

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO**

**FACULTAD DE QUÍMICA**

“EVALUACIÓN DE LAS ACTIVIDADES INSECTICIDA E INSECTISTÁTICA DE LOS EXTRACTOS METANÓLICOS DE LAS DIFERENTES PARTES AÉREAS DE *Zaluzania augusta* var. *augusta* EN LARVAS DE *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae)”

**TESIS INDIVIDUAL**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

**QUÍMICO AGRÍCOLA**

PRESENTA

**LUIS SERGIO GONZÁLEZ ZÚÑIGA**

DIRIGIDA POR

**Dr. MIGUEL ANGEL RAMOS LÓPEZ**

SANTIAGO DE QUERÉTARO, QUERÉTARO, 20



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO**

**FACULTAD DE QUÍMICA**

**“EVALUACIÓN DE LAS ACTIVIDADES INSECTICIDA E  
INSECTISTÁTICA DE LOS EXTRACTOS METANÓLICOS DE  
LAS DIFERENTES PARTES AÉREAS DE *Zaluzania augusta*  
*var. augusta* EN LARVAS DE *Spodoptera frugiperda*  
(Lepidoptera: Noctuidae)”**

**TESIS INDIVIDUAL**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE**

**QUÍMICO AGRÍCOLA**

**PRESENTA**

**LUIS SERGIO GONZÁLEZ ZÚÑIGA**

**DIRIGIDA POR**

**Dr. MIGUEL ANGEL RAMOS LÓPEZ**

**SINODALES**

**Dr. MIGUEL ANGEL RAMOS LÓPEZ**

**DIRECTOR**

**Dr. VICTOR PÉREZ MORENO**

**SINODAL**

**M. EN C. ISIDRO RESÉNDIZ LÓPEZ**

**SINODAL**

**M. EN C. JOSÉ ALEJANDRO CABRERA LUNA**

**SINODAL**

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO

FACULTAD DE QUÍMICA

"EVALUACIÓN DE LAS ACTIVIDADES INSECTICIDA E  
INSECTISTÁTICA DE LOS EXTRACTOS METANÓLICOS DE  
LAS DIFERENTES PARTES AÉREAS DE *Zaluzania augusta*  
var. *augusta* EN LARVAS DE *Spodoptera frugiperda*  
(Lepidoptera: Noctuidae)"

TESIS INDIVIDUAL

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

QUÍMICO AGRÍCOLA

PRESENTA

LUIS SERGIO GONZÁLEZ ZUÑIGA

DIRIGIDA POR

Dr. MIGUEL ANGEL RAMOS LÓPEZ

SINODALES

Dr. MIGUEL ANGEL RAMOS LÓPEZ

DIRECTOR

Dr. VICTOR PÉREZ MORENO

SINODAL

M. EN C. ISIDRO RESÉNDIZ LÓPEZ

SINODAL

M. EN C. JOSÉ ALEJANDRO CABRERA LUNA

SINODAL

Este trabajo va dedicado a mis profesores, amigos y familia, en especial a mi madre, mi padre y mi hermano.

L.S.G.Z.

Dirección General de Bibliotecas UAQ

Después de que el químico descubre sustancias cuya identidad establece, estará en posibilidades de probarlas mediante bioensayos, con interpretación estadística de por medio, antes de poder asegurar sus posibles aplicaciones. Pero esta secuencia un tanto simplista conlleva una interpretación bioquímica, fisiológica y toxicológica, de cuyo éxito y tino depende el valor que esas sustancias adquieran para el bien de la humanidad. Aquí la ciencia alcanza sus más altos niveles de responsabilidad, tanto técnica como humanitaria.

