

Ensayo de Investigación

Uso de extractos hidroalcohólicos de palo verde para el biocontrol del gusano cogollero en el cultivo de maíz Use of hydroalcoholic extracts of palo verde for fall armyworm biocontrol in maize crop

Leandris Argente-Martínez¹, Ofelda Peñuelas-Rubio^{1*}, Jesús Antonio González-Hernández¹
Joe Luis Arias-Moscoso¹, José Aurelio Leyva-Ponce¹, Lorenzo Pérez-López¹, Julio César García-Urías¹

¹Departamento de Ingenierías
Tecnológico Nacional de México campus Valle del Yaqui

Autor de correspondencia:
*openuelas.rubio@itvy.edu.mx

Recibido: 09-08-2023 Aceptado: 16-02-2024 (Artículo Arbitrado)

Resumen

El gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*) es una de las principales plagas que afectan el desarrollo y rendimiento del maíz en México. Cada ciclo, se utilizan pesticidas químicos, por lo que la aplicación de extractos vegetales puede ser una alternativa eficiente para su control, una vez probado y validado en las diferentes condiciones y etapas experimentales. El objetivo fue evaluar dosis (0, 2.5 y 3.5 L ha⁻¹) de extractos hidroalcohólicos de *Parkinsonia aculeata* L. para el biocontrol del gusano cogollero, aplicado a los 15, 45 y 70 días después de la emergencia del cultivo, y su posible efecto promotor del desarrollo, con la medición: altura, TCR, NDVI y contenido de clorofila y fitotoxicidad del extracto en el cultivo. Los extractos presentaron un control del gusano cogollero superior al 80 %. Estos contribuyeron al desarrollo de las plantas generando un incremento de la TCR en 1.4 cm día⁻¹ y no presentaron fitotoxicidad.

Palabras clave: *Parkinsonia aculeata* L., plagas, *Spodoptera frugiperda*, extractos vegetales, *Zea mays*.

Abstract

The fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) is one of the main pests that weaken the development and yield of corn in Mexico. Each cycle, chemical pesticides are used, so the application of plant extracts can be an efficient alternative for its control, once tested and validated in the different conditions and experimental stages. The objective was to evaluate doses (0, 2.5 and 3.5 L ha⁻¹) of hydroalcoholic extracts of *Parkinsonia aculeata* L. for fall armyworm control applied at 15, 45 and 70 days after the emergence of the crop, and their possible effect to promote development, with the measurement: height, RGR, NDVI and chlorophyll content and phytotoxicity of the extract in the crop. The extracts presented a control of the fall armyworm greater than 80%. These contributed to the development of the plants, producing an increase in RGR by 1.4 cm day⁻¹ and no phytotoxicity appeared.

Keywords: *Parkinsonia aculeata* L., pests, *Spodoptera frugiperda*, vegetable extract, *Zea mays*.

Introducción

En México, el cultivo de maíz (*Zea mays*) es de máxima relevancia cultural y alimentaria (Castañeda y Cervantes, 2022). Esto se debe a que es considerado el principal alimento para la población mexicana, sin embargo, existen numerosas plagas que le causan daños. Entre las plagas que más afectan el cultivo del maíz se encuentran los lepidópteros, entre ellos el gusano cogollero, en las etapas vegetativas del cultivo y la palomilla del maíz en la etapa reproductiva (Zelaya-Molina et al., 2022). Estas plagas producen mermas en el rendimiento del maíz en más de un 30

%, debido a su voracidad se nutre del primordio de la planta impidiendo su normal desarrollo (Torres-Cab et al., 2022).

Existen múltiples productos para el control de plagas en el cultivo del maíz en México, la mayoría de ellos de origen carbamilo fosforados (Tejeda-Reyes, 2016) pero en su mayoría, aunque son de corta residualidad contaminan el ambiente y afectan a otros organismos incluso benéficos que contribuyen a la funcionalidad de los ecosistemas productivos (Jáquez-Matas et al., 2022). En algunas regiones produc-

tivas de maíz, el control de plagas como el gusano cogollero se ha realizado con el uso de bioinsecticidas (González et al., 2019; Figueroa et al., 2019). Estos productos biológicos no afectan al ambiente y tienen alta especificidad sobre la plaga que se aplica (Vázquez-Ramírez et al., 2015).

Una alternativa para el control del cogollero puede ser el uso del extracto de *Parkinsonia aculeata* L. que ha demostrado ser eficaz para controlar hongos y no afecta el desarrollo de cultivos como el tomate (Argentel-Martínez et al., 2023). Esta especie vegetal no se ha reportado como hospedera de plagas y específicamente de lepidópteros, por lo que su uso puede contribuir al biocontrol de la plaga y a reducir la contaminación ambiental por concepto de reducción de aplicaciones de productos químicos.

