Sheldon MFG, Inc. Modelo 3025T) a una temperatura de 28 ± 2 °C y bajo un fotoperiodo de 12:12 luz: oscuridad. A las tres semanas de la infestación se separaron los adultos F₁ y se colocaron en semilla de frijol limpio, transcurridas tres semanas se obtuvo la generación F₂ utilizada en los bioensayos.

Preparación de elicitores

En el quitosano se mezclaron 40 g de carboximetilcelulosa sódica Sigma® (Calbiochem) con 0.024 g de quitosano Sigma Aldrich® obteniendo la mezcla madre. Posteriormente se tomó 0.1 g de la mezcla madre y se adicionaron 60 g de carboximetilcelulosa sódica Sigma®, con lo que se obtuvo la concentración 1 [1 µg], para la concentración 2 [10 µg] se mezcló 1 g de la mezcla madre y 60 g de carboximetilcelulosa sódica Sigma®.

Para obtener las concentraciones de ácido salicílico se obtuvo primero una mezcla madre con 0.022 g de ácido salicílico y 40 g de carboximetilcelulosa sódica Sigma®, posteriormente se mezcló 1.5 g de la mezcla madre y 60 g de carboximetilcelulosa sódica Sigma®; con lo que se consiguió la concentración 1 [0.1 mM], la concentración 2 [0.001 mM] se obtuvo al mezclar 0.02 g de la mezcla madre y 60 g de carboximetilcelulosa sódica Sigma®.

La concentración 1 [0.5%] de carbonato de calcio (Calcinor Servicios, S. A.) se obtuvo al mezclar 0.6224 g de carbonato de calcio CaCO₃ Fermont® y 60 g de carboximetilcelulosa sódica Sigma®. Para la concentración 2 [1%] se mezcló 0.6224 g de carbonato de calcio CaCO₃ Fermont® y 60 g de carboximetilcelulosa sódica Sigma®. Para obtener una mezcla homogénea se utilizó una batidora de mano Sunbeam® modelo FPSBHM4000-013 (Sunbeam Mexicana) de una sola aspa.

Preparación de bioensayos

La evaluación de la mortalidad del gorgojo (*Z. subfasciatus* Boheman) fue en tres variedades de frijol con diferentes elicitores y dosis, se utilizaron los métodos descritos por Lagunes (1994) y Cerna Chávez et al. (2010); se utilizaron recipientes plásticos de 256 ml con tapa en los que se colocaron 100 g de semilla de cada variedad y se adicionó la dosis del elicitador correspondiente (tabla 1).

Tabla 1
Descripción de elicitores, concentraciones y cantidad de los
tratamientos

Elicidores	Concentración
Quitosano 1 µM	0.5 g
Quitosano 10 µM	0.5 g
Ácido salicílico 1 mM	0.5 g
Ácido salicílico 10 mM	0.5 g
Carbonato de calcio 0.5%	0.5 g
Carbonato de calcio 1%	0.5 g

Nota: Elaboración propia.

Medición de variables de estudio

Conteos de mortalidad de gorgojo. Los conteos de mortalidad (M) se realizaron a las 96 h de establecidos los ensayos. El criterio de mortalidad utilizado fue considerar como gorgojos muertos los que no mostraban movilidad al someterlos al contacto con plancha caliente. La estimación de la mortalidad se realizó mediante la fórmula (1) de Abbott (1925).

$$M = \frac{\text{Mortalidad en tratamientos} - \text{Mortalidad en testigo}}{100 - \text{Mortalidad en testigo}} \times 100 \quad (1)$$

donde M es la mortalidad.

Calidad fisiológica de semilla

Para las pruebas de calidad fisiológica se tomaron 50 semillas de cada bioensayo previamente almacenado; 25 semillas se utilizaron para la prueba de germinación estándar y 25 para la prueba de cama de arena, donde se midieron otras características. Con la prueba de germinación estándar se registró el porcentaje de germinación (PG); con la prueba de cama de arena se obtuvo el porcentaje de emergencia (PE), velocidad de emergencia (VE), índice de vigor de semilla II (IVII), como se describe a continuación.