Jorge S. Marroquín  
Xorge A. Domínguez

## ÍNDICE GENERAL

Contenido	Página
ÍNDICE GENERAL	i
ÍNDICE DE CUADROS	iii
ÍNDICE DE FIGURAS	iv
RESUMEN	
1. ANTECEDENTES	1
1.1 <i>Spodoptera frugiperda</i> (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae)	1
1.1.1 Repercusiones e importancia	2
1.1.2 Ciclo biológico	4
1.2 Formas de manejo de <i>Spodoptera frugiperda</i>	6
1.2.1 Manejo Cultural	7
1.2.2 Manejo Mecánico	9
1.2.3 Manejo Etológico	9
1.2.4 Manejo Biológico	12
1.2.5 Manejo Genético	15
1.2.6 Manejo Químico	16
1.2.7 Manejo Botánico	17
1.3 Uso de plantas en el manejo de plagas agrícolas	18
1.3.1 Familia Asteraceae en el manejo de plagas agrícolas	19
1.3.2 Compuestos naturales con actividad insecticida y/o insectistática encontrados en la familia Asteraceae	20
1.4 Género <i>Zaluzania</i> (Asteraceae)	22
1.4.1 <i>Zaluzania augusta</i> (Lag.) Sch. Bip. var. <i>augusta</i>	23
2. HIPÓTESIS	28
3. OBJETIVOS	29
3.1 General	29
3.2 Específicos	29

4. METODOLOGÍA	30
4.1 Materiales	30
4.2 Reactivos	30
4.3 Equipos	31
4.4 Procedimiento	32
4.4.1 Sitio de estudio	32
4.4.2 Cría de <i>Spodoptera frugiperda</i> en condiciones de laboratorio	32
4.4.3 Recolección y preparación de las partes aéreas de <i>Zaluzania augusta</i> var. <i>augusta</i>	33
4.4.4 Obtención de los extractos metanólicos de las partes aéreas de <i>Zaluzania augusta</i> var. <i>augusta</i>	35
4.4.5 Bioensayos con <i>Spodoptera frugiperda</i>	36
4.4.6 Pruebas fitoquímicas	37
4.4.6.1 Preparación de la muestra	37
4.4.6.2 Ensayos para identificar metabolitos secundarios	37
4.4.7 Análisis estadístico	39
5. RESULTADOS	40
6. DISCUSIÓN	52
7. CONCLUSIONES	56
6. BIBLIOGRAFÍA	57

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Taxonomía de <i>Spodoptera frugiperda</i>	1
2	Agentes de manejo biológico para <i>Spodoptera frugiperda</i>	14
3	Taxonomía de <i>Zaluzania augusta</i> var. <i>augusta</i>	23
4	Ingredientes para preparar dieta para <i>Spodoptera frugiperda</i>	33
5	Actividad insecticida del extracto metanólico de las flores de <i>Zaluzania augusta</i> var. <i>augusta</i>	40
6	Actividad insectistática del extracto metanólico de las flores de <i>Zaluzania augusta</i> var. <i>augusta</i>	41
7	Actividad insecticida del extracto metanólico de las hojas de <i>Zaluzania augusta</i> var. <i>augusta</i>	43
8	Actividad insectistática del extracto metanólico de las hojas de <i>Zaluzania augusta</i> var. <i>augusta</i>	44
9	Actividad insecticida del extracto metanólico de los tallos de <i>Zaluzania augusta</i> var. <i>augusta</i>	46
10	Actividad insectistática del extracto metanólico de los tallos de <i>Zaluzania augusta</i> var. <i>augusta</i>	48
11	Metabolitos secundarios encontrados en los extractos metanólicos de las diferentes partes aéreas de <i>Zaluzania augusta</i> var. <i>augusta</i>	50