Existe gran necesidad de emprender alternativas para el control del gusano cogollero, partiendo de la siguiente problemática: el gusano cogollero del maíz es una de las plagas que más afecta los rendimientos de este cultivo en el noroeste de México, generando mermas superiores al 30 %. El control de esta plaga a base de insecticidas químicos es además de costo contaminante al medio ambiente. En los últimos años se ha observado un deterioro de la calidad del agua, numerosas causas provocan su contaminación por plaguicidas. Partiendo de esta problemática se tiene como hipótesis lo siguiente: Si se emplean dosis de extractos hidroalcohólicos de *Parkinsonia aculeata* L. Sp se puede controlar el gusano cogollero del maíz y quizás estos extractos sirvan para promover el desarrollo de las plantas por su posible efecto promotor del desarrollo y validar su eficacia sin fitotoxicidad a las plantas.

Teniendo en cuenta estos supuestos biológicos se desarrolló una investigación con el objetivo de evaluar dos dosis de extracto de palo verde en el biocontrol del gusano cogollero del maíz, el posible efecto promotor del desarrollo de los extractos y la fitotoxicidad en las plantas, aplicando 0, 2.5 y 3.5 L ha⁻¹ a los 15, 45 y 75 días después de la emergencia de las plantas.

Materiales y Métodos

Ubicación del área experimental

El experimento se estableció en el Instituto Tecnológico del Valle del Yaqui (27°24'51"N, 110°7'57"W) en Bácum, Sonora, México. El área experimental fue de (36×12.8 m) que representa un área de 0.1 ha⁻¹.

Las parcelas tuvieron un área de 57.6 m² (9×6.4 m), y se establecieron sobre un terreno maestro que clasifica como vertisol gléyco (Cortés-Jiménez et al., 2009).

Preparación del terreno, fertilización de fondo y siembra

La preparación del terreno consistió en una subsolación con un tractor John Deere® a una tracción nominal de 45 KN y a una profundidad de 60 cm. La roturación con un arado de discos a una profundidad de 40 cm. Cruce (con una grada mediana de discos), esta se hizo perpendicular al sentido de la roturación. La nivelación se realizó con el "Land plane" en posición de camino. Los surcos se realizaron con un surcador "Industrias Vázquez"® a una profundidad de 30 cm, llevaron una orientación de este a oeste.

La siembra se realizó manualmente, a una profundidad de 8 cm. Las semillas se separaron a una distancia de 20 cm entre plantas y 80 cm entre surcos. Inmediatamente después de la siembra se regó de forma superficial para favorecer la germinación, así mismo se delimitaron las áreas de tratamientos y se colocaron señalamientos para identificar cada uno de ellos.

Obtención del extracto hidroalcohólico

Se tomaron muestras de plantas de *P. aculeata* procedentes de un ecosistema semiárido en la localidad de Bahía de Lobos, San Ignacio Río Muerto, presentando un alto nivel de salinidad en el suelo, encontrándose las plantas en condición de estrés por salinidad y sequía fisiológica (González et al., 2019).

Se tomaron muestras foliares y se maceraron en una solución de alcohol al 76 % a una razón 70/30 V/V durante 10 días. La fracción alcohólica se separó con el uso de un rotavapor, marca BUCHI®, a una velocidad de 30 rpm, y a una temperatura de 6 °C. La eficiencia de extracción del alcohol fue del 75 %; por cada litro se extrajeron 30 mL de extracto.

Tratamientos y diseño experimental

Los tratamientos consistieron en la aplicación foliar, específicamente en el cogollo de las plantas, de dos concentraciones del extracto, como se indica en la Tabla 1. El experimento se condujo siguiendo un diseño experimental completamente aleatorizado (no pareado, ya que el tratamiento 1 solo tuvo dos repeticiones, mientras que los restantes dos (T2 y T3) presentaron tres repeticiones).

Tabla 1. Tratamientos evaluados en el experimento.

Tratamientos	Dosis (L ha ⁻¹)
T1	Sin aplicación
T2	2.5
T3	3.5

Fuente: Elaboración propia.

La aplicación se realizó a los 15, 45 y 70 días después de la emergencia, entre 8:00-10:00 h para evitar efectos de evaporación. La aplicación se realizó con mochila manual a presión constante a una velocidad de 0.5 m s⁻¹, depositando 10 mL de extracto en cada cogollo.

