



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO

FACULTAD DE QUÍMICA

“EVALUACIÓN DE LA ACTIVIDAD BIOLÓGICA DEL
EXTRACTO METANÓLICO HIDROLIZADO DE *Ricinus
communis* (MALPIGHIALES: EUPHORBIACEAE) CONTRA
Spodoptera frugiperda (LEPIDOPTERA: NOCTUIDAE)”

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERO AGROQUÍMICO

PRESENTA

C. MANOLO RODRÍGUEZ CERVANTES

DIRIGIDA POR

DR. MIGUEL ANGEL RAMOS LÓPEZ

SANTIAGO DE QUERÉTARO, QUERÉTARO, 2024.



Dirección General de Bibliotecas y Servicios Digitales
de Información



Evaluación de la actividad biológica del extracto
metanólico hidrolizado de *Ricinus communis*
(Malpighiales: Euphorbiaceae) contra *Spodoptera*
frugiperda (Lepidoptera: Noctuidae)

por

Manolo Rodríguez Cervantes

se distribuye bajo una [Licencia Creative Commons
Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional](#).

Clave RI: FQLIN-267651



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO

FACULTAD DE QUÍMICA

“EVALUACIÓN DE LA ACTIVIDAD BIOLÓGICA DEL
EXTRACTO METANÓLICO HIDROLIZADO DE *Ricinus
communis* (MALPIGHIALES: EUPHORBIACEAE) CONTRA
Spodoptera frugiperda (LEPIDOPTERA: NOCTUIDAE)”

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

INGENIERO AGROQUÍMICO

PRESENTA

C. MANOLO RODRÍGUEZ CERVANTES

DIRIGIDA POR

DR. MIGUEL ANGEL RAMOS LÓPEZ

SINODALES

Dr. MIGUEL ANGEL RAMOS LÓPEZ

DIRECTOR

I.Q.A. KARLA HERNÁNDEZ CARACHEO

SINODAL

Dr. JUAN CAMPOS GUILLEN

SINODAL

Dr. JUAN ANTONIO VALENCIA HERNÁNDEZ

SINODAL

AGRADECIMIENTOS

A mis padres Rafael y Francis, por todo su amor, entereza, apoyo durante mis estudios y enseñarme a tomar decisiones para poder irme derecho por la vida.

A mis hermanos Rafa, Ana, Hugo, así como a mis sobrinitos Rafita y Huguito, por su gran amor, confianza, apoyo, compañía y diversión que he pasado a su lado.

A Alfredo, Ángel, Aziel, Joaquín, Nico y Uriel, que han sido mis amigos desde pequeño y nunca me han dejado solo.

A Eli, George, Daniel, Brandon y Naye, que me acompañaron siempre durante la licenciatura y nunca dudaron ni un poco de mí.

A mis compañeros del Laboratorio de Compuestos Naturales Insecticidas de la Facultad de Química, por su compañerismo, apoyo y momentos de diversión.

Al Doc Miguel Ramos, que durante mi última mitad de la licenciatura estuvo presente y me despertó el interés por la investigación, en la cual siempre me ha apoyado y ha compartido de sus conocimientos.

ÍNDICE GENERAL

Contenido	Página
ÍNDICE GENERAL	i
ÍNDICE DE CUADROS	iv
ÍNDICE DE FIGURAS	v
RESUMEN	
I. INTRODUCCIÓN	1
II. ANTECEDENTES	3
II.1. Maíz	3
II.1.1. Taxonomía	3
II.1.2. Morfología	3
II.1.3. Fenología	5
II.1.4. Importancia mundial del maíz	6
II.1.5. Importancia nacional	7
II.1.6. Enfermedades y plagas	8
II.1.7. Principales plagas	11
II.1.7.1. Roedores	11
II.1.7.2. Aves	11
II.1.7.3. Ácaros e insectos	12
II.1.7.3.1. Insectos	12
II.2. Gusano cogollero del maíz (<i>Spodoptera frugiperda</i>)	12
II.2.1. Taxonomía	13
II.2.2. Ciclo biológico de <i>Spodoptera frugiperda</i>	14
II.2.3. Métodos de control	16
II.2.3.1. Insecticidas químico sintéticos	16
II.2.3.2. Biológico	17
II.2.3.3. Botánico	17
II.3. Higuera (<i>Ricinus communis</i>)	18
II.3.1. Taxonomía	18
II.3.2. Morfología	19

II.3.3. Actividad biológica contra insectos plaga	20
II.3.4. Flavonoides con actividad insecticida	20
II.3.5. Canferol	21
III. HIPÓTESIS	22
IV. OBJETIVOS	23
IV.1. GENERAL	23
IV.2. ESPECÍFICOS	23
V. METODOLOGÍA	24
V.1. Materiales	24
V.1.1. Cría de <i>Spodoptera frugiperda</i> en condiciones de laboratorio	24
V.1.2. Material vegetal	24
V.2. Métodos	25
V.2.1. Sitio de estudio	25
V.2.2. Obtención del extracto metanólico de <i>Ricinus communis</i>	25
V.2.3. Hidrólisis del extracto metanólico de <i>R. communis</i>	25
V.2.4. Evaluación de la actividad insecticida e insectistática de los extractos metanólicos de hojas y tallos de <i>Ricinus communis</i>	26
V.2.5. Identificación de canferol en el extracto metanólico hidrolizado de <i>Ricinus communis</i>	27
V.2.6. Análisis estadístico	28
V.3. Diseño experimental	28
VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	29
VI.1. Evaluación de la actividad insecticida del extracto metanólico de <i>Ricinus communis</i> contra <i>Spodoptera frugiperda</i>	29
VI.2. Evaluación de la actividad insectistática del extracto metanólico de <i>Ricinus communis</i> contra <i>Spodoptera frugiperda</i>	32
VI.3. Evaluación de la actividad insecticida del extracto metanólico hidrolizado de <i>Ricinus communis</i> contra <i>Spodoptera frugiperda</i>	36
VI.4. Evaluación de la actividad insectistática del extracto metanólico hidrolizado contra <i>Spodoptera frugiperda</i>	38

VI.5. Identificación y cuantificación de canferol en los extractos metanólico y metanólico hidrolizado de <i>R. communis</i>	41
VII. CONCLUSIONES	46
VIII. REFERENCIAS	47

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Página
1. Taxonomía del maíz	4
2. Mayores productores de maíz en el mundo en 2020	7
3. Enfermedades provocadas por hongos	9
4. Enfermedades provocadas por bacterias	10
5. Enfermedades provocadas por virus	10
6. Taxonomía de <i>Spodoptera frugiperda</i>	13
7. Taxonomía de <i>Ricinus communis</i>	18
8. Componentes de 1 kg de dieta para <i>Spodoptera frugiperda</i>	24
9. Gradiente de elución del análisis de canferol	27
10. Actividad insecticida del extracto metanólico de <i>Ricinus communis</i> contra <i>Spodoptera frugiperda</i>	32
11. Actividad insectistática del extracto metanólico de <i>Ricinus communis</i> contra <i>Spodoptera frugiperda</i>	36
12. Actividad insecticida del extracto metanólico hidrolizado de <i>Ricinus communis</i> contra <i>Spodoptera frugiperda</i>	38
13. Actividad insectistática del extracto metanólico hidrolizado de <i>Ricinus communis</i> contra <i>Spodoptera frugiperda</i>	39
14. Concentraciones y áreas bajo la curva obtenidas en la curva de calibración de canferol	42

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Etapas de crecimiento del maíz y de sus granos	6
2. Ciclo biológico de <i>S. frugiperda</i>	14
3. Planta, flores, frutos y semillas de <i>R. communis</i>	19
4. Canferol y sus sitios de hidroxilación	21
5. Cromatograma de HPLC del estándar de Canferol	41
6. Curva de calibración para la cuantificación de Canferol	42
7. Cromatograma de HPLC del extracto metanólico de <i>R. communis</i>	43
8. Cromatograma de HPLC del extracto metanólico hidrolizado de <i>R. communis</i>	43

RESUMEN

El maíz (*Zea mays*) es uno de los cereales más importantes en el mundo por su relevancia en la alimentación humana, la alimentación de animales y en la obtención de diversos productos derivados de este. La producción de maíz puede verse afectada por enfermedades y plagas, siendo el gusano cogollero del maíz (*Spodoptera frugiperda*) su principal plaga con la capacidad de ocasionar hasta pérdidas totales del cultivo. Es de interés disminuir el uso de insecticidas químicos sintéticos, por generar impactos negativos en la salud humana y el ambiente, por lo que se plantean alternativas como el control botánico. La higuera (*Ricinus communis*) presenta en su metabolismo secundario compuestos con actividad biológica contra insectos, como glucósidos de canferol, que pueden hidrolizarse para llevarlos a su forma aglicona. En el presente trabajo se evaluó la actividad insecticida e insectistática del extracto metanólico y metanólico hidrolizado de partes aéreas de *R. communis* contra *S. frugiperda*. Se administraron concentraciones de 0, 500, 1000, 2000, 4000 y 5000 ppm de extractos metanólico y metanólico hidrolizado en dieta artificial y fueron suministradas a larvas de segundo instar de *S. frugiperda*, donde se evaluó la mortalidad larval, pupal y acumulada; duración larval y pupal; así como el peso de pupa a las 24 h de su formación. El extracto hidrolizado presentó mayor mortalidad, llegando hasta el 100 % en la concentración de 5000 ppm, exhibiendo una CL_{50} de 1057.8 ppm. Además, mediante HPLC se cuantificó el canferol y se obtuvo una concentración de $1.65 \mu\text{g mg}^{-1}$ en el extracto hidrolizado.

I. INTRODUCCIÓN

El maíz es uno de los cultivos básicos de mayor importancia en el mundo debido a su aporte nutricional, su uso como materia prima para elaborar una gran variedad de productos derivados de este y para alimentación de ganado. Además, este cereal constituye la base de la alimentación de la población mexicana al ser incluido en su dieta, siendo la tortilla su principal forma de ser consumida. Sin embargo, la producción de este cultivo se puede ver afectada principalmente por plagas y enfermedades. Entre las plagas del maíz se incluyen aves, roedores y artrópodos, en estos últimos se incluyen los insectos los cuales son los principales responsables de daños en el cultivo.

El gusano cogollero del maíz es una especie oriunda de América, sin embargo, ya se ha reportado su presencia a nivel internacional, aunado a esto, es considerada la principal plaga de este cultivo debido a su preferencia y causar pérdidas que van desde una reducción del 10 % hasta la pérdida total de la producción de este. La manera convencional de controlar esta plaga es mediante el uso de insecticidas químico-sintéticos, los cuales representan un riesgo para la salud humana y el ambiente, además de generar resistencia en los insectos que se busca controlar y causar daños a aquellos insectos que resultan benéficos.

Los extractos botánicos representan una alternativa efectiva para el control plagas, ya que han demostrado ser efectivos, biodegradables y de no causar un impacto negativo en la salud humana. La higuierilla es una planta que produce dentro de su metabolismo una serie de metabolitos secundarios que han demostrado tener

actividad biológica contra insectos, incluido el gusano cogollero del maíz. Dentro de estos compuestos se encuentran flavonoides tales como el canferol, el cual ha presentado actividad biológica contra otros insectos cuando se encuentra en forma de glucósido. Sin embargo, estos compuestos glucosídicos se pueden obtener en su forma aglicona al ser sometidos a una hidrólisis ácida para modificar e intensificar su actividad. Por lo que, en el presente trabajo se buscó determinar la actividad insecticida e insectistática del extracto metanólico hidrolizado de partes aéreas de higerilla contra el gusano cogollero del maíz, identificar y cuantificar el canferol presente en este y comparar su actividad biológica frente al extracto metanólico de partes aéreas de higerilla.

II. ANTECEDENTES

II.1. Maíz (*Zea mays*)

El maíz conforma parte de aproximadamente 225 especies vegetales que tienen origen en Mesoamérica, zona que inicia desde aproximadamente la mitad inferior de México desde el estado de Nayarit a la mitad de Veracruz, terminando en Nicaragua. Siendo resultado del proceso de domesticación ocurrido por la intervención humana del teocintle, especie que contrasta demasiado con el maíz debido a que se caracteriza por tener múltiples inflorescencias femeninas más pequeñas y menor cantidad de granos que se desprenden al llegar a madurez (Kato y col., 2009; Flint, 2017).

II.1.1. Taxonomía

El maíz forma parte de la familia Poaceae de la cual forman parte otros cultivos importantes como el trigo, la avena, el arroz y el centeno. A su vez, pertenece al género *Zea* (Véase Cuadro 1) en el cual se encuentran cinco especies (Vela, 2021): *Zea diploperennis*, *Zea perennis*, *Zea luxurians*, *Zea nicaraguensis* y *Zea mays* (Urquijo y col., 2022). Sin embargo, *Zea mays* es la especie de mayor importancia económica de entre todas las especies del género e incluso a nivel tribu (Sánchez, 2014).

II.1.2. Morfología

Es una planta anual que posee raíces fibrosas, además presenta una modificación en las raíces que alcanzan a salir de la superficie del suelo sirviendo de sostén para

la planta, a las que se les llaman raíces fúlcreas (Barioglio, 2006; Troiani y col., 2017; Awata y col., 2019).

Se caracteriza por tener un tallo erecto carnosos dotado de nudos en donde se encuentran distribuidas las hojas de manera alterna. Estas hojas son de forma lanceolada, de nervaduras paralelas y compuestas por vaina, cuello y lámina foliar (Méndez, 2020).

El maíz es una planta monoica, por lo que presenta de manera separada las inflorescencias masculinas y femeninas en una misma planta. La inflorescencia masculina es una panícula, comúnmente llamada “espiga” que se encuentra en el extremo superior del tallo, donde cada flor que compone la inflorescencia se conforma de tres estambres donde tiene lugar el desarrollo del polen (Guacho, 2014).

Cuadro 1. Taxonomía del maíz (Findlay y col., 2021).

Dominio	Eukarya
Reino	Plantae
División	Liliopsida
Subdivisión	Magnoliophyta
Clase	Liliopsida
Subclase	Commelinidae
Orden	Poales
Familia	Poaceae
Subfamilia	Paricoideae
Tribu	Andropogoneae
Subtribu	Tripsacinae
Género	<i>Zea</i>
Especie	<i>Z. mays</i>

Mientras que la inflorescencia femenina que también recibe el nombre de “mazorca”, se encuentra en la zona axilar de la hoja y está compuesta por un raquis en el que se encuentran unidas las espiguillas por una estructura denominada raquilla, donde cada espiguilla está formada por dos flores, donde sólo la superior será la funcional dando lugar a un grano cuando sea fertilizada de manera sexual mediante polinización anemófila. Estas estructuras se encuentran envueltas por brácteas, de donde emergen los estilos de cada unidad floral (Chávez y Sevilla., 2006; Kumar y col., 2012).