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1	Larva de <i>Spodoptera frugiperda</i> en maíz	2
2	Escala propuesta por Wiseman y col. (1966) para evaluar el daño causado por <i>Spodoptera frugiperda</i> de manera visual	4
3	Adultos de <i>Spodoptera frugiperda</i>	5
4	Ciclo biológico del gusano cogollero del maíz	6
5	Aplicación de un barbecho con maquinaria en un terreno de cultivo	8
6	Feromonas sexuales usadas en el manejo de <i>Spodoptera frugiperda</i>	10
7	Trampa de luz con recipiente	11
8	Parasitoides de huevecillos de <i>Spodoptera frugiperda</i>	13
9	(E)- Ocimenona	20
10	<i>Chrysanthemum cinerariifolium</i>	21
11	Piretrinas derivadas de la piretrolona, cinerolona y jasmolona	22
12	13-Epimanool	23
13	<i>Zaluzania augusta</i> var. <i>augusta</i>	24
14	Asociación entre <i>Z. augusta</i> var. <i>augusta</i> , <i>O. streptacantha</i> , <i>M. biuncifera</i> y otras especies dentro del matorral xerófilo	25
15	<i>Opuntia streptacantha</i> ("Nopal")	25
16	<i>Mimosa biuncifera</i> ("Uña de gato")	26
17	Estructuras químicas reportadas para las Zaluzaninas A, B y C	26
18	Ejemplar de herbario de <i>Zaluzania augusta</i> var. <i>augusta</i>	34
19	Polvos obtenidos de flores, hojas y tallos de <i>Zaluzania augusta</i> var. <i>augusta</i>	35
20	Dispositivo para la obtención de extractos	36

Figura		Página
21	Pupas de <i>Spodoptera frugiperda</i> en el control negativo (derecha) y en el tratamiento con el extracto metanólico de las flores de <i>Zaluzania augusta</i> var. <i>augusta</i> a 5000 ppm	42
22	Adulto de <i>Spodoptera frugiperda</i> con deformidad en alas atribuida al efecto del extracto metanólico de las flores de <i>Zaluzania augusta</i> var. <i>augusta</i> a 500 ppm	42
23	Pupa de <i>Spodoptera frugiperda</i> que no completó la metamorfosis a fase adulta	45
24	Pupa de <i>Spodoptera frugiperda</i> con deformidades	47
25	Adulto de <i>S. frugiperda</i> con deformidad en alas	48
26	Prueba para identificar cumarinas en los tres extractos de <i>Zaluzania augusta</i> var. <i>augusta</i> utilizando radiación UV de 365 nm	50
27	Pruebas cualitativas para identificar A) taninos; B) saponinas; C) flavonoides; D), E), F) lactonas sesquiterpénicas en los tres extractos de <i>Zaluzania augusta</i> var. <i>augusta</i>	51

## RESUMEN

*Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae), mejor conocido como “gusano cogollero del maíz”, es un insecto considerado una plaga de gran importancia económica en países como México, Brasil y Estados Unidos de América ya que puede ocasionar grandes pérdidas en la producción de cultivos como el maíz, el sorgo y el algodón, que presentan una alta demanda en todo el mundo. En el maíz las mermas en el rendimiento pueden ser de hasta un 73% o más. Su manejo se lleva a cabo principalmente con insecticidas químicos-sintéticos que resultan muy efectivos, pero también han demostrado ser causantes de problemas como contaminación del agua y el suelo, además de que afectan a insectos polinizadores y a los que son enemigos naturales de *S. frugiperda*, así mismo, estas sustancias también han perjudicado otro tipo de fauna que no es su objetivo como lo son aves y peces. El uso de extractos vegetales como método de manejo de plagas se ha venido haciendo de manera empírica desde la antigüedad hasta nuestros días y ha demostrado tener pocas repercusiones en el ambiente. Los extractos metanólicos de las partes aéreas de *Zaluzania augusta* (Lag.) Sch. Bip var. *augusta*, mostraron actividad insecticida y también actividad insectistática en *S. frugiperda*. En estos extractos se identificó una gran variedad de grupos de metabolitos secundarios, entre ellos compuestos fenólicos como los taninos y lactonas serquiterpénicas, que se caracterizan por incluir compuestos que tienen actividad antialimentaria y/o son insecticidas.

Palabras clave: *Spodoptera frugiperda*, *Zaluzania augusta*, extractos vegetales, manejo botánico de plagas.

## 1. ANTECEDENTES

### 1.1 *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae)

El gusano cogollero de maíz, *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) (Cuadro 1) es un insecto holometábolo originario de las regiones tropicales del hemisferio oeste. Está catalogado como uno de los insectos plaga de mayor importancia económica en gran parte del continente americano (Wiseman y col., 1966).