Germinación estándar

Para la prueba de germinación estándar se colocaron 25 semillas en cuatro repeticiones. Se ubicaron en toallas de germinación húmedas en cinco filas de cinco semillas, enseguida fueron rociadas con solución de Captan Bayer® (Bayer Crop Science) a 5%. Se cubrieron con otra toalla de germinación húmeda, se enrollaron, se identificaron según el tratamiento y se introdujeron a la cámara de germinación a una temperatura de 25 ± 1 °C. De acuerdo con la metodología del ISTA (2005) se realizaron conteos al cuarto y noveno días, y se consideraron como germinadas aquellas semillas que produjeron plántulas normales (presentan una radícula protuberante de más de 1 mm de longitud y un desarrollo normal de sus primeras hojas). El porcentaje de germinación se calculó como la razón de la suma de las plántulas normales al cuarto y noveno día entre 100.

Vigor

El vigor se evaluó a través del procedimiento de cama de arena, para lo cual se utilizaron 25 en cuatro repeticiones. Las semillas se colocaron en una cama de arena, a 2 cm de profundidad. Los conteos de plántulas se realizaron a partir de la primera emergencia y se repitieron cada día hasta no observar cambios en los conteos. Posteriormente se seleccionaron 10 plantas de cada tratamiento con competencia completa y se secaron en estufa Felisa a 60 °C durante 48 h. Con los datos obtenidos se calculó el porcentaje de emergencia (PE) (Kharb, Lather, & Deswal, 1994), la velocidad de emergencia (VE) (Maguire, 1962) y el índice de vigor II (IVII) (Fakorede & Ayoola, 1980), de acuerdo con las siguientes fórmulas: 2, 3 y 4.

Porcentaje de emergencia (PE)

$$PE = \frac{100(\text{plantas emergidas al 7º día})}{\text{Total de semillas sembradas}} \quad (2)$$

Velocidad de emergencia (VE)

$$VE = \frac{\text{plantulas normales}}{\text{días al 1er conteo}} + \dots + \frac{\text{plantulas normales}}{\text{días al conteo final}} \quad (3)$$

Índice de vigor II (IVII)

$$IVII = (\text{Porcentaje de emergencia} \times \text{peso seco de la parte aérea}) \quad (4)$$

Diseño experimental

El diseño experimental fue completamente al azar con arreglo factorial en cuatro repeticiones. Los datos registrados de cada una de las variables estudiadas (mortalidad, porcentaje de germinación, porcentaje de emergencia, velocidad de emergencia e índice de vigor) se sometieron al análisis de varianza (ANOVA) y cuando los tratamientos presentaron diferencias significativas se realizó una comparación de medias de DMS ($\alpha \leq 0.05$). Para los análisis se utilizó el paquete estadístico SAS versión 9.3. (SAS Institute Inc., 2011).

RESULTADOS

En la tabla 2 se muestran los cuadrados medios de las variables evaluadas para mortalidad del gorgojo *Z. subfasciatus* después de 96 h de exposición (PM), porcentaje de germinación (PG), porcentaje de emergencia (PE), velocidad de emergencia (VE) e índice de vigor II (IVII) evaluadas en frijol Negro, Flor de Mayo y Peruano con tres elicitores y dos dosis. Se pueden observar diferencias significativas estadísticas para variedades y elicitores en cada una de las variables evaluadas. Para el caso de las dosis sólo se registró diferencia con significancia estadística en la PM e IVII. Para la interacción variedad por elicitor se observaron diferencias estadísticas en PE y VE. En la interacción variedad por dosis, sólo existió diferencia en el IVII. La interacción elicitor por dosis mostró diferencias significativas en el PM, PE y PG. La interacción variedad por elicitor por dosis únicamente mostró diferencias significativas en PE.

Tabla 2

Cuadrados medios para mortalidad (M) de *Z. subfasciatus* a las 96 horas y calidad fisiológica de la semilla promedio de variedades de frijol con tres elicitores en Roque, Celaya, Guanajuato, México

FV	M	PG	PE	VE	IV II
Variedad (V)	5.11*	4681.64**	792.11*	90.85**	42608.62**
Elicitor (E)	35.66**	267.84*	350.23*	6.85*	1974.19*
Dosis (D)	14.52*	35.14 ns	1.62 ns	0.16 ns	846.98*
VxE	0.14 ns	80.53 ns	342.00*	4.78*	701.33 ns
VxD	0.69 ns	35.91 ns	20.97 ns	0.88 ns	842.94*
ExD	34.85**	363.21*	164.28*	1.62 ns	209.16 ns
VxExD	0.79 ns	34.28 ns	248.75*	1.03 ns	582.28 ns
Error	1.91	402.61	155.60	4.60	1300.26
C.V.	19.98	25.45	16.06	16.01	22.88

Nota: M, Mortalidad; PG, Porcentaje de germinación; PE, Porcentaje de emergencia; VE, Velocidad de Emergencia; IVII, índice de vigor II. **, * Diferencias estadísticas al 0.01 y 0.05 de probabilidad; ns, no significativo.