II.1.3. Fenología

Las etapas del crecimiento del cultivo se pueden dividir en dos tipos de desarrollo: el vegetativo y el reproductivo (Véase Figura 1). Donde el primero comienza desde la emergencia (VE) siendo el momento en que comienzan a formarse las raíces seminales y adventicias. Después, cada subetapa se define por el número de hojas que se forma en la planta hasta llegar a la etapa de panojamiento (VT). Mientras que las etapas del desarrollo reproductivo (desarrollo del grano). Inician por la etapa R1 que corresponde a cuando empiezan a emerger estilos de las brácteas de la inflorescencia femenina para ser polinizadas; seguida de la etapa R2, que es cuando terminan de formar la radícula, coleóptero y primera hoja del embrión. Luego la etapa R3 el grano inicia con la acumulación de almidón en su endospermo; la R4 cuando el contenido del gran adquiere una textura pastosa; A partir de la etapa R5 es cuando comienza a secarse el grano adquiriendo rigidez en la parte externa y, finalmente, en la etapa R6 se define la madurez fisiológica cuando todos los granos en la mazorca han llegado a su máximo peso seco (Fassio y col., 1998; Endicott y col., 2015).

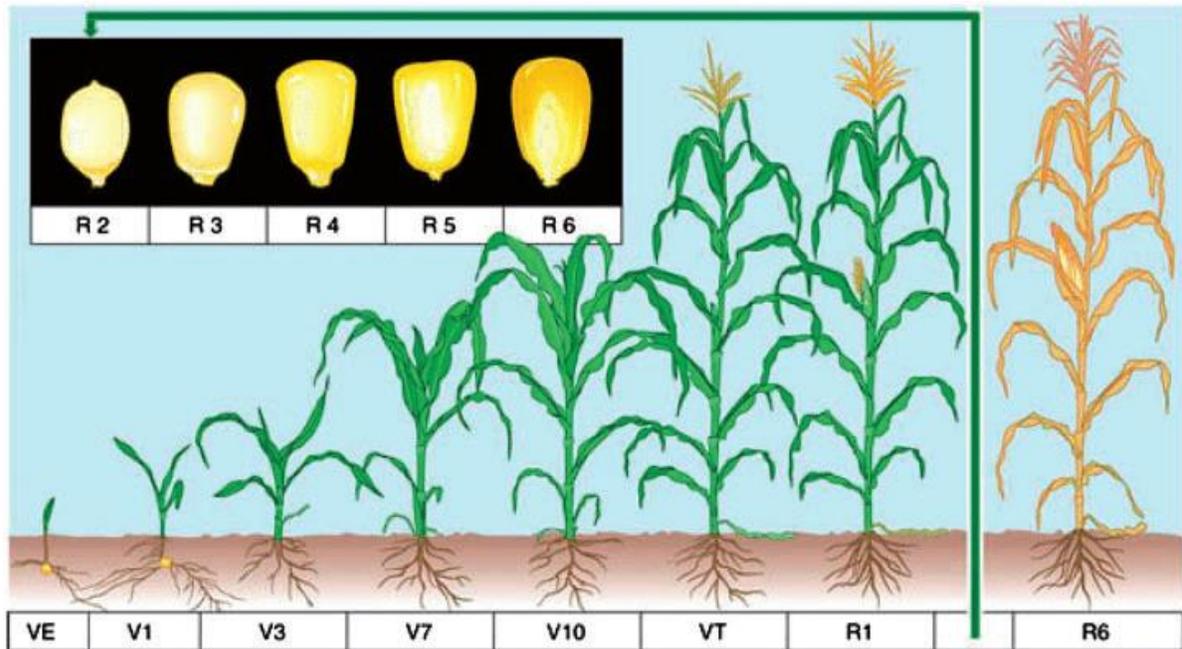


Figura 1. Etapas de crecimiento del maíz y de sus granos (Zhao y col., 2011).

II.1.4. Importancia mundial del maíz

El maíz corresponde a uno de los tres cereales más importantes a nivel mundial, junto con el trigo y arroz. Su importancia como alimento se debe principalmente a su aporte calórico, siendo de aproximadamente 365 kcal por cada 100 g de grano (Ranum y col., 2014). Se estima que este cereal es el responsable de proveer aproximadamente el 20 % de las calorías y el 15 % de la proteína que se consumen la población a nivel mundial (Nuss y Tanumihardjo, 2010).

Además de ser una pieza fundamental en la nutrición humana, también se destina para la alimentación de animales y usos industriales (Shiferaw y col., 2011). Dentro de los productos que derivan del maíz se encuentra almidón, endulzantes, pegamentos, bebidas, alcohol, biocombustibles, entre otros (Ranum y col., 2014).

El promedio de producción mundial por año de este cultivo durante la década pasada fue de aproximadamente 1.036 mil millones de toneladas (Dragomir y col., 2022). Los cinco mayores productores de maíz a nivel mundial son Estados Unidos de América, seguido de China, Brasil, Argentina y la Unión Europea (Véase Cuadro 2) (Sánchez y col., 2020).

Cuadro 2. Mayores productores de maíz en el mundo en 2020 (FAOSTAT, 2022-a).

País	Producción (t)
Estados Unidos De América	360,251,560
China	260,670,000
Brasil	103,963,620
Argentina	58,395,811
Ucrania	30,290,340

El maíz es el segundo cultivo con mayor área dedicada para su producción a nivel global con una superficie estimada de 205 millones de hectáreas, lo cual corresponde al 13 % de la superficie cultivada a nivel mundial. Siendo el primero el trigo con una superficie de 215 millones de hectáreas que representa el 13.6 % de la superficie cultivada mundialmente (Erenstein y col., 2021).

II.1.5. Importancia nacional

En México el maíz forma parte de la base alimenticia de la población por su aporte nutritivo y la versatilidad del grano para elaborar distintos tipos de alimentos (Mendoza y Bruno, 2018).

Dentro de los usos a los que se destina el maíz nacionalmente se encuentran la elaboración de tortilla y como alimento animal. Sin embargo, hay una variedad de

productos industrializados que hacen uso de los distintos componentes de este grano: Se aprovechan las fibras y el contenido proteico para hacer alimentos balanceados; la dextrosa para la elaboración de pan, bebidas, antibióticos y sueros; el alcohol etílico para producir alcohol industrial, bebidas y biocombustible; la fructosa como endulzante de una variedad de productos tales como refrescos, postres y jugos; y se elabora papel, cerveza, atole y pan del almidón procedente de este grano (Ortiz y Ramírez, 2017).

En el año 2020 fue el séptimo país con mayor producción de maíz en el mundo con un total de 27.4 millones de toneladas (FAOSTAT, 2022-a). En 2021, en México la producción anual fue de 27.5 millones de toneladas con un valor estimado de 148.6 mil millones de pesos. La cual fue cosechada en una superficie de siembra de 7.3 millones de hectáreas, la cual representa al 40.27 % de la superficie total que se destina para la siembra en el país (SIAP, 2022).

A pesar de que México sea el centro de origen del maíz y se le destine una gran extensión de superficie de siembra, este no logra ser autosuficiente de este grano ya que anualmente se importan 16.2 millones de toneladas (Regalado y col., 2021). México ocupa el primer lugar de los países importadores de maíz, seguido de Japón y Vietnam (FAOSTAT, 2022-b).

II.1.6. Enfermedades y plagas

El cultivo y la producción de maíz puede verse afectado por diversos factores, entre ellos se encuentran enfermedades y plagas (Blanco y col., 2014), siendo los hongos (Véase Cuadro 3), bacterias (Véase Cuadro 4) y virus (Véase Cuadro 5) principales agentes causantes de enfermedades. Estas enfermedades pueden causar estragos

Cuadro 3. Enfermedades provocadas por hongos.

Enfermedad	Patógeno	Síntomas	Referencia
Roya común	<i>Puccinia sorghi</i>	Formación de pústulas uredinosóricas en las hojas dispuestas de forma alargada en haz y envés de color rojizo y teliosoros con teliosporas de tonalidad oscura al final del ciclo de cultivo.	Formento, 2010
Pudrición de tallo	<i>Rhizoctonia spp.</i>	Manchas pardas con borde oscuro en el tallo, formando después micelio blanco, posteriormente se forman esclerocios de apariencia algodonosa que se endurecen y adquieren una tonalidad oscura.	Varón y col., 2022
	<i>Fusarium spp.</i>	Clorosis en hojas superiores y secamiento del tallo hasta destruir el tejido central del tallo.	
	<i>Pythium spp.</i>	Estrechamiento del tallo en el sitio de infección (primeros entrenudos) hasta el acame de la planta.	
Pudrición de mazorca	<i>Penicillium spp.</i>	Aparición de polvo azul sobre el raquis y granos amarillos con un rayado en el pericarpio.	CIMMYT, 2004
	<i>Aspergillus spp.</i>	Producción de esporas de coloración oscura o amarillas-verdosas sobre granos y raquis.	
	<i>Fusarium monoliforme</i>	Mohos de apariencia algodonosa en granos, además de un rayado claro en el pericarpio	

tanto en tallo, mazorca, hoja, el crecimiento de la planta, entre otros. Llegando a ser la mayoría de importancia económica, aunque aquellas que no lo son, pueden llegar a serlo (CIMMYT, 2004). Entre las plagas que afectan el cultivo se encuentran

Cuadro 4. Enfermedades provocadas por bacterias.

Enfermedad	Patógeno	Síntomas	Referencia
Pudrición de tallo	<i>Dickeya zeae</i>	Amarillamiento de cogollos y fácil desprendimiento de éstos en plantas jóvenes. Pudrición de las brácteas y ablandamiento de granos con una coloración blanco perla en mazorcas.	Varón y Sarria, 2007
Marchitez de Stewart	<i>Pantoea stewartii</i>	Lesiones acuosas en hojas de plantas jóvenes que posteriormente provocan una marchitez de la planta. En plantas maduras ocasiona lesiones amarillentas lineales paralelas a la nervadura de la hoja que se necrosan.	Roper, 2011
Rayado foliar	<i>Acidovorax avenae</i> subsp. <i>Avenae</i>	Aparición de manchas de coloración olivo con apariencia acuosa en hojas y bandas blancas de 2 mm de ancho a lo largo de la hoja.	Gijón y col., 2016

Cuadro 5. Enfermedades provocadas por virus.

Enfermedad	Patógeno	Síntomas	Referencia
Enanismo clorótico del maíz	Virus del enanismo clorótico del maíz	Acortamiento de entrenudos superiores y retraso del crecimiento en la planta. Manchas o bandas cloróticas en hojas y coloraciones rojas y amarillentas en hojas superiores.	Signoret, 2008
Moteado clorótico del maíz	Virus del moteado clorótico del maíz	Suave moteado clorótico y mosaicos.	Redinbaugh y Zambrano, 2014
Mosaico del enanismo del maíz	Virus del mosaico del enanismo del maíz	Patrones de mosaico en la base de hojas jóvenes que causan manchas amarillentas en el borde de la hoja dando apariencia de bandas cloróticas. Retraso del crecimiento en plantas jóvenes. Pérdida de granos en el extremo basal de la mazorca.	Kannan y col., 2018

roedores, aves, arácnidos e insectos, siendo estos últimos los principales causantes de pérdidas económicas en el cultivo (Norgrove, 2021).

II.1.7. Principales plagas

II.1.7.1. Roedores

Los roedores son un grupo de especies que ocasionan daños en diferentes etapas del cultivo de maíz. Desde la siembra, estos animales son capaces de cavar en el suelo para consumir la semilla o la plántula. En etapas vegetativas, suelen alimentarse de los tallos tiernos. Sin embargo, el daño más común de este grupo de plagas se suele presentar en etapas reproductivas dañando las mazorcas desde que el contenido del grano es lechoso hasta cuando está completamente maduro (Mulungu, 2017).

En México hay veintiséis especies de roedores considerados plaga en el cultivo de maíz, entre las cuales se encuentran el ratón pigmeo sureño (*Baiomys musculus*) (Rodentia: Cricetidae), la tuza de la cuenca de México (*Cratogeomys merriami*) (Rodentia: Geomyidae) y el ratón espinoso mexicano (*Heteromys irroratus*) (Rodentia: Heteromyidae), por mencionar algunas (Sánchez y col., 2022).

II.1.7.2. Aves

Las aves son causantes de daños en el cultivo de maíz al consumir las semillas y plántulas (Esther y col., 2013). Sin embargo, al igual que en los roedores, las aves son más atraídas por este cultivo cuando se encuentra el grano madurando desde su estado lechoso donde mediante picaduras desprenden el contenido suave de los granos. Algunas de las especies responsables de los daños y pérdidas son el cuervo casero (*Corvus splendens*) (Passeriformes: Corvidae), el miná común (*Acridotheres tristis*) (Passeriformes: Sturnidae), el gorrión común (*Passer domesticus*) (Passeriformes: Passeridae), entre otros (Ahmad y col., 2018).

II.1.7.3. Ácaros e insectos

Existen artrópodos de la clase Arachnida, principalmente ácaros de los géneros *Oligonychus* y *Tetranychus* que son plagas muy comunes en las plantaciones de maíz (Chaires y col., 2021). Dentro de los artrópodos que atacan este cultivo la mayor cantidad de integrantes considerados como plaga pertenecen a la clase Insecta, reportándose hasta más de setenta especies que afectan al maíz (Hernández y col., 2019).

II.1.7.3.1. Insectos

De las plagas más comunes del maíz se encuentran: pulgones, *Rhopalosiphum maidis* (Hemiptera: Aphididae); cigarritas, *Dalbulus maidis* (Hemiptera: Cicadellidae); los gusano barrenadores, como *Diatraea saccharalis* y *Diatraea grandiosella* (Lepidoptera: Crambidae).; falso medidor, *Mocis latipes* (Lepidoptera: Erebidae); gusano elotero, *Helicoverpa zea* (Lepidoptera: Noctuidae); gusano cortador, *Agrotis* spp. (Lepidoptera: Noctuidae); y gusano cogollero, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) (Vélez y col., 2021).

II.2. Gusano cogollero del maíz (*Spodoptera frugiperda*)

El gusano cogollero del maíz es una especie originaria de América, y que también ha sido reportada en África y Asia (Acharya y col., 2020). Es la plaga más importante del maíz debido a que es capaz de generar un daño total a la planta provocando pérdidas que van desde una reducción del 10 % en la producción hasta la pérdida total del cultivo, tan solo en el estado de Sinaloa, cual fue el mayor estado productor de México en 2009, esta plaga causó una pérdida del 30 % que corresponde a un

valor de 2800 millones de pesos mexicanos (Del Rincón y col., 2006; Nexticapan y col., 2009; Valdez y col., 2012; DGSV, 2022). Debido a su gran capacidad de adaptación a el clima hace posible que tenga una gran distribución geográfica (Casmuz y col., 2010; Yáñez y col., 2019).