Variables evaluadas

Porcentaje de germinación. Se evaluó a los 12 días posteriores a la emergencia, sin la aplicación del extracto para verificar la similitud de las plantas de los tratamientos al momento de la aplicación. Para la evaluación del porcentaje de germinación se tomaron tramos de un metro de distancia en 5 puntos de cada repetición en los tratamientos y se contaron las plántulas emergidas. Partiendo de que se sembraron a 0.14 m un total de 7 plántulas se obtuvo el valor del porcentaje por razón de linealidad y se expresó en porcentaje. Para su determinación se aplicó la fórmula 1:

$$\%G = \frac{\#PG}{7} \times 100 \quad (1)$$

Donde %G representa porcentaje de germinación; #PG representa el número de plantas emergidas, y 7 es el total de semillas sembradas por metro lineal.

Cantidad de gusanos cogolleros. En cada repetición de los tratamientos se contó la cantidad de plantas que presentaban gusano cogollero y se obtuvieron los promedios por tratamientos. Esta variable se contó semanalmente justo antes de aplicar los tratamientos.

Dinámica del desarrollo. A partir de la primera aplicación de los tratamientos, para esta variable se tomaron y marcaron plantas en cada repetición de los tratamientos y se midió su altura a intervalos semanales. A partir de estos datos se determinó la altura final de las plantas. La altura de las plantas se dividió entre la cantidad de días transcurridos hasta la fenofase de floración y se determinó la tasa de crecimiento relativo expresada en cm día⁻¹ con la fórmula 2, de Petersen et al. (2021):

$$TCR = \frac{AFP}{\#D} \quad (2)$$

Donde TCR representa la tasa de crecimiento relativo; AFP: altura final de las plantas, y #D: número de días transcurridos. Las mediciones de la altura de las plantas se realizaron con un flexómetro (Truper®), a intervalos semanales desde la base del tallo hasta el cogollo de las plantas.

Contenido de clorofila. El contenido de clorofila se determinó mediante un dispositivo portátil (SPAD) en un total de 10 plantas por cada repetición de los tratamientos, tomando además tres medidas en la misma hoja (en la parte basal, en la parte central y en las proximidades al ápice) (Guo et al., 2020). Esta variable se midió en la fenofase de floración.

Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI, por sus siglas en inglés). Se midió con un dispositivo portátil Greenseecker (Trimble®) en la fenofase de floración, en un total de 30 plantas por tratamientos (Pipatsitee et al., 2023).

Fitotoxicidad. La evaluación de la fitotoxicidad se realizó en un total de 240 plantas por parcela usando la escala de fitotoxicidad propuesta por Mousavi et al. (2021), otorgando a los tratamientos valores del 1-3, donde cada valor representan: 1: Plantas sin daño foliar ni muertas; 2: Plantas con daño foliar y/o en el cogollo; 3: Plantas totalmente dañadas o muertas.

Análisis estadísticos

Para el procesamiento estadístico de las variables evaluadas en los tratamientos se realizaron análisis de varianza de clasificación simple después de comprobar el cumplimiento de los supuestos teóricos de normalidad y homogeneidad de varianza. Cuando existieron diferencias significativas entre los tratamientos se empleó la prueba de comparación múltiple de medias de MDS para un nivel de significación del 5 %. Se determinaron los indicadores estadísticos error estándar de la media de los tratamientos, coeficiente de determinación sin ajustar, coeficiente de variación y el coeficiente de correlación, este último para las variables contenido de clorofilas y el NDVI. Todos los análisis estadísticos se realizaron en el paquete estadístico ESTATISTICA, versión 14.0.

Resultados

Porcentaje de germinación

A los 12 días después de la siembra (19/Oct/2022) se produjo la emergencia del cultivo (31-Oct-2022). No existieron diferencias significativas entre los tratamientos ($p=0.00531$). Este resultado demuestra la similitud de condiciones de preparación de suelo, como se presenta en la Tabla 2.

En el maíz, el pre acondicionamiento para la siembra incrementa el tiempo de ocurrencia de la germinación y el porcentaje final (Martínez-Alonso et al., 2022). La similitud de condiciones experimentales entre los tratamientos a establecer, posteriores a la siembra, es un elemento importante para poder atribuir la variabilidad encontrada al efecto de los tratamientos y con mayor grado de confiabilidad aceptar o rechazar las hipótesis establecidas (Vargas-Rojas y García, 2022).

Incidencia de gusano cogollero

En todos los tratamientos hubo incidencia de gusano cogollero después de la primera aplicación (Figura 1), sin embargo, hubo una disminución altamente significativa posterior. Este resultado demuestra que los extractos reducen la cantidad de gusano cogollero, por tanto, si tiene un efecto biocotrolador. Varios investigadores han reportado reducción de las poblaciones de gusano cogollero hasta del 30 %, con el uso de extractos de diferentes especies vegetales (Abbas et al., 2022). Estos reportes son inferiores a los aquí obtenidos (33 % en T2 y 66 % en T3, después de la primera aplicación) hasta los 71 días (posterior a la última aplicación).