Elaboración propia.

En la comparación de medias por variedad que se muestra en la tabla 3 se encontró que la mortalidad de *Z. subfasciatus* en el frijol Negro alcanzó 53.79% a las 96 h de exposición, superando a la variedad Flor de Mayo que registró 43.19%; 19% de diferencia entre ambos grupos estadísticos. El porcentaje de germinación tiene comportamiento similar para las variedades Peruano y Negro, que se ubicaron en el mismo grupo con 92.5% de promedio de PG entre ambas variedades, las ubica 12% arriba del registrado por el frijol Flor de Mayo.

Tabla 3

Comparación de medias para porcentaje de mortalidad a las 96 h, porcentaje de germinación, porcentaje de emergencia, velocidad de emergencia e índice de vigor II en tres variedades de frijol

Variedad	M	PG	PE	VE	IV II
Flor de Mayo	43.19 ^b	80.77 ^b	88.56 ^{ab}	14.94^a	134.2 ^b
Peruano	45.19 ^{ab}	90.97 ^a	90.66^a	11.6 ^c	199.61^a
Negro	53.79^a	94.04^a	85.05 ^b	13.66 ^b	138.8 ^b

Nota: M, Mortalidad; PG, Porcentaje de germinación; PE, Porcentaje de emergencia; VE, Velocidad de Emergencia y IVII, índice de vigor II.
Elaboración propia.

En la tabla 4 se presenta la comparación de medias DMS para las variables evaluadas por elicitores. Para la M a las 96 h de exposición se observó que quitosano (Q) y carbonato de calcio (CC) se comportaron de manera similar, registrando 60.18% y 58.87%, respectivamente; mientras que ácido salicílico (AS) arrojó 44.29%, ubicándose en un segundo grupo estadístico; por debajo, los testigos registraron 26.21% de M. Los valores de PG para Q, AS, CC y testigos no registraron diferencias estadísticas; pero destaca que el valor más alto lo alcanzaron los testigos con 91.16%. El PE registrado en la presente investigación tuvo valores más altos en CC con 90.51; mientras que en un segundo grupo estadístico se ubicaron Q y AS; con valores de 86.26 y 86.27, respectivamente. Por lo anterior, Q y AS afectaron negativamente el PE. Los valores registrados de VE no mostraron diferencias estadísticas significativas, al igual que el IVII; por lo que en este trabajo los elicitores como tratamiento en la semilla no tienen efectos negativos sobre la calidad fisiológica de la semilla.

Tabla 4

Comparación de medias DMS ($P=0.05$) para las variables M, PG, PE, VE y IVII para fuente de variación de elicitores en variedades de frijol

Elicitor	M	PG	PE	VE	IV II
Testigo	26.21 ^c	91.16^a	89.34 ^{ab}	13.98^a	168.16^a
Carbonato de calcio	58.87 ^{ab}	87.40 ^a	90.51^a	13.73 ^a	162.07 ^a
Ácido salicílico	44.29 ^b	89.33 ^a	86.26 ^b	12.96 ^a	150.39 ^a
Quitosano	60.18^a	87.14 ^a	86.27 ^b	12.93 ^a	149.65 ^a
DMS	0.79	11.55	7.18	1.23	20.76

Nota: M, Mortalidad; PG, Porcentaje de germinación; PE, Porcentaje de emergencia; VE, Velocidad de Emergencia y IVII, índice de vigor II.
Elaboración propia.

Los valores de medias por dosis en las variables evaluadas que se muestran en tabla 5, únicamente se encontraron diferencias estadísticamente significativas en el PM sobre *Z. subfasciatus* a las 96 h de exposición. Para las demás variables no existe efecto por dosis. Por lo anterior, no es conveniente utilizar dosis altas de elicitors debido a que los caracteres de calidad de semilla evaluados no registraron beneficios.