A pesar de que este insecto es hospedante de varios cultivos como sorgo, arroz, algodón y alfalfa, el hospedante principal y preferencial es el maíz siendo capaz de poder infestarlo durante todas las etapas del cultivo (Nexticapan y col., 2009).

II.2.1. Taxonomía

El género *Spodoptera* forma parte de la familia Noctuidae. Este género está conformado por 31 especies, dentro de las cuales alrededor de la mitad de las especies son consideradas de importancia económica y entre ellas se encuentra *Spodoptera frugiperda* (Véase Cuadro 6) (Pogue, 2002; Pogue, 2011).

Cuadro 6. Taxonomía de *Spodoptera frugiperda* (Sagar y col., 2020).

Dominio	Eukarya
Reino	Metazoa
Phylum	Arthropoda
Subphylum	Uniramia
Clase	Insecta
Orden	Lepidoptera
Familia	Noctuidae
Género	<i>Spodoptera</i>
Especie	<i>S. frugiperda</i>

II.2.2. Ciclo biológico de *Spodoptera frugiperda*

Es un insecto con metamorfosis completa y su ciclo biológico varía entre los 34 y 76 d dependiendo de las condiciones ambientales y la disponibilidad de alimento. Este ciclo se desglosa en cuatro fases: huevo, larva, pupa y adulto (Véase Figura 2) (Serrano y col., 2020).

Los huevos tienen forma de domo, con un diámetro de 0.4 mm y suelen estar agrupados en masillas de 50 a 150 piezas. Son depositados después del apareamiento entre las bases de la hoja y del tallo y en el envés de las hojas de las plantas de maíz (Chhetri y Acharya, 2019).

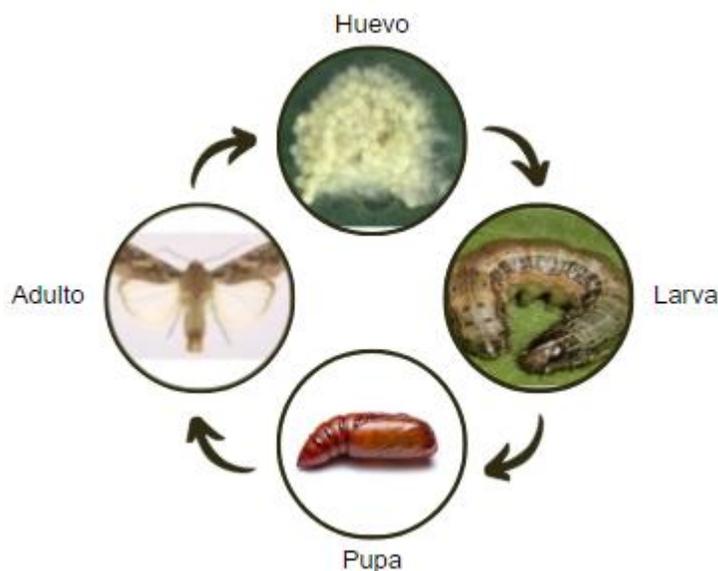


Figura 2. Ciclo biológico de *S. frugiperda* (Naharki y col., 2020).

De los huevos eclosionan larvas de primer instar que tienen una longitud entre 0.9 y 1.8 mm con una cabeza de 0.35 a 0.39 mm de ancho, su cuerpo es de una coloración

verde clara y su cabeza es de coloración oscura, grande y sobresaliente, tiene puntos negros en los segmentos abdominales y torácicos del cuerpo, las patas torácicas suelen ser largas y de color negro, mientras que los espuripedios son más pequeñas y de una tonalidad verde clara. Cuando están en el segundo instar el largo de la larva es de 2.0 a 4.3 mm, mientras que su cabeza mide entre 0.45 y 0.90 mm de ancho, el cuerpo sigue siendo de color verde, sin embargo, los puntos negros dejan de ser tan visibles como en el instar anterior y se puede apreciar una banda oscura en el primer segmento torácico. En el tercer instar su cuerpo ya mide entre 5.1 y 7.8 mm y su cabeza entre 1.0 y 1.3 mm, la superficie dorsal suele ser de un color entre verde y café con líneas blancas distribuidas a lo largo del cuerpo. Cuando pasan al cuarto instar la larva tiene un tamaño entre 9.0 y 15.7 mm y su cabeza de 1.5 a 2.0 mm, su cuerpo ya es de una tonalidad café y su cabeza es de color café rojizo con moteado blanco. Durante el quinto instar el largo de su cuerpo es de entre 17.1 y 24.0 mm con una cabeza de 1.8 a 2.4 mm de diámetro, el cuerpo vuelve a ser de una tonalidad entre café y verde, en su cabeza se puede observar una marca en forma de “Y” entre sus ojos. Y finalmente en su sexto instar larval la larva llega a medir de 23.5 a 36.0 mm y su cabeza un ancho entre 2.6 y 3.1 mm, se extiende una línea desde la base de la marca en forma de “Y” hasta el último segmento abdominal de la larva y también dispone de cuatro manchas dorsales negras en forma de cuadrado en el penúltimo segmento abdominal (DGSV, 2022; Kasige y col., 2022).

La larva de sexto instar tardío se suele enterrar en de entre 2 y 8 cm en el suelo dependiendo del mismo, tienen inicialmente una tonalidad verde clara, pero con el

tiempo se van tornando marrón. Las pupas tienen un tamaño entre 1.4 y 2.0 cm de longitud (MRI, 2019).

Los adultos son polillas de hábito nocturno con una duración de vida promedio de 10 días y suelen ser más activas en noches húmedas y calientes. Tienen un tamaño de envergadura de 32 a 40 mm, sus alas posteriores son de una tonalidad entre plata y blanco con un borde delgado oscuro. En sus alas anteriores puede presentar diferencias de acuerdo con el sexo de la polilla, los machos tienen en las alas un sombreado gris y café con manchas de color blanco en la punta y en el centro del ala, mientras que las hembras simplemente presentan un color entre gris y café de manera uniforme y un ligero moteado de los mismos colores (Capinera, 2008).

II.2.3. Métodos de control

Existen diversas formas para controlar las infestaciones de *S. frugiperda*, entre las cuales se encuentra el control químico, el biológico y el botánico. Siendo menos recomendado el control químico debido a que significa una fuente de contaminación y resistencia por parte de los insectos plaga. Por su contraparte, el uso de insectos y formulados botánicos son otras opciones de control, que si se combinan pueden ser una buena alternativa para el control de esta plaga. (Pérez y col., 2019)

II.2.3.1. Insecticidas químico sintéticos

La aplicación de estos productos es el método de manejo de este insecto más común. El gusano cogollero por lo general se alimenta desde dentro del cogollo de la planta dificultando su contacto con los insecticidas que se apliquen, por lo que es recomendado utilizar insecticidas sistémicos como lo son el benzoato de

emamectina, clorantraniliprol y spinetoram, por mencionar algunos. Sin embargo, el uso excesivo de estos productos genera a largo plazo una resistencia por parte de este insecto, pudiendo eliminar a aquellos insectos que son benéficos en el cultivo y además generar efectos negativos para la salud humana y al ecosistema (Kumar y col., 2022).

II.2.3.2. Biológico

Suelen utilizarse insectos como alternativa al uso de insecticidas sintéticos, los cuales pueden ser parasitoides o depredadores. Los parasitoides actúan desarrollándose en el interior o sobre su hospedero hasta que provoca su deceso (Villegas y col., 2015). Para el control de poblaciones de gusano cogollero sobresalen *Campoletis sonorensis* (Hymenoptera: Ichneumonidae), *Chelonus insulares* (Hymenoptera: Braconidae), *Trichogramma* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) y *Telenomus remus*. (Hymenoptera: Scelionidae) (González y López, 2007; García y col., 2013; Pomari y col., 2013; Rodríguez y col., 2014). Mientras que los insectos depredadores se alimentan directamente del insecto, como en el caso de la Catarina *Coleomegilla maculata* y las crisopas que depredan los huevecillos y larvas (Hoballah y col., 2004; Soto y Lannacone, 2008).

II.2.3.3. Botánico

Extractos de diferentes plantas han demostrado tener actividad insecticida contra *S. frugiperda*, entre ellas *Petiveria alliacea* (Caryophyllales: Phytolaccaceae), *Jathropa curcas* y *Ricinus communis* (Malpighiales: Euphorbiaceae) (Santiago y col., 2008; Romo y col., 2015). Las propiedades insecticidas de estas especies vegetales se deben principalmente a compuestos secundarios presentes en distintos órganos de

la planta: en el caso de *P. alliacea*, compuestos como esteroides, terpenoides, alcaloides, taninos, flavonoides, entre otros; *J. curcas*, son los extractos y ésteres de forbol contenidos en el aceite de sus semillas; y en *R. communis*, presencia de ricina, ricinina y alérgenos proteicos Ric c1 y Ric c3 (López y col., 2022).

II.3. Higuera (*Ricinus communis*)

Ricinus communis, conocida comúnmente como higuera, es una planta originaria de África y se encuentra a nivel mundial. De esta planta se extrae el aceite de castor, el cual tiene usos tanto cosméticos, medicinales e industriales (Franke y col., 2019).

II.3.1. Taxonomía

La higuera forma parte de la familia Euphorbiaceae (Véase Cuadro 7), un grupo de plantas muy amplio conformado por 300 géneros de plantas y un aproximado de 7500 especies.

Cuadro 7. Taxonomía de *R. communis* (Naik, 2018).

Dominio	Eukarya
Reino	Plantae
Phylum	Angiospermae
Subphylum	Dicotyledoneae
División	Lignosae
Orden	Euphorbiales
Familia	Euphorbiaceae
Grupo	Platylobeae
Subfamilia	Crotonoideae
Tribu	Acalypheae
Subtribu	Ricininae
Género	<i>Ricinus</i>
Especie	<i>R. communis</i>

Sin embargo, solo una pequeña cantidad de plantas de la familia Euphorbiaceae son consideradas de importancia económica, entre ellas *Jathropa curcas*, el árbol de caucho (*Hevea brasiliensis*), la nochebuena (*Euphorbia pulcherrima*) y *R. communis*, por mencionar algunas (Rahman y Akter, 2013).

II.3.2. Morfología

Esta planta crece como un arbusto que puede llegar a medir desde 2 hasta 10 m de altura. Sus hojas son pecioladas, tienen una forma palmeada con un número de cinco a once lóbulos, son de margen dentado, de nervadura palmatinervia y se encuentran dispuestas en la planta de forma alternada.

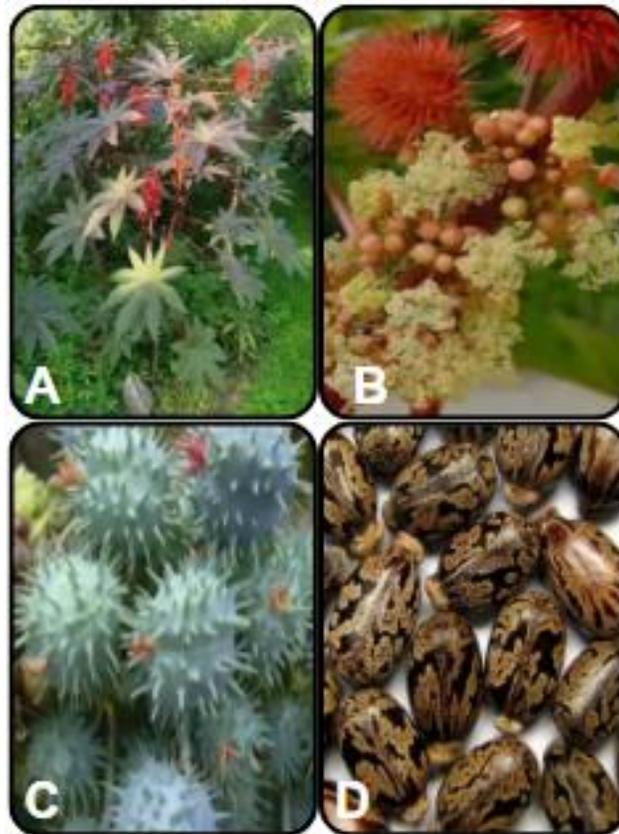


Figura 3. Planta (A), flores (B), frutos (C) y semillas (D) de *R. communis* (Sarfaraz y col., 2017).

Sus flores carecen de corola, las masculinas constan de un pedúnculo, cinco sépalos, soldados en la base, varios filamentos y con unos granos de polen de superficie lisa. Mientras que las flores femeninas tienen un cáliz conformado de cinco sépalos y un gineceo formado por un estilo con tres estigmas. El fruto de esta planta son cápsulas globosas con pedicelo largo, tres lóculos que llegan a medir hasta 2.5 cm de diámetro y suelen ser espinosas (Véase Figura 3) (Guerra y col., 2016).

II.3.3. Actividad biológica contra insectos plaga

Ricinus communis produce compuestos naturales a los que se han identificado con actividad insecticida e insectistática, ubicados tanto en semilla, hojas, raíces, bagazo y frutos. Este comportamiento insecticida se debe a compuestos como ricina, lipasa, ricinoleína, estearina, palmitina, ácido ricinoleico, ácido toxiesteárico, ricinina, ácido linoleico y ácido linolénico (Chiej, 1990; Ramos y col., 2010; Ramos y col., 2012). Se ha demostrado que los extractos orgánicos y acuosos de *R. communis* son efectivos para controlar diversas plagas de insectos pertenecientes a los órdenes Hymenoptera, Diptera, Hemiptera, Coleoptera y Lepidoptera (Aouinty y col., 2006; Bigi y col., 2004; Crisanto y Ayquipa, 2013;).

II.3.4. Flavonoides con actividad insecticida

En general, los flavonoides son una alternativa útil para el control de plagas al provocar cambios en el comportamiento, crecimiento y desarrollo de los insectos. (Hikal y col., 2017). Entre estos compuestos se encuentran: la quercetina, que ha demostrado tener una importante actividad biológica en el control de larvas de *Spodoptera litura* (Lepidoptera: Noctuidae); apigenina, probado en el control de *Culex quinquefasciatus* (Diptera: Culicidae); rutina y naringina, siendo productos altamente

efectivos para el control de ninfas y adultos de *Eriosoma lanigerum* (Hemiptera: Aphididae); y canferol, que ha demostrado tener actividad biológica en larvas de *Helicoverpa armígera* (Lepidoptera: Noctuidae) (Ateyyat y col., 2012; Selin y col., 2016; Johnson y Singh, 2017; Mikani, 2019).