Tabla 2. Porcentaje de germinación y vigor vegetal de los tratamientos.

Tratamientos	Germinación (%)
T1	100
T2	100
T3	100

Medias sin superíndices no difieren estadísticamente por MDS para el 5%.
Fuente: Elaboración propia.

La mayor diferencia de cantidad de gusano cogollero se encontró en el tratamiento T3, encontrando en promedio dos gusanos vivos en las parcelas experimentadas. En las últimas evaluaciones se obtuvo el mayor porcentaje de biocontrol (86 % en promedio de los dos tratamientos).

El incremento de la dosis de extracto puede ser la clave el control total del gusano cogollero en futuras investigaciones. Se han probado varios extractos de plantas para controlar el gusano cogollero, por ejemplo, Lizarazo et al., (2008) evaluaron el efecto de extractos vegetales de *Polygonum hydropiperoides*, *Solanum nigrum* y *Calliandra pittieri* sobre el gusano cogollero encontrando un control del 95 % de la incidencia de la plaga en el momento de la floración. Una respuesta similar se encontró en el presente experimento donde solo el 5 % de las plantas de los tratamientos donde se aplicó el extracto de palo verde a la menor dosis.

Un estudio similar fue desarrollado por Aldana et al. (2010) quienes evaluaron el efecto bioinsecticida de extractos de *Bursera copallifera* (DC) *Bullock* y *Bursera grandifolia* (Schltdl.) Engl. en parcelas experimentales y en condiciones de campo para el control del gusano cogollero y obtuvieron un control del 83 %

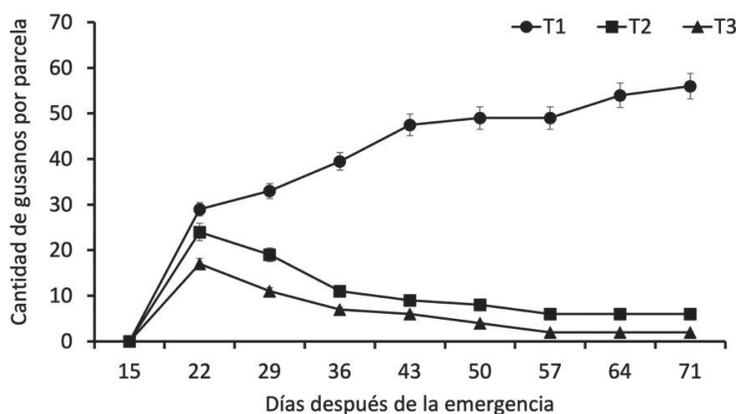


Figura 1. Cantidad de gusanos cogolleros encontrados en los tratamientos.

T1= sin aplicación
T2= 2.5 L ha⁻¹
T3= 3.5 L ha⁻¹

(Medición semanal; barras rectangulares en las columnas representan error estándar de los tratamientos).

Fuente: Elaboración propia

con la primera especie y un 94 % con la segunda. Aun cuando existieron diferencias entre los extractos empleados la efectividad de control fue alta.

Otros investigadores (Romo-Asunción et al., 2015) publicaron el efecto de varios compuestos botánicos como alternativa para el manejo del gusano cogollero del maíz. Y en su mayoría se demostró la factibilidad de su uso por el incremento de la letalidad de la plaga y una significativa reducción de los costos en la cosecha por concepto de no aplicación de insecticidas químicos.

Dinámica de desarrollo de las plantas y tasa de crecimiento relativo

Al analizar la dinámica del desarrollo se observó que, en la primera semana, posterior a la emergencia (antes de aplicar el extracto) no existieron diferencias significativas entre los tratamientos ($p=0.00512$), mientras que en las posteriores a partir de la segunda medición si fueron significativas. La mayor diferencia entre las alturas de las plantas de los tratamientos fue a los 64 días ($p=0.00005$), seguida por la realizada a los 71 días (última medición, $p=0.00327$). (Figura 2).

En la Figura 2 se demuestra la efectividad que tiene el extracto hidroalcohólico de palo verde en la promoción de la altura de las plantas del cultivo del maíz. Se han probado diversos extractos para el control del cogollero (Patil et al., 2022; Abbas et al., 2022), sin embargo, no han sido reportados como promotores del desarrollo, catalogándolos como biocontroladores y promotores del desarrollo.

