



Extractos botánicos acuosos para el control de *Spodoptera frugiperda* (JE Smith) en maíz, su perfil cromatográfico y compatibilidad con la abeja *Melipona beecheii* (Bennett) †

[Aqueous botanical extracts for the control of *Spodoptera frugiperda* (JE Smith) in corn, its chromatographic profile and compatibility with the bee *Melipona beecheii* (Bennett)]

Esaú Ruiz-Sánchez¹, Arnoldo E. Alfaro-Corres^{1*}, Daniel González-Mendoza², Federico A. Gutiérrez-Miceli³, Arturo Reyes-Ramírez¹, René Garruña-Hernández⁴ and Emanuel Hernández-Núñez⁵

¹Tecnológico Nacional de México, Campus Conkal. Avenida Tecnológico s/n. C.P. 97345, Conkal, Yucatán, México. Email: enrique_alfa_corres@hotmail.com

²Instituto de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma de Baja California. Calle Delta s/n. C. P. 21705. Mexicali, Baja California, México.

³Tecnológico Nacional de México, Campus Tuxtla Gutiérrez. Carr. Panamericana Km 1080. C.P. 29050.

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México.

⁴CONAHCYT-Instituto Tecnológico de Conkal. Avenida Tecnológico s/n. C.P. 97345, Conkal, Yucatán, México

⁵Instituto Tecnológico Superior de Calkiní. Av. Ah Canul s/n por carr. Federal. C. P. 24900. Calkiní, Campeche, México.

*Corresponding author

SUMMARY

Background. One of the promising alternatives in the control of *Spodoptera frugiperda* is the use of botanical extracts due to their effectiveness and safety to the environment. **Objective.** To evaluate aqueous botanical extracts (ABE) in reducing damage by *S. frugiperda* in corn and their compatibility with the bee *Melipona beecheii*. **Methodology.** Aqueous foliar extracts of *Azadirachta indica*, *Capsicum chinense*, *Chenopodium ambrosioides* and *Pluchea sericea* at 2% (m/v) were applied to maize plants of the Sorento hybrid and their activity against *S. frugiperda* was determined under a completely randomized block design in two experiments. The toxicity of ABE ingestion was also evaluated in the laboratory in *M. beecheii* and the chromatographic profile of the extracts was carried out using gas chromatography coupled to mass spectrometry. **Results.** The application of ABE in corn had no effect on the percentage of damaged plants, but did reduce the severity of damage (degree of damage) in Experiment 1. The ABE had no effects on the mortality or walking activity of *M. beecheii*. The major compounds of ABEs include terpenoids, phenols and fatty acids. **Implications.** The use of ABE can be an alternative for the control of *S. frugiperda*, but it is necessary to continue with evaluations of different concentrations and application frequencies. **Conclusions.** ABEs had no effects on the incidence of damage by *S. frugiperda*. Its effects on damage severity were inconsistent. ABEs could be compatible with pollinators, such as *M. beecheii*.

Key words: Botanical insecticides; plant extracts; maize pests.

RESUMEN

Antecedentes. Una de las alternativas promisorias en el control de *Spodoptera frugiperda* es el uso de extractos botánicos debido a su efectividad e inocuidad al ambiente. **Objetivo.** Evaluar extractos botánicos acuosos (EBA) en la disminución de daño por *S. frugiperda* en maíz y su compatibilidad con la abeja *Melipona beecheii*. **Metodología.** Extractos foliares acuosos de *Azadirachta indica*, *Capsicum chinense*, *Chenopodium ambrosioides* y *Pluchea sericea*

† Submitted October 14, 2024 – Accepted August 15, 2025. <http://doi.org/10.56369/tsaes.5924>



Copyright © the authors. Work licensed under a CC-BY 4.0 License. <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

ISSN: 1870-0462.

ORCID = E. Ruiz-Sánchez: <http://orcid.org/0000-0003-0245-3305>; A.E. Alfaro-Corres: <http://orcid.org/0000-0002-8407-4247>; D. González-Mendoza: <http://orcid.org/0000-0002-8888-5688>; F.A. Gutiérrez-Miceli: <http://orcid.org/0000-0002-5379-1518>; A. Reyes-Ramírez: <http://orcid.org/0000-0003-2348-5146>; R. Garruña-Hernández: <http://orcid.org/0000-0003-2787-0914>; E. Hernández-Núñez: <http://orcid.org/0000-0002-7467-7538>

al 2% (m/v) se aplicaron en plantas de maíz híbrido Sorento y se determinó su actividad contra *S. frugiperda* bajo un diseño de bloques completamente al azar en dos experimentos. La toxicidad por ingestión de los EBA, también se evaluó en laboratorio en *M. beecheii* y se determinó el perfil cromatográfico de los extractos mediante cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas. **Resultados.** La aplicación de los EBA en maíz no tuvo efecto en el porcentaje de plantas dañadas, pero sí disminuyó la severidad de daño (grado de daño) en el Experimento 1. Los EBA no tuvieron efectos sobre la mortalidad o actividad de caminata de *M. beecheii*. Los compuestos mayoritarios de los EBA en este estudio incluyeron terpenoides, fenoles y ácidos grasos. **Implicaciones.** El uso de EBA pueden ser una alternativa para el control de *S. frugiperda*, pero es necesario continuar con evaluaciones de diferentes concentraciones y frecuencias de aplicación. **Conclusiones.** Los EBA no tuvieron efectos sobre la incidencia de daño por *S. frugiperda*. Sus efectos sobre la severidad de daño fueron inconsistentes. Los EBA podrían ser compatibles con los polinizadores, como *M. beecheii*.

Palabras clave: insecticidas botánicos; extractos de plantas; plagas del maíz.

INTRODUCCIÓN

El gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda* Lepidoptera: Noctuidae) es una especie originaria de América, pero actualmente tiene distribución mundial y representa un riesgo enorme para la producción de maíz en África, Asia y partes de Oceanía (Kenis *et al.*, 2023). Esta plaga infecta principalmente a miembros de la familia *Poaceae*, que incluye importantes cultivos alimentarios como sorgo (*Sorghum bicolor*), arroz (*Oryza sativa*), trigo (*Triticum aestivum*) y maíz (*Zea mays*), siendo este último el de mayor preferencia por parte de la plaga (De-Groote *et al.*, 2020; Rukundo *et al.*, 2020). En maíz, *S. frugiperda* es capaz de causar daño en cualquier etapa de su crecimiento, sin embargo, los daños más severos se observan en las primeras etapas vegetativas cuando la larva se alimenta de hojas y brotes jóvenes, lo que puede llegar a causar la pérdida total de plantas (Sisay *et al.*, 2019a). Se ha documentado que *S. frugiperda* causa pérdidas en el rendimiento del maíz en todo el mundo, en América se ha observado una disminución de hasta 72%, mientras que en África el impacto ha sido más severo con pérdidas de hasta 90% (Reuben *et al.*, 2023).