II.3.5. Canferol

El canferol es una tetrahidroflavona, en la cual los grupos hidroxilo se encuentran ubicados en las posiciones 3, 5, 7 y 4' (Véase Figura 4) (Imran y col., 2019). Este flavonoide se encuentra en el metabolismo secundario de *R. communis* en forma de glucósido como kaempferol-3-O-beta-D-rutinósido y kaempferol-3-O-beta-D-xilopiranososa (Sogan y col., 2018). Los glucósidos de canferol pueden ser hidrolizados para obtener sus formas agliconas mediante hidrólisis usando ácidos inorgánicos fuertes (Kornpointner y col., 2022).

Se ha reportado que el canferol presenta actividad antialimentaria contra termitas de la especie *Coptotermes formosanus* (Isoptera: Rhinotermitidae) (Ohmura y col., 2000).

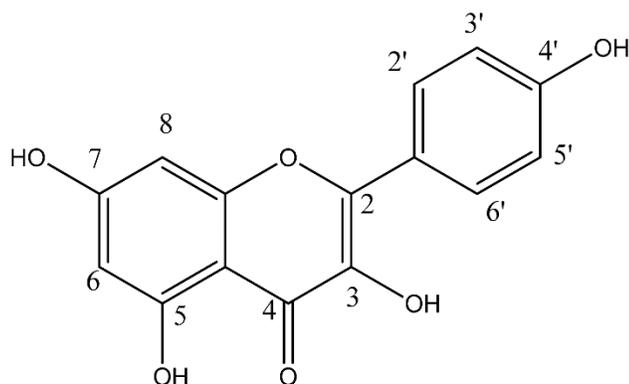


Figura 4. Canferol y sus sitios de hidroxilación (Alam y col., 2020).

III. HIPÓTESIS

El extracto metanólico hidrolizado de *R. communis* presentará mayor actividad insecticida contra larvas de *S. frugiperda*, en comparación con el extracto metanólico sin hidrolizar debido a que se encuentra el canferol en su forma aglicona.

IV. OBJETIVOS

IV.1. GENERAL

Determinar la actividad biológica de los extractos metanólico y metanólico hidrolizado de partes aéreas de *Ricinus communis* contra *Spodoptera frugiperda*.

IV.2. ESPECÍFICOS

- Evaluar la actividad insecticida e insectistática del extracto metanólico de partes aéreas de *Ricinus communis* contra *Spodoptera frugiperda*.
- Evaluar la actividad insecticida e insectistática del extracto metanólico hidrolizado de partes aéreas de *Ricinus communis* contra *Spodoptera frugiperda*.
- Identificar y cuantificar el canferol contenido en el extracto metanólico y metanólico hidrolizado de las partes aéreas de *Ricinus communis*.

V. METODOLOGÍA

V.1. Materiales

V.1.1. Cría de *Spodoptera frugiperda* en condiciones de laboratorio

Se utilizaron individuos de *S. frugiperda* criados en el Laboratorio de Compuestos Naturales Insecticidas bajo condiciones controladas en una cámara bioclimática con una temperatura de 27 ± 2 °C, humedad de 70 ± 5 % y fotoperiodo con una relación de luz-oscuridad de 14 y 10 h, respectivamente. A las larvas se les proporcionó una dieta descrita por Ramos y col. (2010) (Véase Cuadro 8).

Cuadro 8. Componentes de 1 kg de dieta para *Spodoptera frugiperda*.

Sustancia	Cantidad
Maíz molido	120 g
Frijol molido	60 g
Levadura	20 g
Neomicina	0.6 g
Multivitamínico	2.5 g
Ácido ascórbico	1.7 g
Metil 4-hidroxibenzoato	1.7 g
Agar bacteriológico	10 g
Formaldehído al 10 %	2.5 mL
Agua	800 mL
Etanol al 96 %	17 mL

V.1.2. Material vegetal

Se utilizaron para la obtención de los extractos metanólicos plantas silvestres de *R. communis* recolectadas en Santiago de Querétaro, Qro, México (Latitud:

20.594811(20°35'41.3"N); Longitud: -100.413643 (100°24'49.1"W)). Las muestras se trasladaron a las instalaciones del Laboratorio de Compuestos Naturales Insecticidas.

V.2.Métodos

V.2.1. Sitio de estudio

La presente investigación se realizó en el Laboratorio de Compuestos Naturales Insecticidas de la Facultad de Química de la Universidad Autónoma de Querétaro.

V.2.2. Obtención del extracto metanólico de *Ricinus communis*

El material vegetal fue sometido a secado por 72 h a 47 °C en un horno Arsa. Una vez completamente seco se molió hasta obtener un polvo lo más fino posible en un molino IKA-WERKE M20. Después se realizó una extracción a reflujo con metanol grado técnico J.T. Baker en una proporción de 1:5 de material vegetal y solvente a una concentración de 99 %, respectivamente, durante ocho h con un cambio de solvente a las cuatro h de extracción. Finalmente, el solvente se evaporó hasta sequedad con un evaporador rotatorio IKA RV10.

V.2.3. Hidrólisis del extracto metanólico de *R. communis*

Al extracto se le añadió 35 mL de metanol por cada 10 g de este para su disolución y fue trasvasado a un matraz bola. Posteriormente, a la mezcla se le adicionaron 285 mL de ácido sulfúrico 1.5 N y fue sometida a arrastre de vapor a 95 °C durante tres h. Tras finalizar el arrastre de vapor, se neutralizó la reacción con 350 mL de bicarbonato de sodio al 10 %, después se lavó cuatro veces con 100 mL de acetato

de etilo. Finalmente, se evaporó la mezcla hasta sequedad con un evaporador rotatorio IKA RV10.

V.2.4. Evaluación de la actividad insecticida e insectistática de los extractos metanólicos de hojas y tallos de *Ricinus communis*

Mediante un ensayo preliminar se acotaron las concentraciones que se utilizaron para evaluar la actividad insecticida de los extractos metanólicos. Este ensayo preliminar constó de concentraciones de 0.5, 5, 50, 500 y 5000 ppm colocando un trozo de dieta con un volumen aproximado de 1 cm³ conteniendo la concentración correspondiente de cada extracto de *R. communis* en vasos de polietileno del número 0 marca PRIMO (Ecatepec, Edo. Mex.). Estos vasos estuvieron contenidos en una cámara bioclimática con una temperatura de 27 ± 2 °C, humedad relativa de 70 ± 5 % y un fotoperiodo de luz-oscuridad de 14 y 10 h, respectivamente. Una vez obtenido el máximo y mínimo de respuesta biológica se establecieron cinco concentraciones dentro de este intervalo que fueron utilizadas tanto para el bioensayo en el extracto metanólico como en el extracto metanólico hidrolizado.

El bioensayo fue revisado cada tres días hasta que las larvas se encuentren en su sexto estadio larval, cuando fueron revisadas diariamente. Se evaluó el porcentaje de mortalidad larval y pupal, la duración larval y pupal en días, el peso de la pupa pasadas las 24 h de su formación en mg y la concentración letal media (CL₅₀) en ppm.

Al finalizar la experimentación, los insectos vivos fueron sacrificados mediante inmersión en alcohol etílico al 70 % durante un minuto (Márquez, 2005). Posteriormente los residuos biológicos (dieta e insectos muertos) fueron

deshidratados y después triturados para ser convertidos en composta, en el compostero del Laboratorio de Compuestos del Laboratorio de Compuestos Naturales Insecticidas.

V.2.5. Identificación de canferol en el extracto metanólico hidrolizado de *Ricinus communis*

La identificación y cuantificación del canferol en el extracto hidrolizado de *R. communis* se llevó a cabo mediante cromatografía líquida de alta resolución (HPLC, por sus siglas en inglés) utilizando un equipo de la marca Waters modelo Alliance (Milford, MA, USA) compuesto por una bomba cuaternaria modelo e2695 y un detector de arreglo de diodos (DAD) modelo 2998. La obtención de los datos y el procesamiento de estos se realizó utilizando el software Empower3. Además, se usó una columna C18 (5 µm, 150 x 4.5 mm) y como fase móvil se utilizó ácido acético 12.5 mM y acetonitrilo, con el gradiente mostrado en el Cuadro 9.

Cuadro 9. Gradiente de elución del análisis de canferol.

Tiempo (min)	Ácido acético [12.5 mM]	Acetonitrilo
0	95 %	5 %
2	95 %	5 %
5	85 %	15 %
20	50 %	50 %
25	95 %	5 %
35	95 %	5 %

El flujo usado para la fase móvil fue de 1.0 mL min^{-1} , la longitud de onda de detección fue ajustada a 363 nm, el volumen de inyección utilizado fue de $10 \text{ }\mu\text{L}$ y el tiempo de análisis de 35 minutos. Los análisis para la cuantificación se realizaron por triplicado.

V.2.6. Análisis estadístico

Con los datos obtenidos de los bioensayos con los extractos se realizó un análisis de varianza (ANOVA) de una vía. Después, se realizó prueba Tukey con un nivel de confianza de 95 % para identificar si había diferencia significativa entre los tratamientos. Finalmente, se determinaron las concentraciones letales medias (CL_{50}) por medio de un análisis probit en el software Minitab 17.

V.3. Diseño experimental

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar para ambos bioensayos realizando cuatro réplicas con una unidad experimental de cinco larvas incluyendo un control negativo, contando con una población de 240 individuos.

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

VI.1. Evaluación de la actividad insecticida del extracto metanólico de *Ricinus communis* contra *Spodoptera frugiperda*

Con base a los resultados que se obtuvieron (Véase Cuadro 10), se observó que el extracto metanólico de partes aéreas de *R. communis* presentó actividad insecticida a partir del tratamiento con concentración de 2000 ppm ya que exhibió una mortalidad larval significativamente diferente al control. Esta actividad incrementó a medida que creció la concentración del tratamiento, sin embargo, a 5000 ppm la mortalidad larval mostró diferencia significativa con respecto al tratamiento de 2000 ppm. Mientras que los tratamientos de 500 y 1000 ppm no presentaron actividad biológica al haber sido estadísticamente similares al control. Por otro lado, no se observó que el extracto metanólico haya presentado mortalidad sobre pupas, por haber sido estadísticamente similares todos los tratamientos sobre el control. En cuanto a la mortalidad acumulada, esta resultó ser diferente al control a partir de 1000 ppm.

Ramos y col. (2010) observaron que el extracto metanólico foliar de *R. communis* presentó actividad insecticida en *S. frugiperda* a partir de 1600 ppm con una mortalidad larval de 21 %, que incrementó hasta 100 % en el tratamiento de 24000 ppm, además de que la mortalidad que se reportó en pupas fue significativa a partir de 1600 ppm, con un 16.5 % y que creció a medida que aumentó la concentración del tratamiento llegando a una mortalidad pupal del 100 % a la concentración de 24000 ppm de extracto. Por otra parte, Almeida y col. (2017) evaluaron sobre *S. frugiperda* la actividad biológica de extractos etanólicos de hojas de *Euphorbia*

pulcherrima (Malpighiales: Euphorbiaceae) en etapa vegetativa y reproductiva, de manera separada y encontraron la mayor mortalidad en el tratamiento de hojas provenientes de planta en su etapa reproductiva a 10000 ppm, con un valor de 26 %. Asimismo, Santos y col. (2012) trabajaron con extractos metanólicos de hojas frescas y secas, por separado, provenientes de siete accesiones de *J. curcas* (Malpighiales: Euphorbiaceae) y evaluaron su actividad biológica sobre individuos de *S. frugiperda*. Observaron que una accesión en particular presentó una mortalidad demasiado alta comparada con el resto de accesiones y el control, la cual presentó 60 % y 56.67 % para los tratamientos que contenían 1000 ppm de extractos hechos con hojas frescas y secadas al aire, respectivamente.

En el presente trabajo, se observó una mayor mortalidad a menores concentraciones que los de tratamientos estudiados por Ramos y col. (2010), a pesar de tratarse de extractos de la misma planta y usar el mismo solvente. De igual manera para los resultados obtenidos por Almeida y col. (2017), donde se observó una mortalidad baja a concentraciones más altas, comparada con las que se estudiaron en este trabajo, sin embargo, utilizaron diferente planta y solvente para elaborar sus extractos. Por el lado contrario, Santos y col. (2012) mostraron una actividad biológica demasiado alta a una concentración menor, llegando a duplicar la mortalidad larval en el tratamiento de 1000 ppm con el extracto de hojas frescas, con respecto a lo que se obtuvo en este bioensayo.

De acuerdo con pruebas fitoquímicas realizadas por Linima y col. (2023), se observó la presencia de metabolitos secundarios en extractos metanólicos de hojas de *R.*

communis tales como alcaloides, proteínas y flavonoides. Además, Adelanwa y Musa (2021), detectaron la presencia de taninos, saponinas, alcaloides, esteroides, carbohidratos y triterpenos en el extracto metanólico foliar de *R. communis*. Sin embargo, Suurbaar y col. (2017) detectaron en extractos metanólicos de hojas de *R. communis* la presencia de taninos, saponinas, poliurónidos, azúcares reductores, terpenoides, alcaloides, antraquinonas y flavonoides. Comúnmente, la actividad insecticida de la gran mayoría de plaguicidas es debido a que provocan inhibición de la enzima acetilcolinesterasa, la cual regula la transmisión de impulsos nerviosos al degradar la acetilcolina, interrumpiendo así la transmisión de estos impulsos resultando en convulsiones musculares, parálisis o incluso intoxicación debido a exceso de acetilcolina (Céspedes y col. 2015; Mladenović y col. 2018). Se ha demostrado que compuestos naturales como alcaloides, terpenoides, cumarinas, fenilpropanoides, compuestos fenólicos y flavonoides, por mencionar algunos, presentan actividad inhibitoria sobre la enzima acetilcolinesterasa (Rojas y col. 2021; Rants'o y col. 2023; Smyrska & Mroczek, 2023). Por lo que es posible que los metabolitos secundarios presentes en el extracto metanólico de partes aéreas de *R. communis* sean la principal causa de la actividad insecticida que exhibió sobre larvas de *S. frugiperda*.

Lopes y col. (2020) especifican que la extracción de productos naturales depende estrechamente de la polaridad de los solventes utilizados, por lo que al utilizar un solvente distinto es posible que no se encuentren el mismo tipo de compuestos ni tampoco en la misma cantidad. Conforme a lo descrito por Yang y col. (2018) y Twaij & Hasan (2022), la acumulación de metabolitos secundarios en plantas varía

fuertemente dependiendo de factores genéticos y ambientales tales como la irradiación de la luz, temperatura, humedad y propiedades químicas del suelo, por mencionar algunas, aun tratándose de la misma especie vegetal. Por lo que en general, es probable que las variaciones en la mortalidad de estos extractos con respecto a otros trabajos descritos previamente sean debidas a una diferente acumulación de productos naturales debido a factores genéticos y ambientales.