Tabla 5
Comparación de medias para dosis de elicitors en las variables M, PG, PE, VE y IVII en frijol, Roque, Celaya, Guanajuato, México

Dosis	M	PG	PE	VE	IV II
1	42.09 ^b	89.11^a	88.04 ^a	13.36 ^a	154.59 ^a
2	52.85^a	88.43 ^a	88.24^a	13.44^a	160.53^a
DMS	0.56	8.17	5.08	0.87	14.68

Nota: M, Mortalidad; PG, Porcentaje de germinación; PE, Porcentaje de emergencia; VE, Velocidad de emergencia y IVII índice de vigor II.
Elaboración propia.

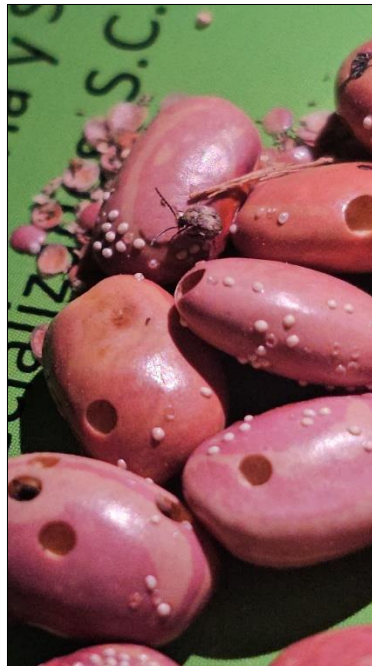


Figura 1. Daño por gorgojo en la semilla de frijol.
Imagen elaborada por los autores.

DISCUSIÓN

Estos resultados de respuesta de las variedades de frijol a las variables de estudio obedecen al efecto de antibiosis que confiere la cantidad de una proteína denominada arcelina en los cotiledones según lo señalado por Harmsen, Bliss, Cardona, Posso y Osborn (1987) y Miranda, Toscano y Fernandes (2002), que ha sido la responsable del efecto de resistencia

al ataque de *Z. subfasciatus*. Trabajos recientes mencionan que el escutelo de la semilla es un tejido como una fuente excepcionalmente rica de diversos metabolitos especializados que median la protección contra el estrés biótico y protección contra plagas. En plántulas de maíz y sorgo depende en gran medida de los benzoxazinoides (BX) y los glucósidos cianogénicos, respectivamente (Ding et al. 2020; Montini et al., 2020).

La menor tasa de germinación en el caso de Flor de Mayo se puede atribuir a que esta variedad tiene mayor adherencia de la testa a los cotiledones, por lo que la imbibición es lenta (Yakhin, Lubyanov, Yakhin, & Brown, 2017); por tanto, el porcentaje de germinación disminuye y se retrasa. La presencia y producción de defensas complejas en la escutela de las plántulas presenta una oportunidad para los descubrimientos de las vías bioquímicas que subyacen a las interacciones planta-microbio y planta-herbívoro (Ding et al., 2020).

El PE de la variedad Negro registrado en el presente trabajo apenas alcanzó 85.05% contra 90.66% del frijol Peruano, que se ubicó en diferente grupo estadístico con el valor más alto. Resultados que coinciden con lo señalado por Debeaujon, Léon-Kloosterziel y Koornneef (2000), quienes concluyen que el frijol Negro contiene mayor contenido de flavonoides que restringen la germinación de la semilla. La resistencia sistémica inducida es una de las estrategias de defensa de las plantas iniciadas por microbios beneficiosos como PGPB y hongos micorrízicos contra el ataque de patógenos (Park & Ryu, 2021). Muchas plantas como frijol, pepino, tabaco, tomate, clavel, rábano y *A. thaliana* pueden usar ISR como un mecanismo de protección contra una variedad de patógenos de plantas; incluyendo bacterias, hongos, virus e insectos (Nie et al., 2017).

El IVII fue mayor también para la variedad Peruano con 199.61; por el contrario, las variedades Flor de Mayo y Negro registraron valores estadísticamente similares y en promedio registraron 136.5%; esto indica que el frijol Peruano fue 31% más vigoroso que las otras dos variedades en estudio. Los resultados observados son congruentes con lo señalado por Gholami, Sharafi, Ghasemi y Sharafi (2009), quienes indicaron que la ventaja del tamaño grande de una semilla es que produce plántulas con mayor tasa de crecimiento que las observadas con semillas pequeñas. También se debe considerar que las diferencias entre parámetros evaluados de calidad de semilla pueden atribuirse a las características propias de cada genotipo; como es la testa, el color y el tamaño de la semilla (Rangel-Lucio et al., 2011).