La principal medida de control contra *S. frugiperda* es mediante insecticidas químicos, cuyo uso excesivo ha provocado efectos perjudiciales al ambiente y riesgos de intoxicación al hombre (Gutiérrez *et al.*, 2019; Sharma *et al.*, 2020; Zhang *et al.*, 2020; Chen *et al.*, 2023). Una de las alternativas promisorias es el uso de extractos botánicos, cuyos efectos han sido documentados en varios estudios. En trabajos de laboratorio, los extractos foliares acuosos de *Azadirachta indica*, *Ekebergia capensis*, *Melia azedarach*, *Phytolacca dodecandra*, *Schinus molle*, *Trichilia dregeana*, *Turraea floribunda* y *T. obtusifolia* causaron 80–95% de mortalidad (Sisay *et al.*, 2019b; Shilaluke y Moteetee, 2022), y con menor efectividad se han reportado los extractos foliares de *Nicotiana tabacum* y *Copaifera langsdorffii* causaron entre 20–60% de mortalidad (Sâmia *et al.*, 2016; Kardinian y Maris, 2021). En evaluaciones de campo, se ha observado que la aplicación de extractos botánicos disminuye el daño foliar por *S. frugiperda*, por

ejemplo, la aplicación de extractos de cáscaras de *Caryocar brasiliense* y extractos foliares de *Chenopodium ambrosioides* causaron disminución de 20–35% la incidencia de daño (Souza *et al.*, 2018; Kammo *et al.*, 2019), así también los extractos de semillas de *A. indica* que redujeron hasta 12% el número de plantas dañadas (Shaiba *et al.*, 2019). Estos estudios muestran que, aunque a nivel laboratorio el efecto de los extractos botánicos acuosos es alto, en pruebas de campo la supresión de daño en el cultivo de maíz es muy variable, esto se debe principalmente a la degradación de los insecticidas botánicos por factores ambientales, como altas temperaturas, radiación solar, precipitación pluvial, y también por la etapa de desarrollo larval de *S. frugiperda* al momento de la aplicación, ya que las larvas más desarrolladas son menos susceptibles. Así mismo, la posibilidad que las larvas se muevan a áreas de las plantas no asperjadas, puede evitar el efecto de los extractos en campo (Murcia-Meseguer *et al.*, 2018; Karkanis y Athanassiou, 2021; Harrison *et al.*, 2022).

Las fuentes de extractos botánicos más evaluados se han centrado en especies de Asteraceae, Lamiaceae, Meliaceae, Annonaceae y Rutaceae (Hernández-Carlos *et al.*, 2019), sin embargo, algunas especies de plantas regionales de otras familias vegetales han sido poco estudiadas. Por ejemplo, la cachanilla (*Pluchea sericea*), que crece en los desiertos de México, posee actividad insecticida y repelente contra *Bemisia tabaci* (80 y 90%, respectivamente) (Ail-Catzim *et al.*, 2015), el epazote (*C. ambrosioides*), aunque es utilizado en medicina tradicional, posee actividad insecticida en *B. tabaci* y *Alphitobius diaperinus* (27 y 95%, respectivamente) (Arena *et al.*, 2018; Vite-Vallejo *et al.*, 2018), el chile habanero (*Capsicum chinense*), cultivo de alto valor económico en la Península de Yucatán, se ha documentado efectos insecticidas (55–80% de mortalidad) sobre *Spodoptera littoralis* y *Tribolium castaneum* (Ahmed *et al.*, 2021; Alfaro-Corres *et al.*, 2023). Cabe indicar que una de las especies más conocidas y estudiadas es el neem (*A. indica*), planta modelo ampliamente utilizada en el control de insectos de importancia médica, veterinaria y agrícola (Mboussi *et al.*, 2018; Ayinde *et al.*, 2020;

Farooq *et al.*, 2020). Los productos botánicos representan una alternativa ecológica debido a su baja persistencia en el ambiente, sin embargo, se ha documentado que algunos compuestos pueden llegar a presentar actividad insecticida contra insectos no objetivos tales como las abejas consideradas uno de los principales grupos de polinizadores en el mundo (Catania *et al.*, 2023). La Península de Yucatán, es una región con una alta diversidad de abejas sin aguijón, dentro de la cuales *Melipona beecheii* es la especie más cultivada debido a su mayor volumen de producción de miel, dichas especies de abejas visitan diversos cultivos y plantas silvestres en búsqueda de néctar y polen (Paris *et al.*, 2020). Por lo anterior, se realizó el presente estudio para evaluar extractos botánicos acuosos (EBA) en la disminución del daño de *Spodoptera frugiperda* en maíz bajo condiciones de campo, su toxicidad en la abeja sin aguijón *Melipona beecheii* y el perfil cromatográfico de los EBA.

MATERIALES Y MÉTODOS

Recolección y preparación de extractos acuosos

Hojas de plantas adultas de *P. sericea* y *C. chinense* fueron recolectadas del ejido Nuevo León en el valle de Mexicali. Las hojas de *C. ambrosioides* y *A. indica* fueron recolectadas en Conkal, Yucatán, México. Las hojas se secaron en una estufa a 60 °C por cinco días y posteriormente se molieron en un molino de laboratorio Wiley Thomas Scientific 4 hasta convertir las hojas secas en polvo fino. Para preparar los extractos, a una concentración de 2 % peso/volumen, muestras de 6 g de hojas en polvo se adicionaron a 300 mL de agua destilada y se calentó a 50 °C por 20 min. Posteriormente, el extracto se agitó durante 24 h a 28°C y se centrifugó a 5000 rpm (VWR®, Clinical 50) durante 10 min para remover impurezas y obtener una solución transparente. Los extractos botánicos acuosos (EBA) se prepararon en Conkal, Yucatán, México, 12 h antes de su aplicación en campo. Previo a su uso se almacenaron a 4°C.

Establecimiento de maíz en campo

Se establecieron dos experimentos, el experimento 1 en noviembre de 2022 y el experimento 2 en septiembre de 2023. Se usó semilla híbrida de maíz blanco híbrido Sorento (Syngenta México). El cultivo se estableció en el área de producción e investigación hortícola del Tecnológico Nacional de México, Campus Conkal, ubicado en Conkal, Yucatán, México. La plantación tuvo distribución de 0.2 m entre plantas y 1 m entre hileras. El cultivo se regó mediante un sistema de riego por goteo para mantener el suelo a capacidad de campo y se usó una fertilización 150 kg N, 120 kg P en ambos experimentos. No se usó K por el alto contenido de este mineral en suelos de Yucatán (Pierre *et al.*, 2022).

Diseño experimental y aplicación de tratamientos

El experimento se estableció en bloques completamente al azar con cuatro repeticiones. Las parcelas individuales dentro de los bloques correspondientes a cada tratamiento consistieron en tres hileras de maíz de 10 m de largo (150 plantas). Los tratamientos consistieron en extractos vegetales acuosos al 2% en masa/volumen (6 g en 300 mL agua) de *A. indica*, *C. ambrosioides*, *C. chinense* y *P. sericea*. Los extractos se aplicaron dos veces al follaje de las plantas de maíz, la primera aplicación en etapa fenológica V5 y la segunda aplicación cuatro días después de la primera, en la etapa fenológica V6 (Eroglu *et al.*, 2019). Se usó agua como control absoluto, y 60 mg L⁻¹ de spinetoram, equivalente a 1.5 ml L⁻¹ del insecticida comercial Palgus (60 g de i.a spinetoram por L⁻¹) como control positivo. Para los tratamientos, la aplicación de los extractos se hizo de 8:00 a 10:00 am, con atomizadores manuales hasta lograr cobertura total del follaje a punto de escurrimiento.