Los resultados muestran que los tres tratamientos utilizados en el cultivo maíz realizaron un buen control a los ataques del gusano cogollero, con una

altura promedio de 2.20 metros a los 74 días después de la siembra, en relación con el testigo que presentó una altura promedio de 2 metros.

Tasa de crecimiento relativo (TCR)

La TCR presentó diferencias significativas donde los tratamientos T3 y T2 superaron al tratamiento T1 significativamente ($p=0.00213$). Dicho resultado demuestra el efecto promotor del desarrollo de las plantas que tiene el bioinsecticida aplicado para el control del gusano cogollero (Tabla 3) el coeficiente de variación obtenido en la TCR fue del 3.6 %. Esta variabilidad fue explicada en un 95 % por efecto de los tratamientos establecidos ($R^2=0.95$).

La tasa de crecimiento relativo es una de las medidas principales para el análisis del crecimiento en plantas. Algunos autores la definen como la ganancia de biomasa por unidad de biomasa y tiempo (Alameda y Villar, 2009). Las plantas que crecen bajo el efecto de algún bioestimulante responden a esta condición asignando mayor biomasa a los órganos fotosintéticos para aumentar el área de exposición y

Tabla 3. Tasa de crecimiento relativo diaria del cultivo a los 28 días de la primera medición. [R²: coeficiente de determinación sin ajustar, ES: error estándar de la media de los tratamientos; CV=coeficiente de variación].

Tratamientos	TCR (cm día ⁻¹)
T1	2.08 ^c
T2	2.20 ^b
T3	2.61 ^a
R ²	0.95
ES	0.03
CV	3.17

Superíndices con letras iguales en las medias de los tratamientos no difieren estadísticamente por MDS para el 5%.

Fuente: Elaboración propia.

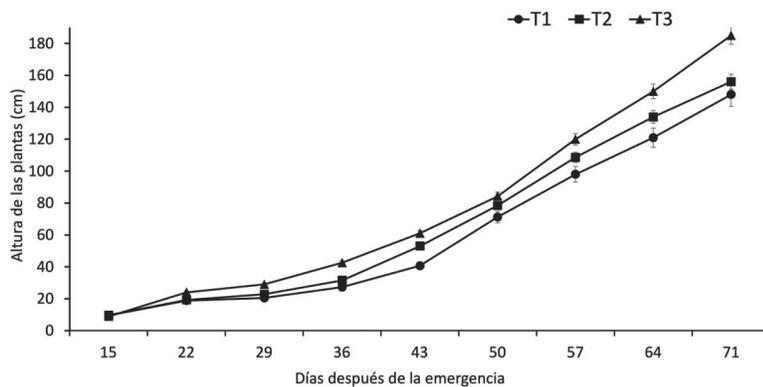


Figura 2. Altura de plantas medida a intervalos semanales a partir de los 15 días después de la emergencia.

T1=sin aplicación
T2= 2.5 L ha⁻¹
T3= 3.5 L ha⁻¹

Barras rectangulares en las columnas representan error estándar de las medias de los tratamientos.

Fuente: Elaboración propia

recibir más luz (Azcon-Bieto et al., 2008). En un estudio realizado en el cultivo del maíz Aguilar et al., (2022) encontraron TCR de 2.4 cm día⁻¹ al aplicar productos biológicos para la promoción del desarrollo. Estos resultados son similares a los aquí obtenidos en el tratamiento T3.

En la literatura se han reportado diferentes compuestos con propiedades antioxidantes o biológicas, lo cual también se traduce en contribuir al crecimiento del cultivo, tales como flavonoides, alcaloides, taninos, polifenoles, terpenos y sesquiterpenos obtenidos de extractos acuosos de *Piper nigrum*, *Nicotiana tabacum*, *Allium sativum*, *Petiveria alliacea* y *Lippia alba*.

El uso de los bioplaguicidas en el mundo ha tenido un incremento del 16 % en el último año y la tendencia de crecimiento se ha mantenido en los últimos 10 años, comparado con otras técnicas no convencionales, tal como uso de cepas de virus, las cuales son más costosas y de difícil manejo o el desarrollo de diferentes especies transgénicas de maíz resistentes a *Spodoptera frugiperda* que a pesar de haber presentado efectividad contra la plaga, la alteración de los ecosistemas a partir de estos cultivos sigue estando en discusión, (Figueroa et al., 2019).

NDVI y Contenido de clorofilas

El NDVI presentó diferencias significativas entre los tratamientos ($p=0.00014$) y en el tratamiento de mayor concentración del extracto (T3) se obtuvo el mayor valor de este indicador (NDVI= 0.82). Similar respuesta se encontró en el contenido de clorofilas

($p=0.00017$). en el presente estudio, por efecto de los extractos se explicó el 97 % y 98 % de la variabilidad total encontrada en las variables NDVI y contenido de clorofilas. Existió correlación positiva entre las variables NDVI y el contenido de clorofilas (Figura 3).