Los resultados de la calidad de semilla de frijol como porcentaje de germinación, porcentaje de emergencia, velocidad de emergencia y vigor no son afectados por los elicitores usados como quitosano, ácido salicílico y carbonato de calcio. Los recubrimientos de las semillas a base de quitosano se han aplicado para su protección contra plagas y enfermedades, y se reportan que favorece el crecimiento de la planta y mejora la calidad fisiológica como el vigor (Ajijah, Fiodor, Pandey, Rana, & Pranaw, 2023; Chakraborty et al., 2020; Mourni, Brodal, & Romanazzi, 2023). Este tipo de aplicación no se limita únicamente a aprovechar su actividad fungicida o su bioactividad como inductor de la germinación (Khaptsev, Lugovitskaya, Shipovskaya, & Shipenok, 2021); aunque se ha utilizado poco para la preparación de semillas sintéticas (Kulus, 2019), parece tener el potencial necesario para ello.

Para el caso del quitosano existen estudios que muestran resultados contrastantes, Guan, Hu, Wang y Shao (2009) no encontraron efecto significativo en germinación al aplicarlo como tratamiento en semillas de maíz. Otros resultados que reportan Qu et al. (2019) concluyen que con el tratamiento de quitosano en maíz aumenta el crecimiento

radicular de la plántula y mejora el vigor. Asimismo, Bhaskara Reddy, Arul, Angers y Couture (1999) encontraron que al tratar semilla de trigo con quitosano mejora su habilidad para germinar y González, López y Franco (2005) observaron que, al utilizar soluciones de AS en diferentes concentraciones para germinar semillas de arroz, se registraron efectos estimulantes en la germinación. Adicionalmente, Silva-Aguayo, González-Gómez, Hepp-Gallo y Casals-Bustos (2004) concluyen que la tierra de diatomea y carbonato de calcio pueden controlar hasta 80% a *Sitophilus zeamais*; mientras que el porcentaje de germinación no fue afectado.

Samarah, AL- Quraan, Massad y Welbaum (2020) encontraron que con la aplicación de quitosano en la semilla de pimiento aumentó el porcentaje de germinación; también Shao, Hu, Song y Hu (2005) encontraron una mejora en el vigor de plántulas de maíz al aplicar quitosano como tratamiento a la semilla y González et al. (2005) indicaron que, al utilizar soluciones de AS en diferentes concentraciones para germinar semillas de arroz, ciertas concentraciones mostraron mayores índices de vigor. También reportan que con la aplicación del ácido salicílico se mejora el aspecto de planta, sanidad y rendimiento del frijol (Serrano-Peraza & Rivas-Flores, 2023).

CONCLUSIONES

Para la mortalidad de *Z. subfasciatus* se alcanzaron valores de 53.79% a las 96 h en frijol Negro. Para el control de gorgojo se recomienda la aplicación de quitosano y el ácido salicílico porque registraron la mayor mortalidad. Estos tratamientos se recomiendan para la protección de semilla en almacén debido a que no afectaron las variables de calidad; como la germinación, porcentaje de emergencia, velocidad de emergencia y vigor de las plántulas de frijol.

Contribución de los autores en el desarrollo del trabajo

Los autores declaran que contribuyeron por igual para la realización de esta investigación.

Conflicto de interés

Los autores declaran que no existe conflicto de interés.

REFERENCIAS

- Abbott, W. S. (1925). A method for computing the effectiveness of an insecticide. *Journal of Economic Entomology*, 18(2), 265-267. <https://doi.org/10.1093/jee/18.2.265a>
- Ajjah, N., Fiodor, A., Pandey, A. K., Rana, A., & Pranaw, K. (2023). Plant growth-promoting bacteria (PGPB) with biofilm-forming ability: A multifaceted agent for sustainable agriculture. *Diversity* 15(1), 112. <https://doi.org/10.3390/d15010112>
- Ávila Marioni, M. R., Espinoza Arellano, J. de J., González Ramírez, H., Rosales Serna, R., Pajarito Ravalero, A., & Zandate Hernández, R. (2011). Caracterización de los productores, adopción e impacto económico del uso de la variedad de frijol "Pinto Saltillo" en el norte centro de México. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 29, 682-692. <https://doi.org/10.22004/ag.econ.114472>