Evaluación de daño por *Spodoptera frugiperda* en maíz

La evaluación del daño foliar causado por infestación natural de larvas de *S. frugiperda* en maíz se examinó previo a la primera aplicación (etapa fenológica V5), y a los ocho días posteriores a la primera aplicación (etapa fenológica V7). La incidencia de daño (porcentaje de plantas dañadas) se determinó contabilizando de manera visual el número de plantas dañadas de un grupo de 50 plantas en cada parcela experimental. Esto se hizo en las cuatro parcelas experimentales (n=4) de cada tratamiento. Para la evaluación del grado de daño foliar, se seleccionaron 5 plantas al azar en cada una de las cuatro parcelas experimentales (n=20) de cada tratamiento. En cada planta se muestreó las dos hojas más jóvenes extendidas del cogollo, usando la escala visual de grado de daño descrita por Davis y William (1992), con 10 grados, de 0 (daño no visible) a 9 (daño severo en el cogollo y hojas nuevas totalmente destruidas).

Bioensayo de toxicidad letal y actividad de caminata en *Melipona beecheii*

Adultas de *M. beecheii* se recolectaron en las colonias mantenidas en cajas de madera. Se usaron tres colonias en total. Las abejas pertenecientes a la misma colonia se colocaron en botes de plástico de 500 mL (10 abejas por bote) con una sección de malla tul (20 cm²) a los lados para facilitar el intercambio de aire. Las abejas se sometieron a un período de ayuno de 2 h, previo a la prueba de toxicidad oral. Se colocó 1 mL de dieta contaminada con EBA (2% m/v) de manera individual en un microtubo de centrífuga con punta perforada, colocado en la sección de malla tul (Botina *et al.*,

2020). Además de los grupos expuestos a los extractos botánicos, se tuvo un grupo control negativo, alimentado sólo con sacarosa: agua destilada (1:1 m/v), y un grupo control positivo spinetoram (Palgus®, 1.5 ml L⁻¹). La mortalidad se registró a las 24 y 48 h después de la exposición. Los individuos se consideraron muertos si no respondían al toque con un pincel fino. Cada bote con 10 abejas se consideró una repetición. Se tuvieron tres repeticiones por cada tratamiento.

Para la prueba de actividad de caminata, las abejas se expusieron a los EBA como se describió anteriormente. Después de 24 y 48 h de exposición, los insectos se liberaron individualmente en tubos de plástico de 50 cm de longitud y 2 cm de diámetro, fijados en una plataforma de madera de 75 x 30 x 15 cm. En el extremo opuesto del tubo se colocó una lámpara fluorescente (60 W, 800 lúmenes) que sirvió como señuelo atractivo para las abejas debido al fototropismo positivo (Piovesan *et al.*, 2020). Treinta segundos antes del inicio de la prueba, se encendió la lámpara y se introdujo una abeja en cada tubo. Cada tratamiento consistió en un total de 10 abejas. Cada abeja se consideró una repetición. Se midió el tiempo que le tomó a cada abeja caminar 50 cm hacia la fuente de luz y se calculó la velocidad promedio de caminata de cada abeja. Se tuvo un grupo control que recibió una dieta libre de insecticidas.

Análisis de cromatografía de gases acoplado a espectrometría de masas (CG-MS)

Para el análisis cromatográfico, 20 mg del extracto acuoso fue disuelto en 1 mL de metanol grado HPLC. Las diluciones de los extractos acuosos se analizaron mediante un sistema GC-MS Agilent 5977 MSD con una columna HP-5MS (30 mx 0.25 mm, de espesor de película de 0.25 µm) y helio como gas portador (1 mL/min). La temperatura de inyección fue 270 °C y la temperatura de la línea fue de 280 °C. La temperatura inicial del horno fue de 50 °C durante 1 min, después se elevó a 300 °C a una velocidad de 7 °C/min y se mantuvo a 300 °C durante 5 min. Los espectros de masas se registraron a 70 eV con intervalos de masas m/z 50-650. La cuantificación de cada compuesto fue calculada a partir de la integración de picos en los cromatogramas y la identificación de los componentes se realizó mediante la comparación con la base de datos NIST 2017.

Diseño experimental y análisis de datos

Los datos de la evaluación de incidencia (porcentaje de plantas con daño) y grado de daño se analizaron mediante una prueba t de Student comparando las

medias previo a la aplicación de los extractos botánicos y ocho días después. Los datos presentaron distribución normal y provinieron de muestras independientes. Los datos de toxicidad oral y efecto de los extractos en la actividad de caminata de *M. beecheii* se analizaron mediante análisis de varianza (ANOVA) con una prueba de comparación de medias Tukey ($p < 0.05$). Se constató la homogeneidad de varianza y distribución normal de los datos. Todos los análisis se realizaron con el software Infostat versión 2018.

RESULTADOS

Supresión de *S. frugiperda*

El porcentaje de plantas dañadas estuvo entre 77 a 93% en el experimento 1 y de 47 a 79% en el experimento 2 previo a la aplicación de los tratamientos (etapa V5 del maíz). La aplicación de extractos botánicos no disminuyó el porcentaje de plantas dañadas en ninguno de los dos experimentos. La aplicación de spinetoram, como control positivo, causó disminución significativa ($p < 0.05$) en el porcentaje de plantas dañadas, de 90 a 63% en el experimento 1 y de 79 a 62% en el experimento 2 (Figura 1).

Según la escala de Davis y William (1992), el grado de daño foliar estuvo entre 5.6 a 6.2 en el experimento 1 y de 3.3 a 4.2 en el experimento 2 previo a la aplicación de los tratamientos (etapa V5 del maíz). La aplicación de los extractos botánicos causó disminución significativa en el grado de daño únicamente en el experimento 1 (4.3 a 5.3) a los 8 días de la primera aplicación (etapa V7), ya que en el experimento 2 el grado de daño aumentó en las plantas tratadas con los extractos botánicos y en las plantas control, sobre todo en este último grupo de plantas. El spinetoram causó disminución significativa ($p < 0.05$) en el grado de daño en ambos experimentos, con valores de 5.7 a 3.2 en el experimento 1 y de 4.2 a 2.5 en el experimento 2 (Figura 2).

Compatibilidad de los extractos botánicos con *Melipona beecheii*

La exposición oral de *M. beecheii* a los extractos botánicos acuosos no causó mortalidad en ninguno de los dos periodos de evaluación (24 y 48 h). El control positivo, spinetoram, provocó 100% de mortalidad de *M. beecheii* a las 24 h de exposición (Tabla 1). Sobre la actividad de caminata de *M. beecheii*, ésta fue de 2.9 a 3.5 cm s⁻¹ a las 24 h y de 2.8 a 3.2 cm s⁻¹ a las 48 h (Tabla 1). La exposición de las abejas a los extractos botánicos no tuvo efecto en la velocidad de caminata ($p > 0.05$).