Teniendo en cuenta que las labores de preparación de suelo, fertilización y riegos y manejo del cultivo fueron totalmente similares en este experimento, se infiere que el bioinsecticida, con presunta capacidad de promoción del desarrollo tuvo un efecto positivo en la variable contenido de clorofila.

El NDVI es un indicador eficiente del estado fisiológico y nutricional de las plantas cuando se aplican fertilizantes químicos, biofertilizantes, hormonas o estimulantes del desarrollo vegetal (Qiu et al., 2022), por tanto, se asume que el incremento encontrado en estos indicadores es atribuido al efecto promotor del desarrollo de los extractos. El contenido de clorofila es una variable que demuestra el estado nutricional adecuado de las plantas, sin daños en el área foliar y una buena capacidad para desarrollar la actividad fotosintética (Castillo- y Ligarreto, 2010).

Fitotoxicidad de los extractos

Los extractos evaluados no presentaron fitotoxicidad, ya que no se encontraron daños foliares después de las aplicaciones en ninguno de los tratamientos (Tabla 4). Estos extractos, que han sido probados en el cultivo del tomate para el control de fusariosis contienen flavonoides y polifenoles (Arvizu-Quintana et al., 2021) que presentan actividad protectora contra plagas y enfermedades y al mismo tiempo participan

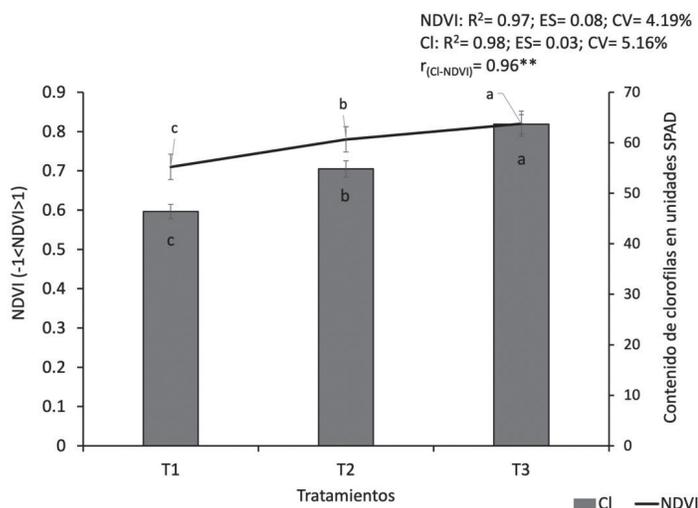


Figura 3. NDVI y contenido de clorofila expresado en unidades SPAD.

Barras rectangulares en las columnas representan error estándar de los tratamientos.
 R^2 : coeficiente de determinación, sin ajustar;
 ES: error estándar de la media de los tratamientos;
 CV= coeficiente de variación;
 $r(CI-NDVI)$: coeficiente de correlación entre las variables contenido de clorofilas y el NDVI].

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4. Fitotoxicidad de los extractos hidroalcohólicos en las plantas de maíz.

Tratamientos	Fitotoxicidad
T1	-
T2	1
T3	1

Fuente: Elaboración propia.

en reacciones relacionadas con la síntesis de proteínas y otros compuestos orgánicos que se relacionan con la promoción del crecimiento vegetal (Salinas-Sánchez et al., 2020; Romanucci et al., 2018).

En futuras investigaciones se deberán probar técnicas como los isótopos estables de carbono, nitrógeno, oxígeno y fósforo para validar los sitios de acumulación una vez aplicados en la planta y la posible incorporación a los esqueletos carbonados de las macromoléculas o metabolitos secundarios que se sintetizan o acumulan en las plantas donde se aplican los extractos.

El estudio realizado constituye una aportación a la reducción de la carga contaminante por concepto de reducción de las aplicaciones de productos químicos. Además, permite el uso de especies endémicas con tolerancia o resistencia a plagas en el semidesierto, ya que muchas de estas plantas son catalogadas como malezas y que además de tener un rol importante en la funcionalidad de los ecosistemas, con su uso para la obtención biocontroladores de plagas y enfermedades se puede generar una aproximación a la agricultura con enfoque de producción orgánica.

Conclusiones

Los extractos evaluados realizaron un control del gusano cogollero superior al 80 %, sin efectos tóxicos para la planta de maíz por lo cual pueden ser una opción sustentable para los sistemas de producción de maíz sin la necesidad de emplear pesticidas químicos. Estos extractos contribuyeron al desarrollo de las plantas generando un incremento de la TCR, el contenido de clorofilas y el NDVI hasta la fenofase de floración y no presentaron fitotoxicidad.