Cuadro 10. Actividad insecticida del extracto metanólico de *Ricinus communis* contra *Spodoptera frugiperda*.

Tratamiento (ppm)	Mortalidad larval (%)	Mortalidad pupal (%)	Mortalidad acumulada (%)
5000	85 ± 8.19 ^A	5 ± 5.00 ^A	90 ± 6.88 ^A
4000	70 ± 10.5 ^{AB}	15 ± 8.19 ^A	85 ± 8.19 ^A
2000	45 ± 11.4 ^B	20 ± 9.18 ^A	65 ± 10.9 ^A
1000	30 ± 10.5 ^C	25 ± 9.93 ^A	55 ± 11.4 ^A
500	15 ± 8.19 ^C	0 ^A	15 ± 8.19 ^B
0	15 ± 8.19 ^C	0 ^A	15 ± 8.19 ^B
CL ₅₀	2535 ppm (1926.6-3262.9 ppm)		1697.6 ppm (1112.8-2267.74 ppm)

Los datos son el promedio de 20 mediciones ± error estándar. Medias con diferente literal implican diferencia significativa de acuerdo con la prueba de Tukey con p= 0.05.

VI.2. Evaluación de la actividad insectistática del extracto metanólico de *Ricinus communis* contra *Spodoptera frugiperda*

El extracto metanólico de partes aéreas de *R. communis* mostró tener actividad insectistática debido a que prolongó la duración larval a partir de 2000 ppm. Mientras

que, la duración pupal y el peso de las pupas a las 24 h de su formación no se vieron afectadas por los tratamientos (Véase Cuadro 11).

En el trabajo descrito previamente de Ramos y col. (2010) también evaluaron la duración larval y pupal, así como el peso de la pupa. Observaron un incremento significativo de dos días en la duración larval a partir de 560 ppm, mismo que aumentó con la concentración del tratamiento llegando a haber tenido un periodo larval de hasta 33 d en individuos tratados con 16 000 ppm de extracto, lo cual fue 12 días mayor con respecto al control. Mientras que, la duración pupal mostró un prolongamiento significativo a partir de 8000 ppm, lo cual alargó la etapa de pupa por un día. En cuanto a el peso de la pupa, empezó a notar una disminución considerable desde 1600 ppm en adelante, que logró disminuir hasta 35 mg en el tratamiento de 16000 ppm con respecto al control.

De igual manera, Almeida y col. (2017) observaron en su trabajo una prolongación larval, la cual presentó su mayor duración en el tratamiento que contenía 5000 ppm de extracto foliar de planta en etapa reproductiva y alargó esta etapa hasta 5.8 d. En adición a esto, el peso de las pupas macho que reportaron para aquellas larvas tratadas 5000 ppm y 10000 ppm de extractos hechos con plantas en etapa reproductiva fueron de 182 mg y 168 mg, respectivamente, y de 205 mg para ambos tratamientos (5000 ppm y 10000 ppm) de extractos que se elaboraron con plantas en etapa vegetativa, los cuales fueron menores con respecto a los pesos del control (227 mg). Mientras que, el peso de las pupas hembras también presentó una diferencia significativa con respecto al control (223 mg), las cuales presentaron pesos

de 201 mg y 190 mg en los tratamientos de 5000 y 10000 ppm de hojas de plantas en etapa vegetativa, respectivamente, mientras que los extractos que fueron elaborados con plantas en etapa reproductiva presentaron los mismos pesos que las pupas macho que se trataron con extractos de plantas en etapa vegetativa.

Tridiptasari y col. (2019) evaluaron el efecto de los extractos foliares y de semilla de *Moringa oleífera* (Brassicales: Moringaceae) en el crecimiento y alimentación de *S. litura* y observaron que, conforme al aumento de concentración de sus tratamientos, este provocó una disminución en el peso y tamaño de las larvas, a su vez que también una detención en su alimentación y prolongación de su duración larval. Efectos que fueron ocasionados por la composición fitoquímica de los extractos, en los cuales se encontraron principalmente flavonoides, además de alcaloides y saponinas.

En el presente estudio, se observó que al igual que en los trabajos descritos anteriormente, la duración larval se vio afectada de manera significativa. Sin embargo, aunque la duración pupal y el peso de esta presentó variaciones, esta no mostró diferencias ni un comportamiento similar a los trabajos descritos anteriormente, donde si se observó una tendencia a aumentar la duración de la etapa de pupa y disminuir su peso. Según Divekar y col. (2022), los insectos no muestran preferencia por alimento que contenga alcaloides, además de generar un efecto antialimentario, inhibición del crecimiento y afectar los neurotransmisores. Además, señalan que ciertos insectos pueden llegar a ser tolerantes a terpenoides, promoviendo su fagoestimulación. Aboshi y col. (2018) por su parte, reportaron que

los flavonoides en forma de glucósido presentes en extractos metanólicos de hojas de *Basella alba* (Caryophyllales: Basellaceae) provocaron una inhibición en la alimentación de larvas de *S. litura*, la cual se empezó a notar de manera evidente al cuarto día debido a la nula aparición de heces de las larvas y se hizo aún más notable al causar una mortalidad del 50 % a la primera semana y del 93 % a la segunda semana debido a la reducción de la alimentación.

Los insectos cuentan con un sistema gustativo sensorial, el cual les permite identificar su alimento y clasificarlo como atrayente o disuasorio. Además, las combinaciones de estos dos tipos de gusto son relevantes para la elección de su alimento (Kasubuchi y col., 2018). Estas funciones son llevadas a cabo por receptores gustativos que se encuentran contenidos en sensillas gustativas las cuales se distribuyen en antena, tarsos, alas, oviposidores y aparatos bucales del insecto. Estos receptores posibilitan la detección de disuasores de alimentación, incluyendo metabolitos secundarios, lo que permite a lepidópteros llevar a cabo varios procesos preingestivos para inhibir su alimentación al reducir la cadencia y tamaño de la ingesta de alimento (Agnihotri y col., 2016; Xu, 2020). De acuerdo con lo anterior, seguramente el peso de pupa y la duración pupal presentó similitud en todos los tratamientos porque se consumió una cantidad de dieta similar, sin embargo, es probable que al inhibir su alimentación reduciendo la cadencia y cantidad de ingesta al aumentar la concentración del tratamiento, la duración de la etapa larval se vio prolongada.

Cuadro 11. Actividad insectistática del extracto metanólico de *Ricinus communis* contra *Spodoptera frugiperda*.

Tratamiento (ppm)	Duración larval (d)	Duración pupal (d)	Peso de pupa a las 24 h (mg)
5000	32.67 ± 1.86 ^A	12.5 ± 0.5 ^A	211.7 ± 13.9 ^A
4000	29.83 ± 1.83 ^A	12.667 ± 0.333 ^A	199.33 ± 6.72 ^A
2000	29.636 ± 0.754 ^A	11.429 ± 0.202 ^A	214.64 ± 6.37 ^A
1000	25.93 ± 1.10 ^{AB}	11.556 ± 0.444 ^A	223.86 ± 6.29 ^A
500	22.824 ± 0.880 ^B	11.647 ± 0.209 ^A	217.47 ± 7.08 ^A
0	22.529 ± 0.974 ^B	11.529 ± 0.311 ^A	232.94 ± 8.45 ^A

Los datos son el promedio de 20 mediciones ± error estándar. Medias con diferente literal implican diferencia significativa de acuerdo con la prueba de Tukey con $p=0.05$.

VI.3. Evaluación de la actividad insecticida del extracto metanólico hidrolizado de *Ricinus communis* contra *Spodoptera frugiperda*

El extracto metanólico hidrolizado de *R. communis* presentó actividad insecticida a partir del tratamiento de 1000 ppm, el cual exhibió un porcentaje de mortalidad larval estadísticamente diferente al control, además esta llegó a un 100 % de mortalidad en el tratamiento de 5000 ppm. No se observó que el extracto hidrolizado tuviera un efecto mortal en la fase pupal, por consiguiente, la mortalidad acumulada es igual a la mortalidad larval (Véase Cuadro 12).

Delvas y col. (2011) estudiaron la resistencia que brindan los compuestos fenólicos presentes en *Picea glauca* (Pinales: Pinaceae) ante la defoliación provocada por *Choristoneura fumiferana* (Lepidoptera: Tortricidae) en comparación a aquellos individuos de la misma especie que fueron susceptibles. Observaron que en los

extractos acetónicos acuosos (70 %) foliares de ambos variaba la presencia de dos compuestos fenólicos en particular, estando presente en extractos de individuos susceptibles la piceína y la pungenina, mientras que en los extractos de especies resistentes se encontraban sus formas agliconas, piceol y pungenol. Al realizar pruebas con estas dos agliconas, encontraron que al suministrar estas a dietas artificiales, presentaron actividad insecticida contra *C. fumiferana*, siendo la combinación de 5400 ppm de pungenol y 6740 ppm de piceol la que causó mayor mortalidad larval que resultó de 66 %.

Según Dowd y col. (2011), los metabolitos secundarios de plantas son más activos contra insectos cuando estos se suministran en forma aglicona en comparación a su forma de glucósido. Entre estos compuestos se incluyen glucósidos cardiacos, cyanogénicos, glucosinolatos, monoterpénicos, fenólicos, de lactonas sesquiterpénicas, triterpénicos y de flavonoides. Mientras que, las saponinas exhiben un comportamiento opuesto. De acuerdo con Pentzold y col. (2014), estos metabolitos secundarios se encuentran en las plantas, por lo general en forma de glucósidos. Sin embargo, estos compuestos pueden llegar a ser convertidos en su forma aglicona de forma natural, gracias a enzimas beta-glucosidasas que se encuentran separadas espacialmente en el tejido de la planta, pero que al ser depredadas por insectos entran en contacto produciendo metabolitos secundarios en su forma aglicona, resultando mayormente tóxicos. Debido a lo anterior, tal vez la mayor actividad insecticida del extracto metanólico hidrolizado de partes aéreas de *R. communis* se debió a que contenía los metabolitos secundarios, incluyendo el canferol, en su forma aglicona.

Cuadro 12. Actividad insecticida del extracto metanólico hidrolizado de *Ricinus communis* contra *Spodoptera frugiperda*.

Tratamiento (ppm)	Mortalidad larval (%)	Mortalidad pupal (%)	Mortalidad acumulada (%)
5000	100 ^A	0	100 ^A
4000	90 ± 6.88 ^{AB}	0	90 ± 6.88 ^{AB}
2000	75 ± 9.93 ^{ABC}	0	75 ± 9.93 ^{ABC}
1000	60 ± 11.2 ^{BC}	0	60 ± 11.2 ^{BC}
500	40 ± 11.2 ^{CD}	0	40 ± 11.2 ^{CD}
0	15 ± 8.19 ^D	0	15 ± 8.19 ^D
CL ₅₀	1057.86 ppm (516.8-1531.6 ppm)		1057.86 ppm (516.8-1531.6 ppm)

Los datos son el promedio de 20 mediciones ± error estándar. Medias con diferente literal implican diferencia significativa de acuerdo con la prueba de Tukey con $p=0.05$.

VI.4. Evaluación de la actividad insectistática del extracto metanólico hidrolizado contra *Spodoptera frugiperda*

Se observó que el extracto metanólico hidrolizado de *R. communis* tuvo actividad insectistática (Véase Cuadro 13) al prolongar la duración larval a partir del tratamiento de 4000 ppm. En el caso contrario, en el tratamiento de 500 ppm la duración de la fase larval se redujo considerablemente. Mientras que la duración pupal se vio reducida a partir de las 500 ppm, mostrando únicamente similitud el tratamiento de 4000 ppm con respecto al control. El peso de pupa también presentó una reducción en cada tratamiento a medida que aumentaba su concentración, presentando diferencias significativas a partir de 1000 ppm.

Cuadro 13. Actividad insectistática del extracto metanólico hidrolizado de *Ricinus communis* contra *Spodoptera frugiperda*.

Tratamiento (ppm)	Duración larval (d)	Duración pupal (d)	Peso de pupa a las 24 h (mg)
5000			
4000	29 ^A	10.5 ± 0.5 ^A	178.50 ± 5.50 ^B
2000	22.8 ± 0.970 ^{AB}	9.8 ± 0.583 ^B	185.6 ± 10.3 ^B
1000	19.5 ± 0.598 ^{BC}	10.125 ± 0.295 ^B	197.63 ± 8.00 ^B
500	18 ± 0.461 ^C	9.917 ± 0.229 ^B	206.67 ± 4.16 ^{AB}
0	22.529 ± 0.974 ^B	11.529 ± 0.311 ^A	232.94 ± 8.45 ^A

Los datos son el promedio de 20 mediciones ± error estándar. Medias con diferente literal implican diferencia significativa de acuerdo con la prueba de Tukey con $p=0.05$.

En el trabajo descrito previamente de Delvas y col. (2011) también evaluaron el tiempo de desarrollo de larvas de *C. fumiferana* y el peso de las pupas al ser tratadas con pungenol y piceol. Observaron que al administrar en dieta artificial una concentración de 6740 ppm de piceol y una mezcla de 5400 ppm de pungenol con 6740 ppm de piceol provocaron una reducción significativa del peso de pupa, la cual disminuyó hasta en un 27 % con respecto al control al usar la mezcla de estos dos compuestos fenólicos en forma aglicona. Mientras que la duración larval se prolongó hasta 6 días más que el control. Por estas razones, sugieren que estos dos compuestos en forma aglicona son los encargados de provocar actividad insectistática en especies resistentes de *P. glauca*.

Onyilagha y col. (2004) han reportado que la actividad biológica de flavonoides depende directamente de los sustituyentes que contenga la molécula. Específicamente cuando el compuesto tiene presentes sustituyentes O-glucósidos o grupos hidroxilos, la bioactividad se ve reducida. De modo que, a medida que las

flavonas o flavanonas tengan menor número de sustituyentes, estas presentarán mayor actividad antialimentaria. Por lo que, es posible que esta prolongación de la duración larval, de la duración pupal y la disminución del peso de las pupas a medida que se alzó la concentración del extracto metanólico hidrolizado de *R. communis* se debió a la presencia de metabolitos secundarios en su forma aglicona, incluyendo el canferol.