- Bhaskara Reddy, M. V., Arul, J., Angers, P., & Couture, L. (1999). Chitosan treatment of wheat seeds induces resistance to *Fusarium graminearum* and improves seed quality. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47(3), 1208-1216. <https://doi.org/10.1021/jf981225k>
- Burgos-Avila, Y. E., Álvarez-Herrera, J. G., & Pinto-Acero, Y. L. (2021). Efecto fisiológico de elicitors en el crecimiento y desarrollo de papa (*Solanum tuberosum* L.) variedad Diacol Capiro. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 24(2). <https://doi.org/10.31910/rudca.v24.n2.2021.1337>
- Caicedo-López, L. H., Villagómez Aranda, A. L., Sáenz de la O, D., Zavala Gómez, C. E., Espinoza Márquez, E., & Romero Zepeda, H. (2021). Elicitors: implicaciones bioéticas para la agricultura y la salud humana. *Revista Bioética*, 29(1), 76-86. <https://doi.org/10.1590/1983-80422021291448>
- Cerna Chávez, E., Landeros Flores, J., Ochoa Fuentes, Y. M., Guevara Acevedo, L., Badi Zabeth, M. H., & Olalde Portugal, V. (2010). Evaluación de aceites y extractos vegetales para el control de *Sitophilus zeamais* y su efecto en la calidad de semilla de maíz. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, 42(1), 135-145. <https://bdigital.uncu.edu.ar/3513>
- Chakraborty, M., Hasanuzzaman, M., Rahman, M., Khan, M. A. R., Bhowmik, P., Mahmud, N. U., ... Islam, T. (2020). Mechanism of plant growth promotion and disease suppression by chitosan biopolymer. *Agriculture*, 10(12), 624. <https://doi.org/10.3390/agriculture10120624>
- Dannehl, D. (2018). Effects of electricity on plant responses. *Scientia Horticulturae*, 234, 382-392. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.02.007>
- Debeaujon, I., Léon-Kloosterziel, K. M., & Koornneef, M. (2000). Influence of the testa on seed dormancy, germination, and longevity in *Arabidopsis*. *Plant Physiology*, 122(2), 403-414. <https://doi.org/10.1104/pp.122.2.403>
- Delgado-Oramas, B. P. (2020). La resistencia inducida como alternativa para el manejo de plagas en las plantas de cultivo. *Revista de Protección Vegetal*, 35(1). <https://censa.edicionescervantes.com/index.php/RPV/article/view/1084>
- Ding, Y., Weckwerth, P. R., Poretsky, E., Murphy, K. M., Sims, J., Saldivar, E., ... Huffaker, A. (2020). Genetic elucidation of interconnected antibiotic pathways mediating maize innate immunity. *Nature Plants*, 6, 1375-1388. <https://doi.org/10.1038/s41477-020-00787-9>
- Fakorede, M. A. B., & Ayoola, O. A. (1980). Relationship between seedling vigor and selection for yield improvement in maize. *Maydica*, 25(3), 135-147.
- FAO, & AfricaSeeds. (2019). *Materiales para capacitación en semillas - Módulo 3: Control de calidad y certificación de semillas* [Informe técnico]. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/df331df4-4abd-4174-a496-ba40649eddf/content>
- FIRA (2022). *Panorama alimentario: Frijol 2022* [Reporte técnico]. <https://sursureste.org.mx/wp-content/uploads/2023/01/Panorama-Agroalimentario-Frijol-2022.pdf>.
- Gholami, A., Sharafi, S., Ghasemi, S., & Sharafi, A. (2009). Pinto bean seed reserve utilization and seedling growth as affected by seed size, salinity and drought stress. *Journal of Food, Agriculture and Environment*, 7(2), 411-414. <https://www.wflpublisher.com/Abstract/1673>
- González, T. A., López, Y., & Franco, I. (2005). Efecto del ácido acetil salicílico sobre la germinación y el crecimiento de la plántula de arroz (*Oryza sativa* L.). *Revista Cubana del Arroz*, 7(2), 15-22.
- Guan, Y.-j., Hu, J., Wang, X.-j., & Shao, C.-x. (2009). Seed priming with chitosan improves maize germination and seedling growth in relation to physiological changes under low temperature stress. *Journal of Zhejiang University: SCIENCE B*, 10, 427-433. <https://doi.org/10.1631/jzus.B0820373>