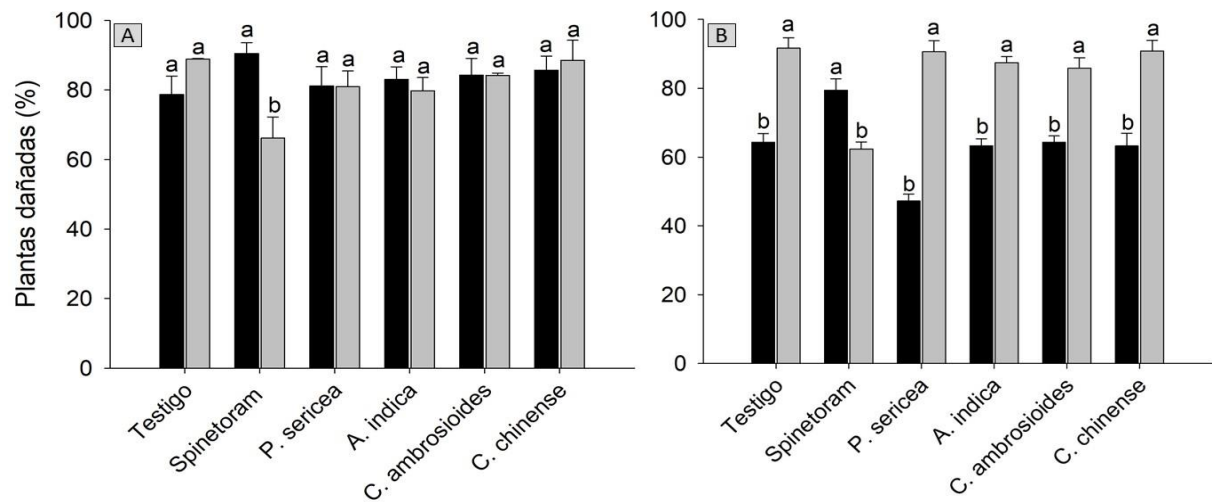


Figura 1. Porcentaje de plantas dañadas por *Spodoptera frugiperda* en maíz previo a la aplicación (etapa V5; barra negra) y ocho días después de la aplicación (etapa V7; barra gris) de extractos botánicos acuosos en el experimento 1 (A) y experimento 2 (B). Las barras muestran promedios $\pm$ E.E. Letras diferentes sobre las barras representan diferencia estadística significativa ($p < 0.05$, $n=4$).

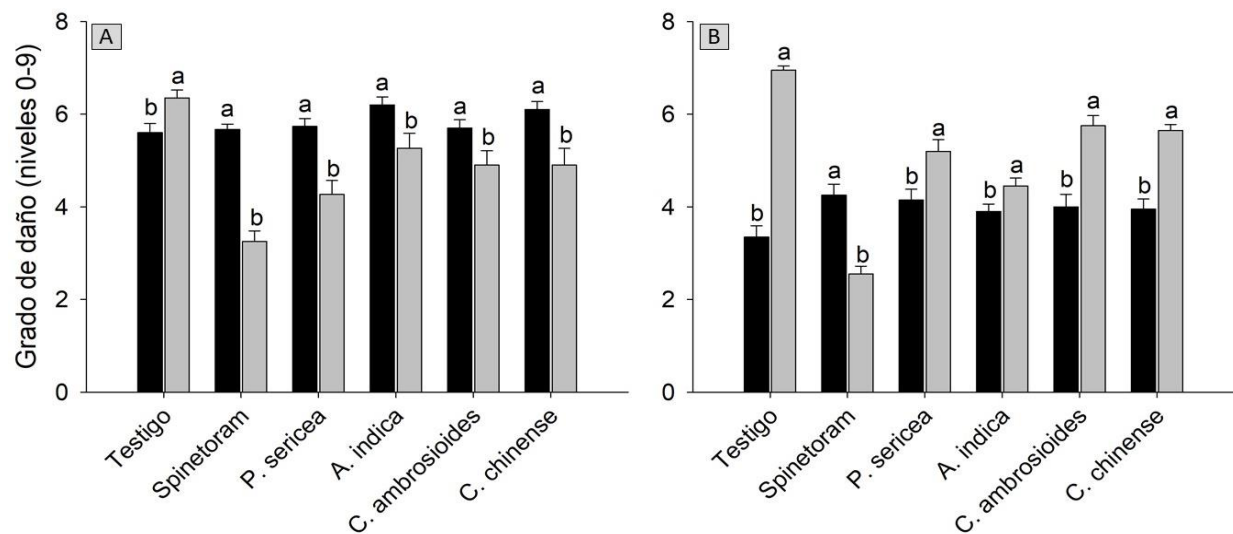


Figura 2. Grado de daño foliar por *Spodoptera frugiperda* en maíz previo a la aplicación (etapa V5; barra negra) y ocho días después de la aplicación (etapa V7; barra gris) de extractos botánicos acuosos en el experimento 1 (A) y experimento 2 (B). Las barras muestran promedios $\pm$ E.E. Letras diferentes sobre las barras representan diferencia estadística significativa ($p < 0.05$, $n=20$).

Tabla 1. Mortalidad y velocidad media de caminata de *Melipona beecheii* después de 24 y 48 h de exposición oral a los extractos botánicos acuosos.

Tratamientos (Extractos botánicos)	Mortalidad (%)		Velocidad (cm s ⁻¹)	
	24 h	48 h	24 h	48 h
Control (sin insecticida)	0 $\pm$ 0.0 a	0 $\pm$ 0.0 a	2.98 $\pm$ 0.23 a	3.06 $\pm$ 0.37 a
Spinetoram	100 $\pm$ 0.0 b	100 $\pm$ 0.0 b	n.a.	n.a
<i>Pluchea sericea</i>	0 $\pm$ 0.0 a	0 $\pm$ 0.0 a	3.50 $\pm$ 0.23 a	2.82 $\pm$ 0.20 a
<i>Azadirachta indica</i>	0 $\pm$ 0.0 a	3.3 $\pm$ 3.3 a	3.38 $\pm$ 0.27 a	3.26 $\pm$ 0.25 a
<i>Chenopodium ambrosioides</i>	0 $\pm$ 0.0 a	0.0 $\pm$ 0.0 a	3.35 $\pm$ 0.24 a	3.00 $\pm$ 0.28 a
<i>Capsicum chinense</i>	3.3 $\pm$ 3.3 a	3.3 $\pm$ 3.3 a	3.24 $\pm$ 0.25 a	3.17 $\pm$ 0.27 a

Promedio $\pm$ error estándar. Los valores que no comparten literales fueron significativamente diferentes ($p < 0.05$, $n=3$; $n=10$). n.a.= no aplica

Perfil cromatográfico de los extractos botánicos

El análisis cromatográfico mostró que los compuestos mayoritarios fueron carvacrol en el extracto de *C. ambrosioides*, coumaran en el extracto de *A. indica*, paeonol en el extracto de *P. sericea* y el ácido

octadenoico para *C. chinense*. Estos componentes mayoritarios en los extractos vegetales evaluados tuvieron un porcentaje de abundancia de 1.51-6.63%. Se encontraron otros compuestos con alto porcentaje de abundancia, los cuales son descritos en la Tabla 2.

Tabla 2. Compuestos mayoritarios de extractos acuosos de *Chenopodium ambrosioides*, *Azadirachta indica*, *Pluchea sericea* y *Capsicum chinense* mediante GC-MS.