Sin embargo, algunos productos naturales también pueden tener actividad fagoestimulante. De acuerdo con Al-Khayri y col. (2023), compuestos fenólicos tales como los taninos pueden ocasionar fagoestimulación a algunos insectos debido a tolerancia a estos compuestos, como en el caso del áfido *Schlechtendalia chinensis* (Hemiptera: Aphididae) al infestar árboles de *Rush chinensis* (Sapindales: Anacardiaceae). Castillo y Rossini (2010) también indican que compuestos monoterpénicos como los iridoides presentan actividad fagoestimulante, lo cual ocurre de manera natural en larvas de *Ceratomia catalpae* (Lepidoptera: Sphingidae) al alimentarse de plantas con presencia de estos compuestos. Conforme a lo que describe Sun y col. (2021), algunos insectos pueden adaptarse e incluso exhibir tolerancia a algunos metabolitos secundarios, como *Helicoverpa assulta* (Lepidoptera: Noctuidae) que le resultó apetitivo el alimento que contiene alcaloides como la nicotina o capsaicina. De acuerdo con lo descrito anteriormente, es probable que los compuestos naturales presentes en el extracto metanólico hidrolizado de *R. communis* resulten tolerables e incluso fagoestimulantes a bajas concentraciones para *S. frugiperda*, por que provocó una pupación más temprana, una duración pupal más corta y un peso pupal similar con respecto al control. Mientras que, a mayor

concentración, es posible que las larvas fueron menos tolerantes e incluso haya sido disuasorio al haberse alimentado menos debido que alargó su duración larval y disminuyó el peso pupal.

VI.5. Identificación y cuantificación de canferol en los extractos metanólico y metanólico hidrolizado de *R. communis*

El tiempo de retención que se obtuvo al analizar el estándar de canferol fue de 20.3 minutos, mientras que su máximo de absorción ocurrió a 363 nm (Véase Figura 5).

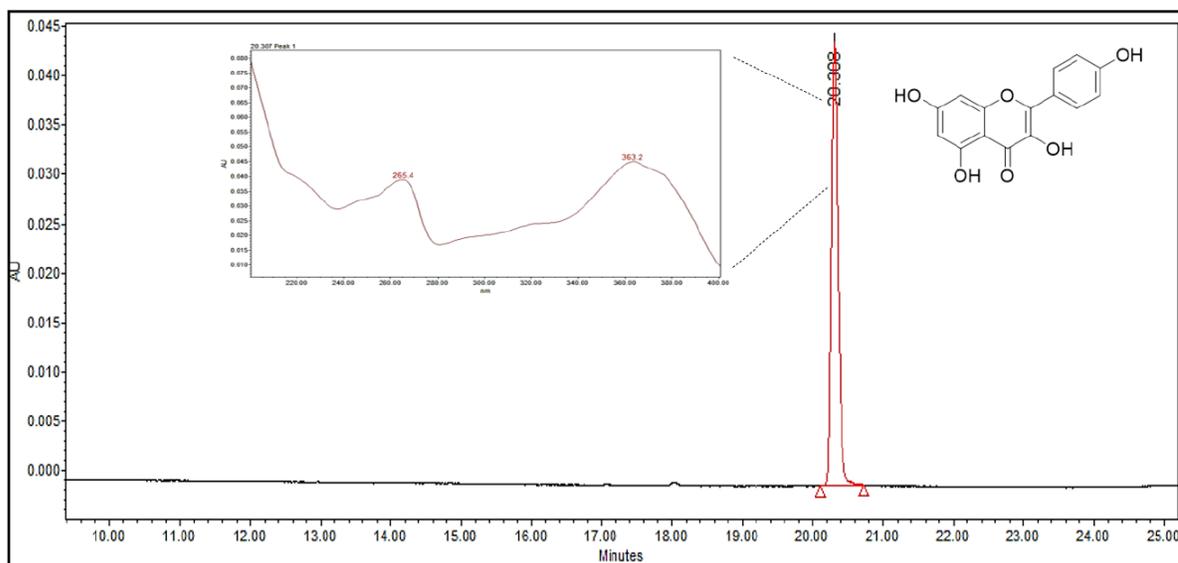


Figura 5. Cromatograma de HPLC del estándar de Canferol

En cuanto para su cuantificación en los extractos, se realizó una curva de calibración haciendo uso de las concentraciones de 0, 3, 6, 9 y 12 $\mu\text{g mL}^{-1}$ con su respectiva área bajo la curva (Véase Cuadro 14).

Cuadro 14. Concentraciones y áreas bajo la curva obtenidas en la curva de calibración de canferol.

$\mu\text{g mL}^{-1}$ de canferol	Área bajo la curva
0	0
3	79789
6	163023
9	227922
12	301961

En la curva de calibración obtenida se observó una R^2 de 0.998 (Véase Figura 6). Los límites de detección y de cuantificación resultaron de 3.8 y 6.4 $\mu\text{g mL}^{-1}$, respectivamente.

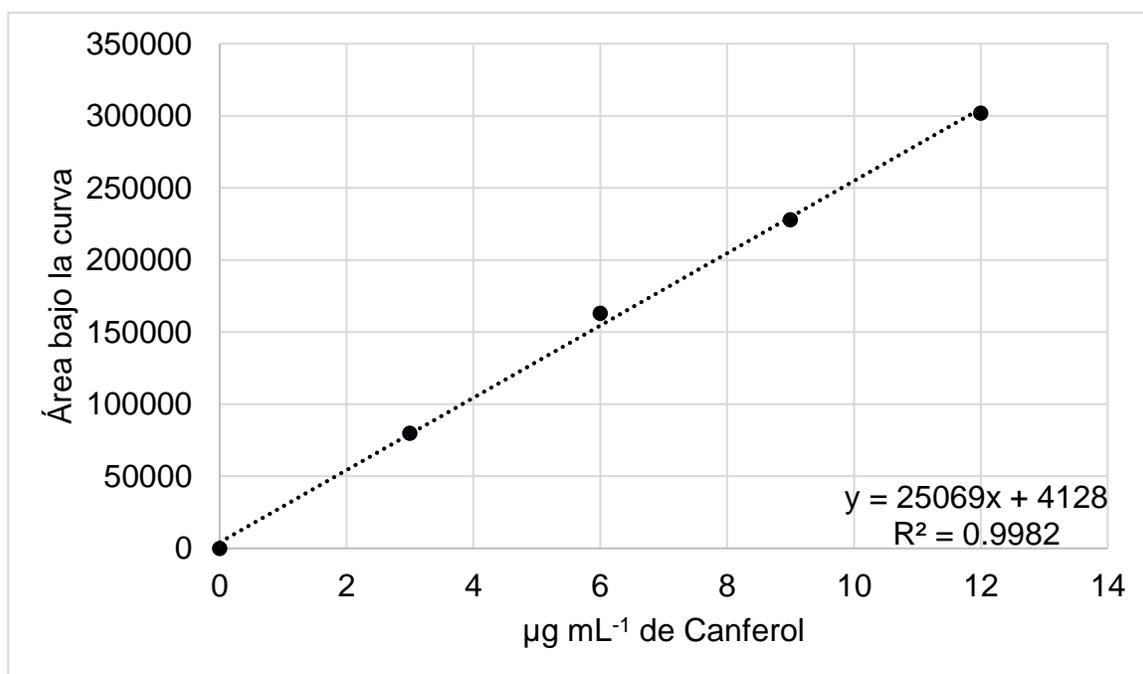


Figura 6. Curva de calibración para la cuantificación de canferol

Al analizar el extracto metanólico de *R. communis* se alcanzó a percibir la presencia de canferol, aunque con el presente método cromatográfico se logró detectar, no se pudo cuantificar (Véase Figura 7).

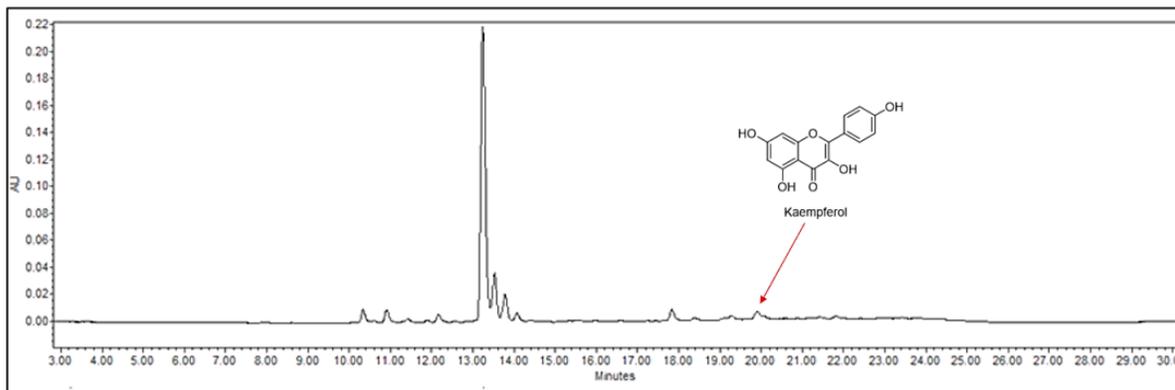


Figura 7. Cromatograma de HPLC del extracto metanólico de *R. communis*

Posterior a la hidrólisis ácida del extracto metanólico, este se analizó de manera que se encontró la presencia de canferol (Véase Figura 8), con el cual utilizando su área bajo la curva se cuantificó obteniendo una concentración de $1.65 \pm 0.22 \mu\text{g mg}^{-1}$ de extracto.

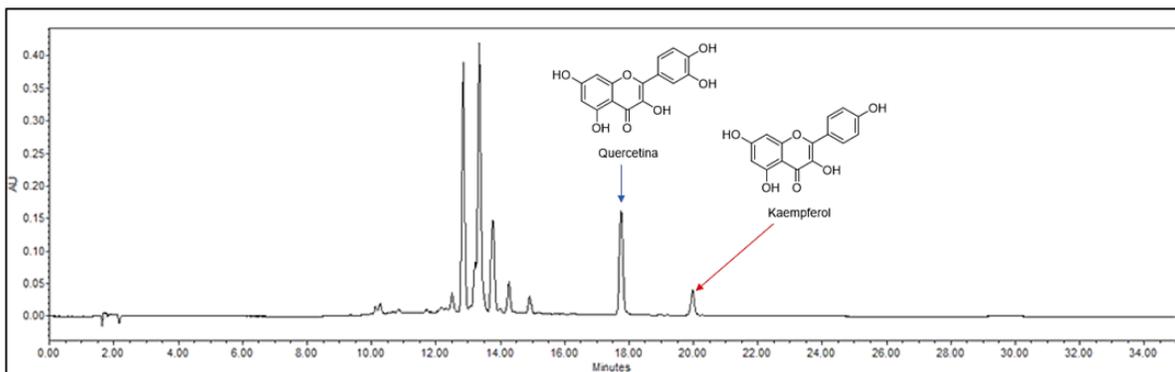


Figura 8. Cromatograma de HPLC del extracto metanólico hidrolizado de *R. communis*

Kostikova y Veklich (2020) analizaron mediante HPLC los compuestos fenólicos presentes en extractos etanólicos acuosos (40 %) tanto de hojas como de inflorescencias de *Sorbaria pallasii* (Rosales: Rosaceae) e hidrolizados de estos, notaron que en los extractos foliares de *S. pallasii* no se detectó la presencia del canferol, sin embargo, al ser hidrolizado (HCl 2 N durante 2 h) se observó que este compuesto se encontraba en una concentración de 1.90 mg g⁻¹. De igual manera sucedió con la quercetina, donde solo se detectó su presencia en el extracto hidrolizado encontrándose en una proporción mayor al canferol (4.28:1). La cantidad cuantificada y el comportamiento de estos dos flavonoides previo y posterior a la hidrólisis fue similar a lo que se observó en el presente trabajo.

De Santiago y col. (2021) identificaron y cuantificaron compuestos fenólicos separados mediante extracción sucesiva (con metanol al 50 %, acetona al 70 % y agua destilada) de cladodios de *Opuntia ficus-indica* (Caryophyllales: Cactaceae) a través de HPLC después de haber sometido estos extractos a diferentes condiciones de hidrólisis ácida y observaron la presencia de canferol en cromatogramas de los extractos hidrolizados, en comparación con el cromatograma de su contraparte sin hidrolizar donde no se obtuvo señal correspondiente a este flavonoide. Por otra parte, determinaron que las mejores condiciones de hidrólisis fueron al realizarla con HCl 1.5 M durante 2 h a 90 °C donde se obtuvo una concentración de 0.36 mg g⁻¹ de canferol, ya que al llevarse a cabo en condiciones menos ácidas (HCl 0.6 M) los glúcidos no logran desprenderse en su totalidad de los compuestos glucosídicos, mientras que, al ser sometidos a condiciones más ácidas (HCl 1.7 M) y por más tiempo (3 h) solo se promueve la degradación de las agliconas que resultan de la

hidrólisis. Además, al igual que en el presente estudio la concentración de quercetina se mantuvo en una mayor relación con respecto al canferol en todas las condiciones de hidrólisis. Por lo que, es posible que se pueda mejorar la acumulación metabolitos secundarios en su forma aglicona al reducir considerablemente la acidez del medio y el tiempo de hidrólisis con respecto a las que se detallan en el presente trabajo. Además, es probable que la quercetina y otros compuestos secundarios que pasaron a su aglicona también estén involucrados en la actividad biológica de este extracto hidrolizado.

VII. CONCLUSIONES

El extracto metanólico de partes aéreas de *R. communis* presentó actividad insecticida e insectistática sobre *S. frugiperda*. Este extracto llegó a exhibir una mortalidad acumulada de 90 % a 5000 ppm. Además, logró prolongar su duración larval hasta 10 d.

Por otro lado, el extracto metanólico hidrolizado de partes aéreas de *R. communis* también logró presentar actividad insecticida e insectistática. La mortalidad larval de este extracto hidrolizado incluso resultó mayor que las respuestas obtenidas en el extracto sin hidrolizar, debido a que llegó a manifestar una mortalidad acumulada de hasta 100 % en el tratamiento de 5000 ppm y presentar una CL_{50} menor (1057.86 ppm) en larvas de *S. frugiperda*. Sin embargo, a bajas concentraciones el extracto metanólico hidrolizado presentó actividad fagoestimulante, mientras que a tratamientos mayormente concentrados llegó a retardar el desarrollo larval prolongando esta etapa larval hasta 7 días como en el caso del tratamiento a 4000 ppm y ocasionar una disminución del peso de pupa por encima de 30 mg a partir de 1000 ppm. Por lo que el uso de extractos metanólicos hidrolizados de *R. communis* podría representar una alternativa para el manejo de *S. frugiperda*.

Se identificó la presencia de canferol en el extracto metanólico de partes aéreas de *R. communis*, sin embargo, este no fue cuantificable mediante el método cromatográfico utilizado. Mientras que en el extracto metanólico hidrolizado se cuantificó con una concentración de $1.65 \mu\text{g mg}^{-1}$, aunque es posible mejorar esta acumulación al modificar las condiciones de hidrólisis ácida.