Referencias

Abbas, A., Ullah, F., Hafeez, M., Han, X., Dara, M. Z. N., Gul, H. y Zhao, C. R. (2022). Biological Control of Fall Armyworm, *Spodoptera frugiperda*. *Agronomy*. 12(11), pp. 2704.

Aguilar Carpio, C., Arriaga Rubio, L. M., Cervantes Adame, Y. F., Arenas-Julio, Y. R. y Escalante-Estrada, J. A. S. (2022). Rentabilidad y producción del maíz VS-535 en respuesta a la fertilización química y biológica. *Acta universitaria*. 32.

Alameda, D. y Villar, R. (2009). Moderate soil compaction: implications on growth and architecture in seedlings of 17 woody plant species. *Soil and Tillage Research*. 103, pp. 325-331.

Aldana Llanos, L., Sánchez, S., Valdés Estrada, M. E., Gutiérrez Ochoa, M. y Valladares Cisneros, M. G. (2010). Evaluación bioinsecticida de extractos de *Bursera copallifera* (DC) Bullock y *Bursera grandifolia* (Schltdl.) Engl. en gusano cogollero *Spodoptera frugiperda* JE Smith (Lepidoptera: Noctuidae). *Polibotánica*. (29), pp. 149-158.

Argentel-Martínez, L., Peñuelas-Rubio, O., Velázquez, J. R. T. y Aguilera, J. G. (2023). Phytotoxicity of hydroalcoholic extracts of *Parkinsonia aculeata* L. sp. Pl., in tomato plants. Polyphenol and flavonoid content. *Advances in biology through agronomy, aquaculture, coastal and environmental sciences*. Pantanal Editora, Brasil.

Arvizu-Quintana, E.F., Argentel-Martínez, L., Peñuelas-Rubio, O., Leyva-Ponce, A. y García-Urías, J. (2021). Extractos hidroalcohólicos de *Parkinsonia aculeata* L., Sp. Pl. para el biocontrol de *Fusarium oxysporum* Schlecht. *Renewable Energy, Biomass and Sustainability*. 3(2): pp. 46-52. doi: 10.56845/rebs.v3i2.52

Azcon-Bieto, J. y Talon, M. (2008). *Fundamentos de fisiología vegetal*. McGraw Hill Interamericana. Madrid, España.

Castañeda, J. F. Á. y Cervantes, C. S. (2022). Contribuciones a una seguridad alimentaria desde los saberes locales. *Argumentos. Estudios críticos de la sociedad*, pp. 305-325.

Castillo, Á. R., y Ligarreto, G. A. (2010). Relación entre nitrógeno foliar y el contenido de clorofila, en maíz asociado con pastos en el Piedemonte Llanero colombiano. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*. 11(2), pp. 122-128.

Cortés-Jiménez, J. M., Troyo-Diéguez, E., Murillo-Amador, B., García-Hernández, J. L., Garatuza-Payán, J. y Suh Lee, S. (2009). Índices de calidad del agua del acuífero del Valle del Yaqui, Sonora. *Terra latinoamericana*. 27(2), pp. 133-141.

Figuroa-Gualteros, A. M., Castro-Treviño, E. A. y Castro-Salazar, H.T. (2019). Efecto bioplaguicida de extractos vegetales para el control de *Spodoptera frugiperda* en el cultivo de maíz (*Zea mays*). *Acta Biológica Colombiana*. 24(1), pp. 58-66.

González, H.H.S., Peñuelas-Rubio, O., Argentel-Martínez, L., Ponce, A.L., Andrade, M.H.H., Hasanuzzaman, M. y Teodoro, P.E. (2021). Salinity effects on water potential and the normalized difference vegetation index in four species of a saline semi-arid ecosystem. *Peer J*. 9, e12297.

González, F.G., Cortez, S.G. y Salgado, J.R.H. (2019). Evaluación de metodologías para la obtención de extractos acuosos de plantas para el control del gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda* J.E. SMITH). *IV Congreso Internacional y XV Congreso Nacional sobre Recursos Bióticos de Zonas Áridas*. p. 41.

Guo, Y., Wang, H., Wu, Z., Wang, S., Sun, H., Senthilnath, J. and Fu, Y. (2020). Modified red blue vegetation index for chlorophyll estimation and yield prediction of maize from visible images captured by UAV. *Sensors*. 20(18), p. 5055.