Cuadro 1. Taxonomía de *Spodoptera frugiperda* (ITIS, 2018).

Reino	Animalia
Phylum	Arthropoda
Subphylum	Hexapoda
Clase	Insecta
Superorden	Holometabola
Orden	Lepidoptera
Familia	Noctuidae
Genero	<i>Spodoptera</i>
Especie	<i>S. frugiperda</i> (J. E. Smith, 1797)

Es considerado una plaga polífaga pues se le puede encontrar en plantas de hoja ancha y de hoja angosta, cuenta con una gran cantidad de huéspedes que le permiten asegurar su supervivencia y hacen que su dispersión sea muy extensa (García y col. 1999).

Se encuentra desde Estados Unidos de América hasta Argentina; normalmente aparece en verano y principios de otoño para atacar cultivos como algodón, arroz, soja, sorgo y principalmente maíz (Figura 1) (Cruz y col., 2012). También ha sido detectado su establecimiento en algunos países de África (Ogolla y col., 2017).

Es una plaga que ataca al maíz durante todas sus etapas de desarrollo, por lo que es de mucha importancia en México, América central y Sudamérica (Wiseman y col., 1966).

Ocasiona varios tipos de daño ya que puede actuar como defoliadora y barrenadora de tallos, así como también puede atacar espigas y mazorcas en el caso del maíz (García y col., 1999; Satorre, 2014). En el maíz usualmente consume una gran cantidad de follaje y destruye el meristemo de crecimiento de la planta (cogollo), se puede alimentar de todas las partes aéreas, sin embargo lo hace más frecuentemente del cogollo de plantas de hasta 45 días de edad (Cruz y col., 1999).



Figura 1. Larva de *Spodoptera frugiperda* en maíz (Fuente propia, 2018).

### 1.1.1 Repercusiones e importancia

*Spodoptera frugiperda* es el insecto plaga que ocasiona las mayores pérdidas en la producción de maíz a nivel mundial, éstas ascienden a ser de aproximadamente 400 millones de dólares al año (Cruz y col., 1999; Figueiredo y col., 2006; Cruz y col., 2012).

Según el grado de infestación de *S. frugiperda*, el rendimiento del maíz puede verse disminuido desde un 15% hasta 73% debido a la pérdida de área foliar y al retraso o inhibición de la emisión de las inflorescencias. (Cruz y col., 2012; Silva y col., 2014). En México, la reducción del rendimiento en la producción de maíz a causa de *S. frugiperda* puede llegar a ser del 37%, mientras que en Brasil las pérdidas pueden ser de hasta un 34% (Cruz y Turpin 1982; De Polanía y col., 2009).

Cruz y Turpin (1982) encontraron que la mayor disminución en el rendimiento del maíz causada por *S. frugiperda* ocurre cuando las plantas atacadas tienen aproximadamente 40 días después de la siembra (al tener de ocho a diez hojas), sin embargo también se dieron cuenta de que cuando la infestación ocurre a los 30 días de siembra (cuando la planta tiene de cuatro a seis hojas) se presentó la menor reducción en el rendimiento a pesar de que el daño foliar era mayor. Lo cual indica que el maíz es capaz de recuperarse y no bajar tanto su producción si la plaga ataca en esa etapa de crecimiento. Entonces la reducción en el rendimiento también dependerá del estadio del cultivo cuando ocurre la infestación de *S. frugiperda*.

Las pérdidas en el rendimiento del maíz registradas varían por distintos factores, entre los más importantes se encuentran la fase de desarrollo en que se encontraba la planta, la variedad utilizada, las prácticas agronómicas empleadas durante el ciclo de cultivo y las características climatológicas del lugar donde se estableció el cultivo (Cruz y col., 1999).

Si la infestación es muy intensa se puede llegar a la pérdida total del cultivo (Silva y col., 1983; Polanczyk y col., 2004).