Nombre del compuesto	Tiempo de retención	(% Área)	% de similitud
<i>Chenopodium ambrosioides</i>			
L-.alpha.-terpineol	8.246	2.26	95
No identificado	10.052	13.15	-
carvacrol	10.188	3.79	93
No identificado	10.5	2.54	-
No identificado	11.043	4.35	-
No identificado	11.539	9.30	-
2-amino-4-metil-3-piridinol	15.999	5.18	-
formil 7E-hexadecenoato	17.153	2.26	99
Porcentaje final		42.83	
<i>Azadirachta indica</i>			
No identificado	7.153	5.15	-
coumaran	9.101	6.63	74
5-etenil-2-metoxi-fenol	10.364	4.68	95
3,4-altrosan	12.652	6.01	90
loliolide	15.883	3.62	99
ácido palmítico	17.343	4.88	99
linoleato de metilo	19.033	3.63	99
No identificado	28.965	3.52	-
No identificado	29.406	3.89	-
No identificado	31.945	4.27	-
Porcentaje final		46.28	
<i>Pluchea sericea</i>			
paeonol	14.953	1.51	80
No identificado	16.827	2.73	-
No identificado	17.153	2.83	-
No identificado	17.513	16.50	-
No identificado	18.456	1.99	-
No identificado	19.223	20.23	-
No identificado	20.065	24.59	-
No identificado	20.262	7.46	-
No identificado	20.819	2.30	-
Porcentaje final		80.14	
<i>Capsicum chinense</i>			
No identificado	7.567	16.09	-
ácido 1-metil-1H-pirrol-2-carboxílico	8.898	2.46	94
No identificado	9.427	4.21	-
siringol	10.867	3.58	97
megastigmatrienona	13.745	2.66	99
loliolide	15.972	3.85	99
ácido palmitoleico	17.628	3.81	99
ácido palmítico	17.791	5.05	99
ácido octadenoico	19.461	5.86	99
No identificado	21.206	3.58	-
Porcentaje final		51.15	

Nota: Los compuestos no identificados son los que presentan valores debajo del 70% de similitud con la base de datos NIST 2017.

DISCUSIÓN

En general, la aplicación de extractos botánicos tuvo baja efectividad en la disminución del daño por *S. frugiperda* (Figura 1 y 2). Incluso tal efecto se notó sólo en el experimento 1. Es preciso mencionar que los reportes de alta efectividad de extractos botánicos acuosos contra *S. frugiperda*, han sido de estudios de laboratorio (Sisay *et al.*, 2019b; Shilaluke y Moteetee, 2022). En trabajos de campo, los extractos acuosos de *A. indica* (5% m/v), *Curcuma longa* (extracto crudo), *S. molle* (25% m/v) y *P. dodecandra* (25% m/v) han sido capaces de reducir el grado de daño por *S. frugiperda* (Sisay *et al.*, 2019b; Sogra *et al.*, 2023), y los extractos de *C. brasiliense* y *C. ambrosioides* han mostrado efectividad en reducir el porcentaje de plantas dañadas (Souza *et al.*, 2018; Kammo *et al.*, 2019), sin embargo, en estos trabajos se requirieron de múltiples aplicaciones en campo para poder obtener el resultado. A diferencia del presente estudio, donde sólo se hicieron dos aplicaciones en la misma semana. Con respecto al aumento en la incidencia y el grado de daño en el experimento 2, esto se pudo deber a las lluvias y chubascos los cuales son frecuentes en el mes de septiembre, en este sentido, se ha documentado que la eficacia de los productos botánicos en campo dependen en gran medida de las condiciones ambientales, ya que estos compuestos son de baja persistencia en campo en comparación con los compuestos sintéticos que pueden persistir en la planta incluso semanas (Tembo *et al.*, 2018; Fiaboe *et al.*, 2023).

Los extractos botánicos no tuvieron efectos en la abeja sin aguijón, *M. beecheii*, lo cual concuerda con lo reportado por otros autores. Por ejemplo, en *Partamona helleri* la exposición por 24 h a los extractos de *Anadenanthera colubrina* y *Agave americana* causaron 10-30% de mortalidad (Cunha-Pereira *et al.*, 2020). Con respecto a efectos en la motricidad, en *Trigona hyalinata* la exposición por 24 h a aceites esenciales de jengibre (*Zingiber officinale*), menta (*Mentha piperita*) y tomillo (*Tymus vulgaris*) no tuvo efectos en la actividad de caminata (Da Silva *et al.*, 2020). Aunque los derivados botánicos pudieran tener cierto efecto, éstos son mucho menos tóxicos que los insecticidas químicos convencionales, incluyendo los neurotóxicos de nueva generación tales como flupiradifurona, imidacloprid y dinotefurano, que pueden causar 100% de mortalidad por exposición a corto plazo, como se ha visto en *Nannotrigona perilampoides* y *Frieseomelitta nigra*, incluso a concentraciones relativamente bajas (100 veces diluida de la dosis comercial) (Góngora-Gamboa *et al.*, 2022). En el presente estudio, el insecticida spinetoram causó 100% de mortalidad de *M. beecheii*.

Es importante notar que varios de los compuestos encontrados en el análisis cromatográfico de los extractos, tienen efectos insecticidas. Por ejemplo, en *C. ambrosioides* el carvacrol tienen actividad insecticida (70-95%) contra *Culex pipiens* y *S. frugiperda* (Youssefi *et al.*, 2019; Liu *et al.*, 2023). Para los extractos de *A. indica*, el compuesto coumaran tiene actividad contra insectos de granos almacenados como *Sitophilus oryzae*, *T. castaneum* y *Rhyzopertha dominica* encontrando mortalidades de 64 a 80% (Singh *et al.*, 2023), por otra parte, el ácido palmítico y el linoleato de metilo tuvieron 100% de mortalidad contra *Aedes aegypti* y *Aedes albopictus* (Bharathithasan *et al.*, 2021; Lim *et al.*, 2023). Con respecto a *P. sericea*, el paeonol tiene actividad insecticida contra *Aleuroglyphus ovatus* y *Mythimna separata* encontrando mortalidades de 50-70% (Che *et al.*, 2022; Zou *et al.*, 2023). En *C. chinense*, el siringol y el ácido palmítico han tenido actividad biológica moderada (30-40% de mortalidad) contra insectos de importancia médica y agrícola tales como *Sitophilus oryzae* y *Culex quinquefasciatus* (Aly *et al.*, 2022; Khamis *et al.*, 2023) así como actividad biológica alta (90-100% de mortalidad) en *S. oryzae*, *Rhyzopertha dominica*, *Cx. quinquefasciatus*, *Ae. stephensi*, *Anopheles stephensi* y *Aphis gossypii* (Neggaz *et al.*, 2020; Roy y Dutta, 2021; Prakash *et al.*, 2021). Es sorprendente entonces que los extractos, aun teniendo compuestos letales para insectos, no mostraran efectividad en la reducción del daño por *S. frugiperda* en maíz, esto se puede deber a que las concentraciones usadas en la presente investigación fue 2% peso/volumen, mientras que los trabajos de otros autores donde se han evaluado el efecto en campo de extractos botánicos contra *S. frugiperda* han usado concentraciones mayores a 10% peso/volumen (Sisay *et al.*, 2019b; Phambala *et al.*, 2020). De igual manera en algunos trabajos se han usado adherentes en las mezclas a la hora de aplicar los extractos, con el fin de que los compuestos activos permanezcan durante más tiempo en los tejidos de las plantas (Phambala *et al.*, 2020; Sogra *et al.*, 2023). Otro factor por considerar en la baja eficiencia de los extractos en campo en el presente estudio fue la presencia de lluvias durante el experimento, lo cual pudo haber lavado el producto de la superficie de las hojas del maíz, afectado así la persistencia, ya que los extractos botánicos no actúan de manera sistémica contra las plagas, sino más bien por contacto directo o por contacto residual (Karkanis y Athanassiou, 2021; Hoesain *et al.*, 2023).