- Harmsen, R., Bliss, F. A., Cardona, C., Posso, C. E., & Osborn, T. C. (1987). *Transferring genes for arcelin protein from wild to cultivated beans: Implications for bruchid resistance* [Informe técnico]. Bean Improvement Cooperative. <https://hdl.handle.net/10568/88622>
- ISTA (2005). *International Rules for Seed Testing* [Reglamento]. Zürich, Switzerland. <https://www.seedtest.org/en/publications/international-rules-seed-testing.html>
- Khaptsev, Z., Lugovitskaya, T., Shipovskaya, A., & Shipenok, K. (2021). Biological activity of chitosan aspartate and its effect on germination of test seeds. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Sciences*, 723(2), 022074. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/723/2/022074>
- Kharb, R. P. S., Lather, B. P. S., & Deswal, D. P. (1994). Prediction of field emergence through heritability and genetic advance of vigour parameters. *Seed Science and Technology*, 22(3), 461-466.
- Kulus, D. (2019). Application of synthetic seeds in propagation, storage, and preservation of Asteraceae plant species. En M. Faisal y A. A. Alatar (Eds.), *Synthetic Seeds: Germplasm Regeneration, Preservation and Prospects* (155–179). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-24631-0_6
- Lagunes, T. A. (1994). *Extractos de polvos vegetales y polvos minerales para el combate de plagas del maíz y del frijol en la agricultura de subsistencia*. Colegio de Postgraduados.
- Lorenzo Quispe, J. M. (2023). Análisis de calidad física y fisiológica en semillas de frijol (*Phaseolus vulgaris*) var. Panamito. *Revista Latinoamericana de Ciencias Agrarias*, 1(2), 19-29. <https://doi.org/10.5281/zenodo.11166439>
- Maguire, J. D. (1962). Speed of germination: Aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *Crop Science*, 2(2), 176-177. <https://doi.org/10.2135/cropsci1962.0011183X000200020033x>
- Miranda, J. E., Toscano, L. C., & Fernandes, M. G. (2002). Avaliação da resistência de diferentes genótipos de *Phaseolus vulgaris* à *Zabrotes subfasciatus* (Boh.) (Coleóptera: Bruchidae). *Boletín de Sanidad Vegetal. Plagas*, 28, 571-576. https://www.mapama.gob.es/app/ministerio/pags/Biblioteca/Revistas/pdf_plagas%2FBSVP-28-04-571-576.pdf
- Montini, L., Crocoll, C., Gleadow, R. M., Motawia, M. S., Janfelt, C., & Bjarnholt, N. (2020). Matrix-assisted laser desorption/ionization-mass spectrometry imaging of metabolites during sorghum germination. *Plant Physiology*, 183(3), 925–942. <https://doi.org/10.1104/pp.19.01357>
- Mourni, M., Brodal, G., & Romanazzi, G. (2023). Recent innovative seed treatment methods in the management of seedborne pathogens. *Food Security*, 15, 1365-1382. <https://doi.org/10.1007/s12571-023-01384-2>
- Naik, P. M., & Al-Khayri, J. M. (2016). Abiotic and Biotic Elicitors–Role in Secondary Metabolites Production through In Vitro Culture of Medicinal Plants. En A. K. Shanker y C. Shanker (Eds.), *Abiotic and biotic stress in plants: Recent advances and future perspectives*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/61442>
- Nie, P., Li, X., Wang, S., Guo, J., Zhao, H., & Niu, D. (2017). Induced systemic resistance against *Botrytis cinerea* by *Bacillus cereus* AR156 through a JA/ET- and *NPR1*-dependent signaling pathway and activates PAMP-triggered immunity in *Arabidopsis*. *Frontiers in Plant Science*, 8, 238. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00238>
- Park, Y.-S., & Ryu, C.-M. (2021). Understanding plant social networking system: Avoiding deleterious microbiota but calling beneficials. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(7), 3319. <https://doi.org/10.3390/ijms22073319>
- Qu, D. Y., Gu, W. R., Zhang, L. G., Li, C. F., Chen, X. C., Li, J., ... Wei, S. (2019). Role of chitosan in the regulation of the growth, antioxidant system and photosynthetic