Varios autores han propuesto escalas para evaluar el daño causado por *S. frugiperda* de manera visual, entre ellas destacan la propuesta por Wiseman y col. (1966), quienes consideran 10 niveles de daño que van desde un daño mínimo hasta lesiones más severas que pueden originar la muerte de la planta (Figura 2). En otra escala propuesta por Cruz y col. (1999) se consideran cinco niveles de daño: en el primero hay presencia de raspaduras en las hojas; en el segundo nivel comienzan a notarse agujeros en las hojas; en el tercero hay presencia de lesiones en el cogollo; en el cuarto nivel las lesiones al cogollo son severas y en el quinto el daño al cogollo es tan severo que ocasiona la muerte de la planta.

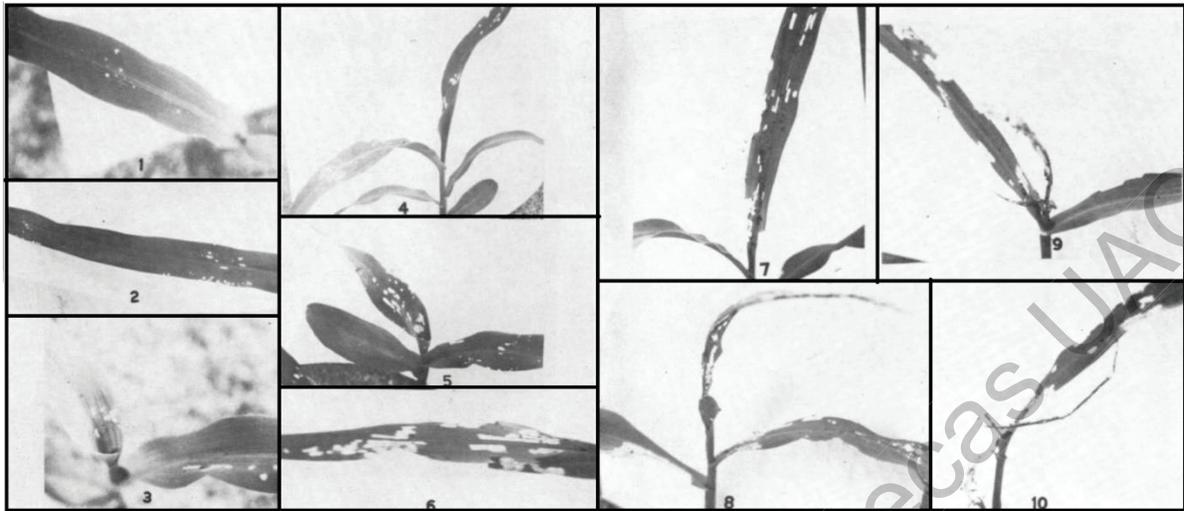


Figura 2. Escala propuesta por Wiseman y col. (1966) para evaluar el daño causado por *Spodoptera frugiperda* de manera visual.

*Spodoptera frugiperda* normalmente es manejado con insecticidas químicos sintéticos. Muchas veces estos insecticidas se sobre dosifican y dan lugar a intoxicaciones, generan daño al ambiente y además pueden crear resistencia en la plaga (Tinoco y Halperin, 1998; Cruz y col., 2012).

Estados Unidos, México, Cuba y Colombia entre otros países, tienen problemas por la resistencia innata a plaguicidas que han ido adquiriendo las nuevas generaciones de *S. frugiperda*. La importancia económica y ambiental de esta plaga radica principalmente en las pérdidas que ocasiona en los cultivos, los costos de manejo que genera y la contaminación producida por los agroquímicos empleados (Polanczyk y col., 2004; De Polanía y col., 2009).

### 1.1.2 Ciclo biológico

A lo largo de toda su vida, una hembra de *S. frugiperda* puede producir hasta 1000 huevecillos, que oviposita al azar en el cultivo en masas de entre 50 y 200 (FAO, 2017). Estos normalmente son de color blanco o café claro y son cubiertos por escamas y secreciones bucales para su protección, miden 0.4 mm de diámetro aproximadamente (García y Tarango, 2009). La eclosión ocurre de tres a cinco días y las larvas empiezan a alimentarse de los restos de la masa de huevos a la que

pertenecieron para después hacerlo de los tejidos de la planta, comenzando con los más tiernos, a partir del segundo instar las larvas presentan hábitos caníbales. Durante el primer instar las larvas se alimenta por el envés de las hojas, del segundo instar en adelante crean agujeros en estas. Desde el cuarto al sexto instar pueden acabar por completo con plantas pequeñas y causar gran daño en plantas más grandes. (Cruz y col., 1999).