VIII. REFERENCIAS

- Aboshi, T., Ishiguri, S., Shiono, Y., & Murayama, T. (2018). Flavonoid glycosides in Malabar spinach *Basella alba* inhibit the growth of *Spodoptera litura* larvae. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, 82(1), 9–14.
- Acharya, R., Hwang, H.-S., Mostafiz, M. M., Yu, Y.-S., & Lee, K.-Y. (2020). Susceptibility of Various Developmental Stages of the Fall Armyworm, *Spodoptera frugiperda*, to Entomopathogenic Nematodes. *Insects*, 11(12), 868.
- Adelanwa, E. B., & Musa, A. E. (2021). Phytochemical screening and antimicrobial activities of methanolic leaf extract of *Ricinus communis* L. on some pathogenic microorganisms. *Nigerian Journal of Botany*, 34(1), 125–133.
- Agnihotri, A. R., Roy, A. A., & Joshi, R. S. (2016). Gustatory receptors in Lepidoptera: chemosensation and beyond. *Insect Molecular Biology*, 25(5), 519–529.
- Ahmad, S., Saleem, Z., Jabeen, F., Hussain, B., Sultana, T., Sultana, S., Al-Ghanim, K. A., Al-Mulhim, N. M. A., & Mahboob, S. (2018). Potential of natural repellents methylanthranilate and anthraquinone applied on maize seeds and seedlings against house sparrow (*Passer domesticus*) in captivity. *Brazilian Journal of Biology*, 78(4), 667–672.
- Alam, W., Khan, H., Shah, M. A., Cauli, O., & Saso, L. (2020). Kaempferol as a dietary anti-inflammatory agent: current therapeutic standing. *Molecules*, 25(18), 4073.
- Al-Khayri, J. M., Rashmi, R., Toppo, V., Chole, P. B., Banadka, A., Sudheer, W. N., Nagella, P., Shehata, W. F., Al-Mssallem, M. Q., Alessa, F. M., Almaghasla, M. I., & Rezk, A. A. S. (2023). Plant secondary metabolites: the weapons for biotic stress management. *Metabolites*, 13 (6), 716.
- Almeida, V. T., Ramos, V. M., Saqueti, M. B., Gorni, P. H., Pacheco, A. C., & de Leão, R. M. (2017). Bioactivity of ethanolic extracts of *Euphorbia pulcherrima* on *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). *African Journal of Biotechnology*, 16(13), 615–622.
- Aouinty, B., Oufara, S., Mellouki, F., & Maharia, S. (2006). Évaluation préliminaire de l'activité larvicide des extraits aqueux des feuilles du ricin (*Ricinus communis* L.) et

du bois de thuya (*Tetraclinis articulata* (Vahl) Mast.) sur les larves de quatre moustiques culicidés: *Culex pipiens* (Linné), *Aedes caspius* (Pallas), *Culiseta longiareolata* (Aitken) et *Anopheles maculipennis* (Meigen). *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, 10(2), 67–71.

Ateyyat, M., Abu, S., Abu, M., & Ghabeish, I. (2012). Impact of Flavonoids against Woolly Apple Aphid, *Eriosoma lanigerum* (Hausmann) and Its Sole Parasitoid, *Aphelinus mali* (Hald.). *Journal of Agricultural Science*, 4(2), 227–236.

Awata, L. A. O., Tongoona, P., Danquah, E., Ifie, B. E., Suresh, L. M., Jumbo, M. B., Marchelo-D'ragga, P. W., & Sitonik, C. (2019). Understanding tropical maize (*Zea mays* L.): The major monocot in modernization and sustainability of agriculture in sub-Saharan Africa. *International Journal of Advance Agricultural Research*, 7, 32–77.

Barioglio, C. F. (2006). *Diccionario de las ciencias agropecuarias*. Editorial Brujas.

Bigi, M. F., Torkomian, V. L. V, de Groote, S. T. C. S., Hebling, M. J. A., Bueno, O. C., Pagnocca, F. C., Fernandes, J. B., Vieira, P. C., & da Silva, M. F. G. (2004). Activity of *Ricinus communis* (Euphorbiaceae) and ricinine against the leaf-cutting ant *Atta sexdens rubropilosa* (Hymenoptera: Formicidae) and the symbiotic fungus *Leucoagaricus gongylophorus*. *Pest Management Science*, 60(9), 933–938.

Blanco, C. A., Pellegaud, J. G., Nava, U., Lugo, D., Vega, P., Coello, J., Terán, A. P., & Vargas, J. (2014). Maize Pests in Mexico and Challenges for the Adoption of Integrated Pest Management Programs. *Journal of Integrated Pest Management*, 5(4), 1–9.

Capinera, J. L. (2008). Fall Armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). En J. L. Capinera (Ed.), *Encyclopedia of entomology* (p. 1410). Springer.

Casmuz, A., Juárez, L. M., Socías, G. M., Murúa, G. M., Prieto, S., Medina, S., Willink, E., & Gastaminza, G. (2010). Revisión de los hospederos del gusano cogollero del maíz, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). *Revista de la Sociedad Entomológica Argentina*, 69(3–4), 209–231.

- Castillo, L., & Rossini, C. (2010). Bignoniaceae metabolites as Semiochemicals. *Molecules*, 15 (10), 7090–7105.
- Céspedes, C. L., Alarcon, J. E., Aqueveque, P., Seigler, D. S., & Kubo, I. (2015). In the search for new secondary metabolites with biopesticidal properties. *Israel Journal of Plant Sciences*, 62(4), 216–228.
- Chaires, M. P., Serrano, A. K., & Coronado, J. M. (2021). Ácaros asociados al maíz en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 12(8), 1497–1510.
- Chávez, J. L., & Sevilla, R. (2006). *Fundamentos genéticos y socioeconómicos para analizar la agrobiodiversidad en la región de Ucayali*. Bioersity International.
- Chhetri, L. B., & Acharya, B. (2019). Fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*): A threat to food security for south Asian country: Control and management options: A review. *Farming and Management*, 4(1), 38–44.
- Chiej, R. (1990). *Guía de plantas medicinales*. Ediciones Grijalbo.
- CIMMYT. (2004). *Enfermedades del maíz: una guía para su identificación en el campo* (Cuarta). CIMMYT.
- Crisanto, K. I., & Ayquipa, G. E. (2013). Efecto del extracto etanólico de semillas de *Ricinus communis* L. sobre adultos de *Bemisia tabaci* genn., en condiciones de laboratorio. *Sagasteguiana*, 1(1), 11–18.
- de Santiago, E., Juárez, I., Cid, C., & de Peña, M. P. (2021). Extraction of (poly)phenolic compounds of cactus (*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.) cladodes. *Food Analytical Methods*, 14(6), 1167–1175.
- del Rincón, M. C., Méndez, J., & Ibarra, J. E. (2006). Caracterización de cepas nativas de *Bacillus thuringiensis* con actividad insecticida hacia el gusano cogollero del maíz *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). *Folia Entomológica Mexicana*, 45(2), 157–164.
- Delvas, N., Bauce, É., Labbé, C., Ollevier, T., & Bélanger, R. (2011). Phenolic compounds that confer resistance to spruce budworm. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 141(1), 35–44.

DGSV. (2022, noviembre 29). *Gusano cogollero Spodoptera frugiperda (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae)*. Dirección General de Sanidad Vegetal. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/635234/Gusano_cogollero_en_maiz_y_arroz.pdf

Divekar, P. A., Narayana, S., Divekar, B. A., Kumar, R., Gadratagi, B. G., Ray, A., Singh, A. K., Rani, V., Singh, V., Singh, A. K., Kumar, A., Singh, R. P., Meena, R. S., & Behera, T. K. (2022). Plant secondary metabolites as defense tools against herbivores for sustainable crop protection. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(5), 2690.

Dowd, P. F., Berhow, M. A., & Johnson, E. T. (2011). Differential activity of multiple saponins against omnivorous insects with varying feeding preferences. *Journal of Chemical Ecology*, 37(5), 443–449.

Dragomir, V., Brumă, I. S., Butu, A., Petcu, V., Tanasă, L., & Horhocea, D. (2022). An overview of global maize market compared to romanian production. *Romanian Agricultural Research*, 39, 535–544.

Endicott, S., Brueland, B., Keith, R., Schon, R., Bremer, C., Farnham, D., DeBruin, J., Clausen, C., Strachan, S., & Carter, P. (2015). *Maíz: Crecimiento y desarrollo*. Pioneer.

Erenstein, O., Chamberlin, J., & Sonder, K. (2021). Estimating the global number and distribution of maize and wheat farms. *Global Food Security*, 30, 100558.

Esther, A., Tilcher, R., & Jacob, J. (2013). Assessing the effects of three potential chemical repellents to prevent bird damage to corn seeds and seedlings. *Pest Management Science*, 69(3), 425–430.

FAOSTAT. (2022-a). *Production of maize (corn): top 10 producers*. Recuperado el 15 de agosto de 2022, de <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL/visualize>

FAOSTAT. (2022-b). *Top 10 country importers, import quantity of maize (corn)*. Recuperado el 15 de agosto de 2022, de https://www.fao.org/faostat/en/#rankings/countries_by_commodity_imports

- Fassio, A., Carriquiry, A. I., Tojo, C., & Romero, R. (1998). *Maíz: aspectos sobre fenología*. INIA.
- Findlay, M. A., Fraga, D. G., Guerrero, S. J., Ortiz, D. P., & Realpe, S. C. (2021). Maíz, el grano de oro. *Boletín Informativo CEI*, 8(3), 144–147.
- Flint, S. A. (2017). Kernel evolution: From teosinte to maize. En B. A. Larkins (Ed.), *Maize kernel development* (pp. 1–3). CABI.
- Formento, Á. N. (2010). Enfermedades foliares reemergentes del cultivo de maíz: royas (*Puccinia sorghi* y *Puccinia polysora*), tizón foliar (*Exserohilum turcicum*) y mancha ocular (*Kabatiella zea*). En Estación Experimental Agropecuaria Paraná del INTA (Ed.), *Actualización técnica N°2: Maíz, girasol y sorgo 2010* (pp. 89–100). Ediciones INTA.
- Franke, H., Scholl, R., & Aigner, A. (2019). Ricin and *Ricinus communis* in pharmacology and toxicology—from ancient use and “Papyrus Ebers” to modern perspectives and “poisonous plant of the year 2018”. *Naunyn Schmiedeberg’s Archives of Pharmacology*, 392(10), 1181–1208.
- García, C., González, M. B., & González, A. (2013). Parasitismo natural de Braconidae e Ichneumonidae (Hymenoptera) sobre *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). *Revista Colombiana de Entomología*, 39(2), 211–215.
- Gijón, A. R., Téliz, D., García, C. de L., Silva, H. V., De la Torre, R., & Mejía, D. (2016). Rayado foliar del maíz causado por *Acidovorax avenae* subsp. *avenae* en Veracruz, México. *Interciencia*, 41(6), 424–427.
- González, A., & López, J. I. (2007). Importancia de la sistemática en control biológico. En L. A. Rodríguez & H. C. Arredondo (Eds.), *Teoría y aplicación del control biológico* (Primera, pp. 36–47). Sociedad Mexicana de Control Biológico.
- Guacho, E. F. (2014). *Caracterización agro-morfológica del maíz (Zea mays L.) de la localidad San José de Chazo*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Guerra, D., Valdez, C., Orozco, D., & Fuentes, H. (2016). *Guía para la identificación de especies de árboles y arbustos comunes en el agropaisaje de Guatemala*. Editorial Serviprensa.

- Hernández, A., Estrada, B., Rodríguez, R., García, J. M., Patiño, S. A. A., & Osorio, E. (2019). Importancia del control biológico de plagas en maíz (*Zea mays* L.). *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(4), 803–813.
- Hikal, W. M., Baeshen, R. S., & Said-Al Ahl, H. A. H. (2017). Botanical insecticide as simple extractives for pest control. *Cogent Biology*, 3(1), 1404274.
- Hoballah, M. E., Degen, T., Bergvinson, D., Savidan, A., Tamo, C., & Turlings, T. C. J. (2004). Occurrence and direct control potential of parasitoids and predators of the fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) on maize in the subtropical lowlands of Mexico. *Agricultural and Forest Entomology*, 6(1), 83–88.
- Imran, M., Salehi, B., Sharifi-Rad, J., Aslam Gondal, T., Saeed, F., Imran, A., Shahbaz, M., Tsouh Fokou, P. V., Umair Arshad, M., Khan, H., Guerreiro, S. G., Martins, N., & Estevinho, L. M. (2019). Kaempferol: a key emphasis to its anticancer potential. *Molecules*, 24(12), 2277.
- Johnson, A. D., & Singh, A. (2017). Larvicidal activity and biochemical effects of apigenin against filarial vector *Culex quinquefasciatus*. *International Journal of Life-Sciences Scientific Research*, 3(5), 1315–1321.
- Kannan, M., Ismail, I., & Bunawan, H. (2018). Maize dwarf mosaic virus: from genome to disease management. *Viruses*, 10(9), 492.
- Kasige, R. H., Dangalle, C. D., Pallewatta, N., & Perera, M. T. M. D. R. (2022). Laboratory studies of larval cannibalism in same-age conspecifics of fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera, Noctuidea) in maize. *Tropical Agricultural Research and Extension*, 25(1), 79–86.
- Kasubuchi, M., Shii, F., Tsuneto, K., Yamagishi, T., Adegawa, S., Endo, H., & Sato, R. (2018). Insect taste receptors relevant to host identification by recognition of secondary metabolite patterns of non-host plants. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 499(4), 901–906.
- Kato, T. A., Mapes, C., Mera, L. M., Serratos, J. A., & Bye, R. A. (2009). *Origen y diversificación del maíz: una revisión analítica*. Apolo.

- Kornpointner, C., Scheibelreiter, J., & Halbwirth, H. (2022). Snailase: a promising tool for the enzymatic hydrolysis of flavonoid glycosides from plant extracts. *Frontiers in Plant Science*, 13, 889184.
- Kostikova, V. A., & Veklich, T. N. (2020). HPLC analysis of phenolic compounds in leaves and inflorescences of *Sorbaria pallasii*. *BIO Web of Conferences*, 24, 00040.
- Kumar, B., Karjagi, C. G., Jat, S. L., Parihar, C. M., Yathish, K. R., & Singh, V. (2012). *Maize biology: an introduction*. Indian Council of Agricultural Research.
- Kumar, R. M., Gadratagi, B.G., Paramesh, V., Kumar, P., Madivalar, Y., Narayanappa, N., & Ullah, F. (2022). Sustainable Management of Invasive Fall Armyworm, *Spodoptera frugiperda*. *Agronomy*, 12(9), 2150.
- Linima, V. K., Rangunathan, R., & Johnney, J. (2023). Biogenic synthesis of *Ricinus communis* mediated iron and silver nanoparticles and its antibacterial and antifungal activity. *Heliyon*, 9(5), e15743.
- Lopes, A. I. F., Monteiro, M., Araújo, A. R. L., Rodrigues, A. R. O., Castanheira, E. M. S., Pereira, D. M., Olim, P., Fortes, A. G., & Gonçalves, M. S. T. (2020). Cytotoxic plant extracts towards insect cells: bioactivity and nanoencapsulation studies for application as biopesticides. *Molecules*, 25(24), 5855.
- López, J. J., Chirinos, D. T., Ponce, W. H., Solórzano, R. F., & Alarcón, J. P. (2022). Actividad insecticida de formulados botánicos sobre el gusano cogollero, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). *Revista Colombiana de Entomología*, 48(1), e11739.
- Márquez, J. (2005). Técnicas de colecta y preservación de insectos. *Boletín Sociedad Entomológica Aragonesa*, 37, 385–408.
- Méndez, A. (2020). *Percepción de los productores de maíz (Zea mays, Lin.) sobre sus plagas claves: principales aspectos agroecológicos en área agrícolas de Venezuela*. Editorial Universitaria.
- Mendoza, J. M., & Bruno, C. (2018). Crisis maicera en México. En G. Hoyos (Ed.), *Algunos componentes generales, particulares y singulares del maíz en Colombia y México* (pp. 20–22). Universidad de Antioquia.