CONCLUSIONES

Los extractos botánicos acuosos de *A. indica*, *C. ambrosioides*, *C. chinense* y *P. sericea* presentan efectos de ligeros a nulos en la disminución del daño por *S. frugiperda* en maíz en campo. La exposición oral de los extractos acuosos de *A. indica*, *C. ambrosioides*, *C. chinense* y *P. sericea* no presentan efectos en la

supervivencia y actividad de caminata en *M. becheii*. Los compuestos mayoritarios tales como el coumaran, el carvacrol, el siringol y el paeonol presentes en *A. indica*, *C. ambrosioides*, *C. chinense* y *Pluchea sericea* ya han sido reportados por su actividad insecticida principalmente contra dípteros y coleópteros, siendo el paeonol, el único compuesto estudiado en *S. frugiperda*. Se recomienda continuar con la evaluación de extractos vegetales de interés regional, así como evaluar otros parámetros, como la frecuencia de aplicación de los extractos en el cultivo y las concentraciones utilizadas.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) por la beca otorgada a Arnoldo Enrique Alfaro-Corres.

Acknowledgements. The authors thank Arnoldo Alfaro-Corres for his technical assistance in the manuscript writing.

Funding. This work was funded by Tecnológico Nacional de Mexico. Research project number 21341.24-P, granted to Esau Ruiz-Sanchez.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Compliance with ethical standards. Not applicable.

Data availability. The data is available upon request, with the corresponding author esau.ruiz@itconkal.edu.mx

Author contribution statement (CRediT). A.E. Alfaro-Corres – Methodology, Writing original draft., E. Ruiz-Sánchez - Conceptualization, Visualization, Supervision., D. González-Mendoza – Methodology, Writing original draft; F.A. Gutiérrez-Micelli - Methodology, Validation, Formal analysis., A. Reyes-Ramírez - Writing original draft, R. Garruña-Hernández - Writing review, Editing., E. Hernández-Núñez - Resources, Validation, Formal analysis.

REFERENCES

Ahmed, W.H., Atwa, W.A., Elshaier, M.E. and Abdullah, G.E., 2021. Toward efficient and safe control strategy against cotton leaf worm *Spodoptera littoralis* (Boisd.) (Lepidoptera: Noctuidae) applying onion and pepper extracts and their oils. *Al-Azhar Bulletin of Science: Section C*, 32(2), pp. 9–15. <https://doi.org/10.21608/absb.2021.89834.1129>

Ail-Catzim, C.E., García-López, A.M., Troncoso-Rojas, R., González-Rodríguez, R.E. and Sánchez-Segura, Y., 2015. Insecticidal and repellent effect of extract of *Pluchea sericea* (Nutt.) on adults *Bemisia tabaci* (Genn.). *Revista Chapingo, Serie Horticultura*, 21(1), pp. 33–41. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2014.09.038>

Alfaro-Corres, A.E., González-Mendoza, D., Ruiz-Sánchez, E., Ail-Catzim, C., Valdez-Salas, B., Gutiérrez-Miceli, F., Reyes-Ramírez, A. and Pierre, J.F., 2023. Insecticidal activity and physicochemical characterization of nanoparticle from foliar extract of *Capsicum chinense*. *Journal of Renewable Materials*, 11(11), pp. 3933–43. <https://doi.org/10.32604/jrm.2023.031129>

Aly, H.M., Wahba, T.F. and Hassan, N.A., 2022. Pyroligneous acid derived from *Ficus benjamina* wastes synergize deltamethrin against *Sitophilus oryzae*. *Egyptian Academic Journal of Biological Science*, 14(1), pp. 47–54.

Arena, J.S., Omarini, A.B., Zunino, M.P., Peschiutta, M.L., Defagó, M.T. and Zygadlo, J.A., 2018. Essential oils from *Dysphania ambrosioides* and *Tagetes minuta* enhance the toxicity of a conventional insecticide against *Alphitobius diaperinus*. *Industrial Crops and Products*, 122, pp. 190–194. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.05.077>

Ayinde, A.A., Morakinyo, O.M. and Sridhar, M.K.C., 2020. Repellency and larvicidal activities of *Azadirachta indica* seed oil on *Anopheles gambiae* in Nigeria. *Heliyon*, 6(5), p. e03920. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03920>

Bharathithasan, M., Ravindran, D.R., Rajendran, D., Chun, S.K., Abbas, S.A., Sugathan, S., Yahaya, Z.S., Said, A.R., Oh, W.D., Kotra, V., Mathews, A., Amin, M.F.M., Ishak, I.H. and Ravi, R., 2021. Analysis of chemical compositions and larvicidal activity of nut extracts from *Areca catechu* Linn against *Aedes* (Diptera: Culicidae). *PloS One*, 16(11), p. e0260281. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0260281>

Botina, L.L., Bernardes, R.C., Barbosa, W.F., Lima, M.A.P., Guedes, R.N.C. and Martins, G.F., 2020. Toxicological assessments of agrochemical effects on stingless bees