El periodo larval dura de 14 a 21 días, a lo largo del cual son observados seis instares. La fase pupal tiene una duración de 9 a 13 días, esta comúnmente se lleva a cabo de manera subterránea cerca de la planta que fue su hospedero, la pupa es de color café rojizo y su longitud oscila entre los 14 y 18 mm. Al término de esta fase inicia la fase adulta, que tiene una duración promedio de 10 a 11 días, los adultos son de color grisáceo con tonos café en las alas anteriores y las alas posteriores son de color blanco con un margen ligeramente marrón, tienen una envergadura promedio de 38 mm. Los machos se caracterizan por presentar manchas blanquecinas en las alas anteriores (Figura 3) (García y Tarango, 2009; Romo, 2015).

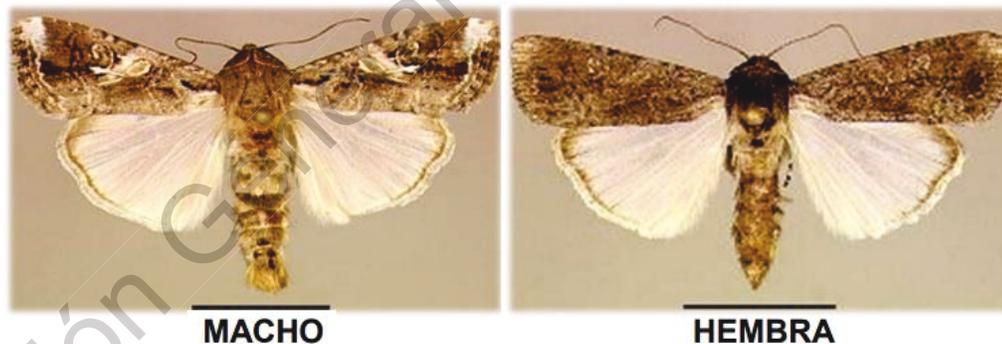


Figura 3. Adultos de *Spodoptera frugiperda* (Marín, 2018).

En la Figura 4 se pueden observar las fases que comprende el ciclo de vida del gusano cogollero del maíz, cabe mencionar que dependiendo las temperaturas, el ciclo completo de *S. frugiperda* puede verse alterado en su duración, siendo más corto a temperaturas más altas de lo normal (Satorre, 2014).



Figura 4. Ciclo biológico del gusano cogollero del maíz (Modificado de León, 2015).

## 1.2 Formas de manejo de *Spodoptera frugiperda*

El primer paso para el manejo de cualquier plaga es el monitoreo, ya que este va a indicar el nivel de incidencia de la plaga y su fase de desarrollo, también es importante tomar en cuenta las condiciones ambientales y el estadio en que se encuentra el cultivo, ya que el daño generado en las plantas puede variar según el momento en que el cultivo comienza a ser afectado. Básicamente todo esto va a determinar qué tipos de manejo se van a incluir en el Manejo Integrado de Plagas. El monitoreo de *S. frugiperda* inicia desde la emergencia del cultivo y primeramente se busca la presencia de larvas y/o huevecillos en malezas que también sean hospederos y se encuentren cerca del cultivo. Luego se procede a la búsqueda de adultos con ayuda de trampas, estos dos factores indicarán el inicio de una posible infestación. Posteriormente se procede a la revisión del cultivo de manera aleatoria