- characteristics of maize seedlings under cadmium stress. *Russian Journal of Plant Physiology*, 66,140-151. <https://doi.org/10.1134/S102144371901014X>
- Rangel-Lucio, J. A., Juárez-Goiz, J. M., García-Moya, E., Fernández-Andrés, M. D., Rodríguez-Hernández, C., & Alvarado-Bárcena, E. (2011). Oleorresina de jícama y calidad de semilla de frijol infestada con *Acanthoscelides obtectus* Say. *Agronomía Mesoamericana*, 22(1), 109-116. <https://doi.org/10.15517/am.v22i1.8673>
 - Riseh, R. S., Hassanisaadi, M., Vatankhah, M., Babaki, S. A., & Barka, E. A. (2022). Chitosan as a potential natural compound to manage plant diseases. *International Journal of Biological Macromolecules*, 220, 998-1009. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.08.109>
 - Rodríguez-Pedroso, A. T., Ramírez-Arrebato, M. Á., Cárdenas-Travieso, R. M., Falcón-Rodríguez, A., & Bautista-Baños, S. (2006). Efecto de la quitosana en la inducción de la actividad de enzimas relacionadas con la defensa y protección de plántulas de arroz (*Oryza sativa* L.) contra *Pyricularia grisea* Sacc. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 24(1), 1-7. <https://www.redalyc.org/pdf/612/61224101.pdf>
 - Rojas-Pirela, M., Carillo, P., Lárez-Velásquez, C. & Romanazzi, G. (2024). Effects of chitosan on plant growth under stress conditions: similarities with plant growth promoting bacteria. *Frontiers in Plant Science*, 15, 1423949. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1423949>
 - Samarah, N. H., AL-Quraan, N. A., Massad, R. S., & Welbaum, G. E. (2020). Treatment of bell pepper (*Capsicum annuum* L.) seeds with chitosan increases chitinase and glucanase activities and enhances emergence in a standard cold test. *Scientia Horticulturae*, 269, 109393. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109393>
 - SAS Institute Inc. (2011). *Base SAS 9.3 Procedures Guide* [Manual de software]. SAS Institute Inc. <https://support.sas.com/en/documentation/documentation-for-SAS-93-and-earlier.html>
 - Serrano-Peraza, W. V., & Rivas-Flores, A. W. (2023). Efecto del ácido salicílico sobre el rendimiento del frijol común (*Phaseolus vulgaris*) Var. CENTA Sequía. *Agrociencia*, 7(24), 29-35. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10278362>
 - Shao, C. X., Hu, J., Song, W. J., & Hu, W. M. (2005). Effects of seed priming with chitosan solutions of different acidity on seed germination and physiological characteristics of maize seedling. *Journal of the Zhejiang University: Agriculture and Life Sciences*, 31(6), 705-708. <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/20053221241>
 - SIAP. (2023). *Cierre de la producción agrícola por cultivo: Anuario Estadístico de la producción agrícola* [Base de datos]. Gobierno de México. https://nube.agricultura.gob.mx/cierre_agricola/
 - Silva-Aguayo, G., González-Gómez, P., Hepp-Gallo, R., & Casals-Bustos, P. (2004). Control de *Sitophilus Zeamais* Motschulsky con polvos inertes. *Agrociencia*, 38(5),529-536. <https://www.agrociencia-colpos.org/index.php/agrociencia/article/view/346>
 - Yakhin, O. I., Lubyantsev, A. A., Yakhin, I. A., & Brown, P. H. (2017). Biostimulants in plant science: a global perspective. *Frontiers in Plant Science*, 7, 2049. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.02049>



Esta obra está bajo una licencia internacional [Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

Usted es libre de Compartir — copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato

Adaptar — remezclar, transformar y construir a partir del material

La licenciente no puede revocar estas libertades en tanto usted siga los términos de la licencia

Atribución — Usted debe dar crédito de manera adecuada, brindar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que usted o su uso tienen el apoyo de la licenciente.

NoComercial — Usted no puede hacer uso del material con propósitos comerciales.

CompartirIgual — Si remezcla, transforma o crea a partir del material, debe distribuir su contribución bajo la misma licencia del original.