- (Apidae, Meliponini). *MethodsX*, 7, p. 100906. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2020.100906>
- Catania, R., Lima, M.A.P., Potrich, M., Sgolastra, F., Zappalà, L. and Mazzeo, G., 2023. Are botanical biopesticides safe for bees (Hymenoptera, Apoidea)? *Insects*, 14(3), p. 247. <https://doi.org/10.3390/insects14030247>
- Che, Z., Guo, X., Li, Y., Zhang, S., Zhu, L., He, J., Sun, D., Guo, Y., Liu, Y., Wei, R., Huang, X., Liu, S., Chen, G. and Tian, Y., 2022. Synthesis of paeonol ester derivatives and their insecticidal, nematicidal, and anti-oomycete activities. *Pest Management Science*, 78(8), pp. 3442-3455. <https://doi.org/10.1002/ps.6985>
- Chen, H.L., Hasnain, A., Cheng, Q.H., Xia, L.J., Cai, Y.H., Hu, R., Gong, C.W., Liu, X.M., Pu, J., Zhang, L. and Wang, X.G., 2023. Resistance monitoring and mechanism in the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) for chlorantraniliprole from Sichuan Province, China. *Frontiers in Physiology*, 14, p. 1180655. <https://doi.org/10.3389/fphys.2023.1180655>
- Cunha-Pereira, R., Faria-Barbosa, W., Pereira-Lima, M.A., Vieira, J.O.L., Carvalho-Guedes, R.N., Rodrigues da Silva, B.K., Dias-Barbosa, G.M. and Fernandes, F.L., 2020. Toxicity of botanical extracts and their main constituents on the bees *Partamona helleri* and *Apis mellifera*. *Ecotoxicology*, 29(3), pp. 246–257. <https://doi.org/10.1007/s10646-020-02167-7>
- Davis, F. and Williams, W., 1992. Visual rating scales for screening whorl-stage for resistance to fall armyworm. Technical Bulletin 186. Mississippi State University, MS, USA: Mississippi Agricultural and Forestry Research Experiment Station.
- Da Silva, I.M., Zanuncio, J.C., Brügger, B.P., Soares, M.A., Zanuncio, A.J.V., Wilcken, C.F., Tavares, W.S., Serrao, J.E. and Sediya, C.S., 2020. Selectivity of the botanical compounds to the pollinators *Apis mellifera* and *Trigona hyalinata* (Hymenoptera: Apidae). *Scientific Reports*, 10(1), p. 4820. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-61469-2>
- DeGroote, H., Kimenju, S.C., Munyua, B., Palmas, S., Kassie, M. and Bruce, A., 2020. Spread and impact of fall armyworm (*Spodoptera frugiperda* JE Smith) in maize production areas of Kenya. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 292, p. 106804. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2019.106804>
- Eroglu, O., Kurum, M. and Ball, J., 2019. Response of GNSS-R on dynamic vegetated terrain conditions. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 12(5), pp. 1599–1611. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2019.2910565>
- Farooq, M.A., Atta, B., Gogi, M.D., Arif, M.J. and Arain, Q.A., 2020. Compatibility of entomopathogenic fungi and *Azadirachta indica* extract against the cotton pink bollworm, *Pectinophora gossypiella* (Saunders) (Lepidoptera: Gelechiidae) under controlled conditions. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 30(63). <https://doi.org/10.1186/s41938-020-00260-x>
- Fiaboe, K.R., Fening, K.O., Gbewonyo, W.S.K. and Deshmukh, S., 2023. Bionomic responses of *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) to lethal and sublethal concentrations of selected insecticides. *PloS one*, 18(11), p. e0290390. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0290390>
- Góngora-Gamboa, C., Ruiz-Sánchez, E., Ballina-Gómez, H.S., González-Moreno, A. and Zamora-Bustillos, R., 2022. Survival rate of the neotropical stingless bees *Nannotrigona perilampoides* and *Frieseomelitta nigra* after exposure to five selected insecticides, under controlled conditions. *Insects*, 13(10), p. 191. <https://doi.org/10.3390/insects13100961>
- Gutiérrez-Moreno, R., Mota-Sánchez, D., Blanco, C.A., Whalon, M.E., Terán-Santofimio, H., Rodríguez-Macié, J.C. and DiFonzo, C., 2019. Field-evolved resistance of the fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) to synthetic insecticides in Puerto Rico and Mexico. *Journal of Economic Entomology*, 112(2), pp. 792–802. <https://doi.org/10.1093/jee/toy372>
- Harrison, R., Banda, J., Chipabika, G., Chisonga, C., Katema, C., Ndalamei, D.M., Nyirenda, S. and Tembo, H., 2022. Low impact of fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) (Lepidoptera: Noctuidae) across smallholder fields in Malawi and Zambia. *Journal of Economic Entomology*, 116(6), pp. 1783–89. <https://doi.org/10.1093/jee/toac113>

- Hernández-Carlos, B. and Gamboa-Angulo, M., 2019. Insecticidal and nematocidal contributions of mexican flora in the search for safer biopesticides. *Molecules*, 24(5), p. 897. <https://doi.org/10.3390/molecules24050897>
- Hoesain, M., Suharto., Prastowo, S., Pradana, A.P., Alfariy, F.K. and Adiwena, M., 2023. Investigating the plant metabolite potential as botanical insecticides against *Spodoptera litura* with different application methods. *Cogent Food & Agriculture*, 9(1). <https://doi.org/10.1080/23311932.2023.2229580>
- Kardinan, A. and Maris, P., 2021. Effect of botanical insecticides against fall armyworm *Spodoptera frugiperda* J. E. Smith (Lepidoptera: Noctuidae). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 653(1), p. 012060. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/653/1/012060>
- Karkanis, A.C. and Athanassiou, C.G., 2021. Natural insecticides from native plants of the Mediterranean basin and their activity for the control of major insect pests in vegetable crops: shifting from the past to the future. *Journal of Pest Science*, 94, pp. 187–202. <https://doi.org/10.1007/s10340-020-01275-x>
- Kammo, E.Q., Suh, C., Mbong, G.A., Djomo, S.H., Chimi, N.L.L., Mbeungang, D.L., Mafousson, H., Meseka, S. and Menkir, A., 2019. Biological versus chemical control of fall armyworm and Lepidoptera stem borers of maize (*Zea mays*). *Agronomie Africaine*, 31(2), pp.187–198.
- Kenis, M., Benelli, G., Biondi, A., Calatayud, P.A., Day, R., Desneux, N., Harrison, R.D., Kriticos, D., Rwomushana, I., van der Berg, J., et al., 2023. Invasiveness, biology, ecology, and management of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*. *Entomologia Generalis*, 43(2), pp. 187–241. <https://doi.org/10.1127/entomologia/2022/1659>
- Khamis, W.M., Behiry, S.I., Marey, S.A., Al-Askar, A.A., Amer, G., Heflish, A.A., Su, Y., Abdelkhalek, A. and Gaber, M.K., 2023. Phytochemical analysis and insight into insecticidal and antifungal activities of Indian hawthorn leaf extract. *Scientific reports*, 13(1), p. 17194. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-43749-9>
- Lim, H., Lee, S.Y., Ho, L.Y. and Sit, N.W., 2023. Mosquito larvicidal activity and cytotoxicity of the extracts of aromatic plants from Malaysia. *Insects*, 14(6), p. 512. <https://doi.org/10.3390/insects14060512>
- Liu, J.F., Lin, Y.Z., Huang, Y.T., Liu, L.Y., Cai, X.M., Lin, J.T. and Shu, B., 2023. The effects of carvacrol on development and gene expression profiles in *Spodoptera frugiperda*. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 195, p. 105539. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2023.105539>
- Mboussi, S.B., Ambang, Z., Kakam, S. and Bagny-Beilhe, L., 2018. Control of cocoa mirids using aqueous extracts of *Thevetia peruviana* and *Azadirachta indica*. *Cogent Food & Agriculture*, 4(1), p. 1430470. <https://doi.org/10.1080/23311932.2018.143047>
- Murcia-Meseguer, A., Alves, T.J.S., Budia, F., Ortiz, A. and Median Pilar., 2018. Insecticidal toxicity of thirteen commercial plant essential oils against *Spodoptera exigua* (Lepidoptera: Noctuidae). *Phytoparasitica*, 46, pp. 233–245. <https://doi.org/10.1007/s12600-018-0655-9>
- Neggaz, S., Chenni, M., Zitouni-Haouar, F.E. and Fernandez, X., 2020. Mycochemical composition and insecticidal bioactivity of Algerian desert truffles extract against two stored-product insects: *Sitophilus oryzae* (L.) (Coleoptera: Curculionidae) and *Rhyzopertha dominica* (F.) (Coleoptera: Bostrychidae). *3 Biotech*, 10(11), p. 481. <https://doi.org/10.1007/s13205-020-02472-2>
- Paris, E.H., Castrejon, V.B., Walker, D.S. and Lope, C.P., 2020. The origins of maya stingless beekeeping. *Journal of Ethnobiology*, 40(3), pp. 386–405. <https://doi.org/10.2993/0278-0771-40.3.386>
- Phambala, K., Tembo, Y., Kasambala, T., Kabambe, V.H., Steverson, P.C. and Belmain, S.R., 2020. Bioactivity of common pesticidal plants on fall armyworm larvae (*Spodoptera frugiperda*). *Plants*, 9(1), pp.112. <https://doi.org/10.3390/plants9010112>
- Pierre, J.F., Latournerie-Moreno, L., Garruña, R., Jacobsen, K.L., Laboski, C.A.M., Us-Santamaría, R. and Ruiz-Sánchez, E., 2022.