- Mikani, A. (2019). Effect of kaempferol on ecdysteroid titer and oocyte size via tachykinin-4 in cotton bollworm, *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae). *Journal of Crop Protection*, 8(2), 153–162.
- Mladenović, M., Arsić, B., Stanković, N., Mihović, N., Ragno, R., Regan, A., Milićević, J., TrtićPetrović, T., & Micić, R. (2018). the targeted pesticides as acetylcholinesterase inhibitors: comprehensive cross-organism molecular modelling studies performed to anticipate the pharmacology of harmfulness to humans in vitro. *Molecules*, 23(9), 2192.
- MRI. (2019). *Cogollero (Spodoptera frugiperda) en el cultivo de maíz: Bases para su manejo y control en sistemas de producción*. REM-AAPRESID.
- Mulungu, L. S. (2017). Control of rodent pests in maize cultivation: the case of Africa. En D. Watson (Ed.), *Achieving sustainable cultivation of maize* (Vol. 2, pp. 317–337). Burleigh Dodds Science Publishing.
- Naharki, K., Regmi, S., & Shrestha, N. (2020). A review on invasion and management of fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) in Nepal. *Reviews In Food And Agriculture*, 1(1), 06–11.
- Naik, B. (2018). Botanical descriptions of castor bean. En C. Kole & P. Rabinowicz (Eds.), *The castor bean genoma* (pp. 1–14). Springer International Publishing.
- Nexticapan, A., Magdub, A., Vergara, S., Martín, R., & Larqué, A. (2009). Fluctuación poblacional y daños causados por gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda* JE Smith) en maíz cultivado en el sistema de producción continua afectado por el huracán Isidoro. *Universidad y ciencia*, 25(3), 273–277.
- Norgrove, L. (2021). Trade-offs in maize seedling losses in African grasslands. *Crop Protection*, 146, 105676.
- Nuss, E. T., & Tanumihardjo, S. A. (2010). Maize: a paramount staple crop in the context of global nutrition. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 9(4), 417–436.

- Ohmura, W., Doi, S., Aoyama, M., & Ohara, S. (2000). Antifeedant activity of flavonoids and related compounds against the subterranean termite *Coptotermes formosanus* Shiraki. *Journal of Wood Science*, 46(2), 149–153.
- Onyilagha, J. C., Lazorko, J., Gruber, M. Y., Soroka, J. J., & Erlandson, M. A. (2004). Effect of flavonoids on feeding preference and development of the crucifer pest *Mamestra configurata* Walker. *Journal of Chemical Ecology*, 30(1), 109–124.
- Ortiz, M. A., & Ramírez, O. (2017). Proveedores e industrial de destino de maíz en México. *Agricultura, sociedad y desarrollo*, 46, 61–82.
- Pentzold, S., Zagrobelny, M., Rook, F., & Bak, S. (2014). How insects overcome two-component plant chemical defence: Plant β -glucosidases as the main target for herbivore adaptation. *Biological Reviews*, 89(3), 531–551.
- Pérez, E., Neira, M., & Calderón, C. (2019). Ecological alternatives for the control of *Spodoptera frugiperda* (Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) in the dent corn crops. *Scientia Agropecuaria*, 10(4), 541–550.
- Pogue, M. G. (2002). *A world revisión of the genus Spodoptera Guenée (Lepidoptera: Noctuidae)*. American Entomological Society.
- Pogue, M. G. (2011). Using genitalia characters and mitochondrial COI sequences to place "Leucochlaena" hipparis (Druce) in *Spodoptera* Guenée (Lepidoptera: Noctuidae). *Proceedings of the Entomological Society of Washington*, 113, 497–507.
- Pomari, A. F., Bueno, A. de F., Bueno, R. C. O. de F., Menezes Junior, A. de O., & Fonseca, A. C. P. F. (2013). Releasing number of *Telenomus remus* (Nixon) (Hymenoptera: Platygasteridae) against *Spodoptera frugiperda* Smith (Lepidoptera: Noctuidae) in corn, cotton and soybean. *Ciência Rural*, 43(3), 377–382.
- Rahman, A. H. M., & Akter, M. (2013). Taxonomy and medicinal uses of Euphorbiaceae (Spurge) family of Rajshahi, Bangladesh. *Research in Plant Sciences*, 1(3), 74–80.
- Ramos, M. A., Pérez, S., Rodríguez, C., Guevara, P., & Zavala, M. A. (2010). Activity of *Ricinus communis* (Euphorbiaceae) against *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). *African Journal of Biotechnology*, 9(9), 1359–1365.

- Ramos, M. A., González, M. M., Cárdenas, N. C., Zavala, M. A., & Pérez, S. (2012). Activity of the main fatty acid components of the hexane leaf extract of *Ricinus communis* against *Spodoptera frugiperda*. *African Journal of Biotechnology*, 11(18), 4274–4278.
- Rants'o, T. A., Koekemoer, L. L., & van Zyl, R. L. (2023). In vitro and in silico analysis of the *Anopheles* anticholinesterase activity of terpenoids. *Parasitology International*, 93, 102713.
- Ranum, P., Peña, J. P., & Garcia, M. N. (2014). Global maize production, utilization, and consumption. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1312(1), 105–112.
- Redinbaugh, M. G., & Zambrano, J. L. (2014). Control of virus diseases in maize. *Advances in Virus Research*, 90, 391–429.
- Regalado, J., Pérez, N., Ramírez, J., & Méndez, J. A. (2021). Los grupos de acción y la aplicación de tecnología de alta productividad para maíz de secano en localidades del plan Puebla, México. *La Granja*, 34(2), 91–104.
- Rodríguez, A. J., Ruíz, E., Cornado, J. M., Treviño, J., & Khalaim, I. (2014). Avispas ichneumonoideas que atacan al gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*) en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) en México. *Agroproductividad*, 7(1), 28–31.
- Rojas, J. del C., Buitrago, A. A., Possamai, L. M., Timmers, L. F. S. M., Tallini, L. R., & Bastida, J. (2021). Alkaloid profile and cholinesterase inhibition activity of five species of Amaryllidaceae family collected from Mérida state-Venezuela. *South African Journal of Botany*, 136, 126–136.
- Romo, A., Martínez, D. E., Vázquez, B. E., Ramos, M. A., Figueroa, R., Flores, A., Rea, M. A., & Rodríguez, M. E. (2015). Compuestos botánicos como alternativa para el manejo del gusano cogollero del maíz. *Nthe*, 13, 21–34.
- Roper, M. C. (2011). *Pantoea stewartii* subsp. *stewartii*: lessons learned from a xylem-dwelling pathogen of sweet corn. *Molecular Plant Pathology*, 12(7), 628–637.
- Sagar, G. C., Aastha, B., & Laxman, K. (2020). An introduction of fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) with management strategies: a review paper. *Nippon Journal of Environmental Science*, 1(4), 1010.

- Sánchez, A., Cardona, A., Gómez, A. D., Pérez, A. G., Díaz, A. M., & Ricardez, A. P. (2020). *Innovación empresarial en mercadotecnia: casos y aplicaciones*. Red Iberoamericana de Academias de Investigación.
- Sánchez, I. (2014). Maíz I (*Zea mays*). *Reduca (Biología)*, 7(2), 151–171.
- Sánchez, V., Gutiérrez, G., Rodríguez, Á., & Flores, J. J. (2022). *Roedores y riesgo agrícola: El modelado del nicho ecológico como herramienta de predicción*. UNAM.
- Santiago, G. P., Pádua, L. E. de M., Silva, P. R. R., Carvalho, E. M. S., & Maia, C. B. (2008). Efeitos de extratos de plantas na biologia de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) mantida em dieta artificial. *Ciência e Agrotecnologia*, 32(3), 792–796.
- Santos, S., Brasil, T., de Souza, V. R., de Lima, P. C., Vilaça, E., Rogério, A., Pereira, A., Batista, J., Fernandes, M. F. d G., dos Santos, Â. M., & Silva, R. (2012). Chemical constituents of methanolic extracts of *Jatropha curcas* L and effects on *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). *Química Nova*, 35(11), 2218–2221.
- Sarfraz, K. M., Fazal, R., Ejaz, A. K., Mohammad, S. B., Muhammad, S., Imdad, U. K., Sadaf, J., & Salma S. (2017). *Ricinus communis*: Ethnomedicinal uses and pharmacological activities. *Pakistan Journal of Pharmaceutical Sciences*, 30(5), 1815–1827.
- Selin, S., Senthil, S., Thanigaivel, A., Vasantha, P., Edwin, E. S., Ponsankar, A., Lija, J., Kalaivani, K., Abdel, A., Hunter, W. B., & Alessandro, R. T. (2016). Toxicity and physiological effect of quercetin on generalist herbivore, *Spodoptera litura* Fab. and a non-target earthworm *Eisenia fetida* Savigny. *Chemosphere*, 165, 257–267.
- Serrano, A. K., Coronado, J. M., Joaquín, S., Torres, R. I., & González, M. B. (2020). Ciclo biológico del gusano cogollero: Plaga importante del maíz. *Boletín de la Sociedad Mexicana de Entomología*, 6(3), 78–82.
- Shiferaw, B., Prasanna, B. M., Hellin, J., & Bänziger, M. (2011). Crops that feed the world 6. Past successes and future challenges to the role played by maize in global food security. *Food Security*, 3(3), 307–327.

- SIAP. (2022). *Anuario estadístico de la producción agrícola*. Recuperado el 2 de octubre de 2022, de <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
- Signoret, P. A. (2008). Cereal viruses: maize/corn. En B. Mahy & M. Van (Eds.), *Encyclopedia of virology* (Tercera, pp. 475–482). Academic Press.
- Smyrska, N., & Mroczek, T. (2023). Natural Inhibitors of Cholinesterases: Chemistry, Structure–Activity and Methods of Their Analysis. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(3), 2722.
- Sogan, N., Kapoor, N., Singh, H., Kala, S., Nayak, A., & Nagpal, B. N. (2018). Larvicidal activity of *Ricinus communis* extract against mosquitoes. *Journal of Vector Borne Diseases*, 55(4), 282–290.
- Soto, J., & Lannacone, J. (2008). Efecto de dietas artificiales en la biología de adultos de *Chrysoperla externa* (Hagen, 1861) (Neuroptera: Chrysopidae). *Acta Zoológica Mexicana*, 24(2), 1–22.
- Sun, L., Hou, W., Zhang, J., Dang, Y., Yang, Q., Zhao, X., Ma, Y., & Tang, Q. (2021). Plant metabolites drive different responses in caterpillars of two closely related *Helicoverpa* species. *Frontiers in Physiology*, 12.
- Suurbaar, J., Mosobil, R., & Donkor, A. M. (2017). Antibacterial and antifungal activities and phytochemical profile of leaf extract from different extractants of *Ricinus communis* against selected pathogens. *BMC Research Notes*, 10(1), 660.
- Tridiptasari, A., Leksono, A. S., & Siswanto, D. (2019). Antifeedant effect of *Moringa oleifera* (L.) leaf and seed extract on growth and feeding activity of *Spodoptera litura* (Fab.) (Lepidoptera: Noctuidae). *Journal of Experimental Life Science*, 9(1), 25–31.
- Troiani, H. O., Prina, A. O., Muiño, W. A., Tamame, M. A., & Beinticinco, L. (2017). *Botánica, morfología, taxonomía y fitogeografía*. EdUNLPam.
- Twaij, B. M., & Hasan, M. N. (2022). Bioactive secondary metabolites from plant sources: types, synthesis, and their therapeutic uses. *International Journal of Plant Biology*, 13(1), 4–14.
- Urquijo, P. S., Lazoz, A. E., & Lefebvre, K. (2022). *Historia ambiental de América Latina: enfoques, procedimientos y cotidianidades*. UNAM.

- Valdez, J. B., Soto, F., Osuna, T., & Báez, M. A. (2012). Modelos de predicción fenológica para maíz blanco (*Zea mays* L.) y gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda* J. E. Smith). *Agrociencia*, 46(4), 399–410.
- Varón, F., Rodríguez, J., Villalobos, J. C., & Parody, J. (2022). *Manual de enfermedades y plagas del maíz*. Advanta Seed International.
- Varón, F., & Sarria, G. A. (2007). *Enfermedades del maíz y su manejo*. Produmedios.
- Vela, E. (2021). Taxonomía y botánica. *Arqueología Mexicana*, 98, 12–13.
- Vélez, M., Betancourt, C., & Mendoza, J. (2021). Evaluación de diferentes momentos de aplicación de insecticida Metomil 90 % para el control del gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*) en el cultivo de maíz. *Ciencia y Tecnología*, 14(2), 33–40.
- Villegas, J. M., Sánchez, A., & Rosas, N. M. (2015). Caracterización de una especie de *Meteorus* (Hymenoptera: Braconidae) presente en larvas de *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) en el norte de Tamaulipas, México. *Southwestern Entomologist*, 40(1), 161–170.
- Xu, W. (2020). How do moth and butterfly taste?—Molecular basis of gustatory receptors in Lepidoptera. *Insect Science*, 27(6), 1148–1157.
- Yang, L., Wen, K. S., Ruan, X., Zhao, Y. X., Wei, F., & Wang, Q. (2018). Response of plant secondary metabolites to environmental factors. *Molecules*, 23(4), 762.
- Yáñez, R., Vázquez, A., Arreguín, J. H., Soria, J., & Quijano, J. Á. (2019). Sistema de alerta contra el gusano cogollero *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Insecta: Lepidoptera: Noctuidae). *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(2), 405–416.
- Zhao, X., Tong, C., Pang, X., Wang, Z., Guo, Y., Du, F., & Wu, R. (2011). Functional mapping of ontogeny in flowering plants. *Briefings in Bioinformatics*, 13(3), 317–328.