Jáquez-Matas, S.V., Pérez-Santiago, G., Márquez-Linares, M.A. y Pérez-Verdín, G. (2022). Impactos económicos y ambientales de los plaguicidas en cultivos de maíz, alfalfa y nogal en Durango, México. *Revista internacional de contaminación ambiental*. 38.

- Martínez-Alonso, C., Quirino-García, A., Salazar, R. y Maldonado-Astudillo, Y. I. (2022). Síntesis de óxido de zinc nanoestructurado y su efecto en la germinación de semillas de maíz (*Zea mays*). *Acta Agrícola y Pecuaria*. 8(1).
- Mousavi, S. S., Karami, A., Haghighi, T. M., Alizadeh, S. y Maggi, F. (2021). Phytotoxic potential and phenolic profile of extracts from *Scrophularia striata*. *Plants*. 10(1), p. 135.
- Patil, J., Linga, V., Vijayakumar, R., Subaharan, K., Navik, O., Bakthavatsalam, N. y Sekhar, J. (2022). Biocontrol potential of entomopathogenic nematodes for the sustainable management of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in maize. *Pest Management Science*. 78(7), pp. 2883-2895.
- Petersen, F., Demann, J., Restemeyer, D., Ulbrich, A., Olf, H. W., Westendarp, H. y Appenroth, K.J. (2021). Influence of the nitrate-n to ammonium-n ratio on relative growth rate and crude protein content in the duckweeds *Lemna minor* and *Wolffiella hyalina*. *Plants*. 10(8), pp. 1741.
- Pipatsitee, P., Tisarum, R., Taota, K., Samphumphuang, T., Eiumnoh, A., Singh, H. P. y Cha-Um, S. (2023). Effectiveness of vegetation indices and UAV-multispectral imageries in assessing the response of hybrid maize (*Zea mays* L.) to water deficit stress under field environment. *Environmental Monitoring and Assessment*. 195(1), pp. 128.
- Qiu, R., Li, X., Han, G., Xiao, J., Ma, X. y Gong, W. (2022). Monitoring drought impacts on crop productivity of the US Midwest with solar-induced fluorescence: GOSIF outperforms GOME-2 SIF and MODIS NDVI, EVI, and NIRv. *Agricultural and Forest Meteorology*. 323, 109038.
- Romanucci, V., Ladhari, A., De Tommaso, G., De Marco, A., Di Marino, C., Di Fabio, G. y Zarrelli, A. (2018). Phytotoxic extracts as possible additive in subsurface irrigation drip for organic agriculture. *Journal of Environmental Accounting and Management*. 6(4), pp. 335-343.
- Romo-Asunción, D., Martínez-González, D. E., Vázquez-Martínez, B. E., Angel, M., Ramos-López, R. F. B., Flores-Macias, A. y de Querétaro, S. (2015). Compuestos botánicos como alternativa para el manejo del gusano cogollero del maíz. *Nthe*. 13, pp. 21-34.
- Salinas-Sánchez, D. O., Avilés-Montes, D., Aldana-Llanos, L., Gutiérrez-Ochoa, M., Figueroa-Bríteo, R. y Sotelo-Leyva, C. (2020). Efecto Insecticida de *Serjania schiedeana* Para el Control de *Spodoptera frugiperda*2 Bajo Condiciones de Laboratorio e Invernadero. *Southwestern Entomologist*. 45(2), pp. 521-530.
- Tejeda-Reyes, M., Solís-Aguilar, J., Díaz-Nájera, J., Peláez-Arroyo, A., Ayvar-Serna, S. y Mena-Baheba, A. (2016). Evaluación de insecticidas en el control de gusano cogollero *Spodoptera frugiperda* JE Smith (Lepidoptera: Noctuidae) en maíz en Coahuila, Guerrero. *Entomología Mexicana*. 3(1), pp.391-394.
- Torres-Cab, W.J., Ruiz-Sanchez, E., Reyes-Ramírez, A., Lugo-García, G.A., Tucuch-Haas, J.I. y Pierre, J.F. (2022). Field evaluation of microbial insecticides against fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (Smith) and corn earworm, *Helicoverpa zea* (Boddie) (Lepidoptera: Noctuidae), in maize. *Archives of Phytopathology and Plant Protection*. 55(14), pp. 1713-1723.
- Vargas-Rojas, J. C. y García, F. (2022). Determinación de la potencia estadística de experimentos de rendimiento en maíz. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 13(4), pp. 591-601.
- Zelaya-Molina, L.X., Chávez-Díaz, I.F., de los Santos-Villalobos, S., Cruz-Cárdenas, C.I., Ruiz-Ramírez, S. y Rojas-Anaya, E. (2022). Biological pest control in Mexican agriculture. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 13(SPE27), pp. 69-79.