- Effect of Maize–Legume Intercropping on Maize Physio-Agronomic Parameters and Beneficial Insect Abundance. *Sustainability*, 14(19):12385. <https://doi.org/10.3390/su141912385>
- Piovesan, B., Padilha, A.C., Morais, M.C., Botton, M., Grützmacher, A.D. and Zotti, M.J., 2020. Effects of insecticides used in strawberries on stingless bees *Melipona quadrifasciata* and *Tetragonisca fiebrigi* (Hymenoptera: Apidae). *Environmental Science and Pollution Research*, 27(34), pp. 42472-80. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-10191-7>
- Prakash, P., Gayathiri, E., Manivasagaperumal, R. and Krutmuang, P., 2021. Biological activity of root extract *Decalepis hamiltonii* (Wight & Arn) against three mosquito vectors and their non-toxicity against the mosquito predators. *Agronomy*, 11(7), p. 1267. <https://doi.org/10.3390/agronomy11071267>
- Reuben, Y., Mayengo, M. and Daudi, S., 2023. Predatory effects on the dynamics of *Spodoptera frugiperda* infestations in maize. *Informatics in Medicine Unlocked*, 42, p. 101365. <https://doi.org/10.1016/j.imu.2023.101365>
- Roy, M. and Dutta, T.K., 2021. Evaluation of phytochemicals and bioactive properties in mangrove associate *Suaeda monoica* Forssk. ex J.F.Gmel. of Indian Sundarbans. *Frontiers in Pharmacology*, 12, p. 584019. <https://doi.org/10.3389/fphar.2021.584019>
- Rukundo, P., Karangwa, P., Uzayisenga, B., Ingabire, J.P., Waweru, B.W. and Kajuga, J., 2020. Outbreak of fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) and its impact in Rwanda agriculture production. In: Niassy, S., Ekesi, S., Migiro, L., Otieno, W. (Eds) Sustainable Management of Invasive Pests in Africa. Sustainability in Plant and Crop Protection. Springer, Cham. pp. 139-157. https://doi.org/10.1007/978-3-030-41083-4_12
- Sâmia, R.R., de Oliveira, R.L., Moscardini, V.F. and Carvalho, G.A., 2016. Effects of aqueous extracts of *Copaifera langsdorffii* (Fabaceae) on the growth and reproduction of *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). *Neotropical Entomology*, 45(5), pp. 580-587. <https://doi.org/10.1007/s13744-016-0398-6>
- Shaiba, Z., Amooore, B., Amooore, I. and Renne, E., 2019. Assessing the impact of neem on fall armyworm damage to maize crops: A field-based study in Nabdam District, UER, Ghana. *Journal of Agriculture and Sustainability*, 12(2), pp. 185-201.
- Sharma, A., Shukla, A., Attri, K., Kumar, M., Kumar P., Suttee, A., Singh, G., Barnwal, R.P. and Singla, N., 2020. Global trends in pesticides: A looming threat and viable alternatives. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 201, p. 110812. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.110812>
- Shilaluke, K.C. and Moteetee, A.N., 2022. Insecticidal activity and GC-MS analysis of the selected family members of Meliaceae used traditionally as insecticides. *Plants*, 11(22), p. 3046. <https://doi.org/10.3390/plants11223046>
- Singh, K.D., Koijam, A.S., Bharali, R. and Rajashekar, Y., 2023. Insecticidal and biochemical effects of *Dillenia indica* L. leaves against three major stored grain insect pests. *Frontiers in Plant Science*, 14, p. 1135946. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1135946>
- Sisay, B., Simiyu, J., Mendesil, E., Likhayo, P., Ayalew, G., Mohamed, S., Subramanian, S. and Tefera, T., 2019a. Fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* infestations in East Africa: Assessment of damage and parasitism. *Insects*, 10(7), p. 195. <https://doi.org/10.3390/insects10070195>
- Sisay, B., Tefera, T., Wakgari, M., Ayalew, G. and Mendesil, E., 2019b. The Efficacy of selected synthetic insecticides and botanicals against fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*, in Maize. *Insects*, 10(2), p. 45. <https://doi.org/10.3390/insects10020045>
- Sogra, J., Jimmy, L., Kamik, K. and Galus, A., 2023. Bio-efficacy of plant-derived pesticide against fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) and their interactive effects on maize agronomic performance under field conditions. *Agricultural Sciences*, 14, pp. 1535-46. <https://doi.org/10.4236/as.2023.1411099>
- Souza, M.dD.dC., Giustolin, T.A., Alvarenga, C.D., Costa, J.N.dJ. and Aspiázú, I., 2018. Aqueous extract of pequi fruit to control *Spodoptera frugiperda* in corn. *Arquivos Do Instituto*

- Biológico*, 85, p. e0072017. <https://doi.org/10.1590/1808-1657000072017>
- Tanyi, C.B., Nkongho, R.N., Okolle, J.N., Tening, A.S. and Ngosong, C., 2020. Effect of intercropping beans with maize and botanical extract on fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) infestation. *International Journal of Agronomy*, 2020, pp. 1–7. <https://doi.org/10.1155/2020/4618190>
- Tembo, Y., Mkindi, A.G., Mkenda, P.A., Mpumi, N., Mwanauta, R., Stevenson, P.C., Ndakidemi, P.A. and Belmain, S.R., 2018. Pesticidal plant extracts improve yield and reduce insect pests on legume crops without harming beneficial arthropods. *Frontiers in Plant Science*, 9, p. 1425. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01425>
- Vite-Vallejo, O., Barajas-Fernández, M.G., Saavedra-Aguilar, M. and Cardoso-Taketa, A., 2018. Insecticidal effects of ethanolic extracts of *Chenopodium ambrosioides*, *Piper nigrum*, *Thymus vulgaris*, and *Origanum vulgare* against *Bemisia tabaci*. *Southwestern Entomologist*, 43(2), pp. 383–393. <https://doi.org/10.3958/059.043.0209>
- Youssefi, M.R., Tabari, M.A., Esfandiari, A., Kazemi, S., Moghadamnia, A.A., Sut, S., Dall'Acqua, S., Benelli, G. and Maggi, F., 2019. Efficacy of two monoterpenoids, carvacrol and thymol, and their combinations against eggs and larvae of the west Nile vector *Culex pipiens*. *Molecules* (Basel, Switzerland), 24(10), p. 1867. <https://doi.org/10.3390/molecules24101867>
- Zhang, B., Su, X., Lu, L., Zhen, C., Zhu, B., Li, Y.S., Dong, W.Y., Wang, G., Xu, Y.B., Liu, R.Q., et al., 2020. Effects of three insecticides at the sublethal dose on the expression of cytochrome P450 genes in *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). *Acta Entomologica Sinica*, 63(5), pp. 565–573. <https://doi.org/10.16380/j.kcxb.2020.05.005>
- Zou, M., Xue, Q., Teng, Q., Zhang, Q., Liu, T., Li, Y. and Zhao, J., 2023. Acaricidal activities of paeonol from Moutan Cortex, dried bark of *Paeonia × suffruticosa*, against the grain pest mite *Aleuroglyphus ovatus* (Acari: Acaridae). *Experimental and Applied Acarology*, 91, pp. 615–628. <https://doi.org/10.1007/s10493-023-00861-9>