o sistemática para la búsqueda de larvas y huevecillos. En el caso del maíz se recomienda examinar el 2% de las plantas totales del área de cultivo, se revisan sitios de 50 a 100 plantas continuas, en cada uno de estos se registra el número de plantas con daño en la hoja más joven y se estima el porcentaje de estas, si este excede el 40% se debe iniciar de manera inmediata con su manejo. Al mismo tiempo también debe identificarse la presencia de enemigos naturales (depredadores, parasitoides y entomopatógenos) para decidir las medidas de manejo más adecuadas a emplear. Es muy común que *S. frugiperda* comience afectando en forma de manchones al cultivo hospedero para después irse dispersando hasta cubrirlo en su totalidad si las condiciones ambientales lo favorecen y la infestación no es atendida adecuadamente. Diez días después de la eclosión, las larvas se encuentran entre el 3<sup>er</sup> y 4<sup>to</sup> instar, en este periodo siguen siendo muy susceptibles a insecticidas sintéticos que actúen por contacto y enemigos naturales, sin embargo, es a partir de aquí cuando buscan alojarse en el cogollo de las plantas y combatirlos se vuelve más difícil, lo que trae como consecuencia que las prácticas de manejo encarezcan y los resultados no sean tan eficientes, por lo tanto es crucial iniciar con el manejo desde que se encuentran huevecillos y larvas de primer instar (García y col., 1999; Cruz y col., 2012).

### **1.2.1 Manejo Cultural**

Por manejo cultural se entiende al conjunto de prácticas agronómicas que van a generar un ambiente menos favorable para el desarrollo de las plagas, ya sea que se trate de impedir o reducir su colonización en el cultivo y/o que se creen condiciones adversas para su supervivencia como el exponerlas a condiciones ambientales que les resulten perjudiciales y/o favorecer el efecto de enemigos naturales. Este tipo de manejo es más bien de tipo preventivo y es una base importante para que los demás tipos de manejo puedan tener éxito. Dentro de este tipo de prácticas para el manejo de *S. frugiperda* está la preparación del campo que albergará el cultivo, mediante la realización de distintos tipos de arado se busca eliminar malezas y triturar y reincorporar al suelo los residuos de cultivos anteriores que pudieron ser hospederos, de esta manera se busca eliminar posibles fuentes de

infestación. Las pupas de *S. frugiperda* son muy susceptibles a morir en temperaturas menores a 8°C y de igual manera son susceptibles a sufrir desecación por acción del sol, por lo que al extraerlas del suelo y dejarlas expuestas a estas condiciones mediante barbechos resulta efectivo (Figura 5), así mismo esta labor agronómica deja las pupas desprotegidas contra enemigos naturales como aves que buscan alimentarse de ellas. (Cisneros, 1995).



Figura 5. Aplicación de un barbecho con maquinaria en un terreno de cultivo (Kubota, 2015).

Un uso estratégico del agua es también una práctica muy útil para manejar esta plaga ya que mediante la inundación del terreno por efecto de la lluvia o un riego pesado se logra asfixiar a larvas y pupas que pudiera haber en el suelo, de igual manera el riego por aspersión puede contribuir a que las larvas que puedan estar alojadas en el cogollo también mueran por asfixia (Satorre, 2014).

Entre otras prácticas agronómicas empleadas para el manejo cultural de *S. frugiperda* están el elegir una buena densidad de siembra que no permita que se generen microclimas que favorezcan su desarrollo (poca ventilación y humedad relativa alta), elección adecuada de fechas de siembra tomando en cuenta la fenología de este insecto según el área geográfica (es más incidente en meses

calurosos), rotación de cultivos, una buena fertilización para generar plantas más vigorosas que puedan tolerar mejor las infestaciones y asociar el cultivo con otros que no sean del agrado del gusano cogollero del maíz . La adecuada aplicación de estas prácticas requiere del dominio de la fisiología y fenología del cultivo y del conocimiento de la biología de *S. frugiperda*, su comportamiento y su ocurrencia estacional, de lo contrario se pueden obtener resultados no deseados (Cisneros, 1995).

### **1.2.2 Manejo Mecánico**

Las prácticas en las cuales se fundamenta este tipo de manejo son sin duda las más sencillas y arcaicas que se han venido empleando para combatir plagas, consisten simplemente en quitar de manera manual los insectos y partes de las plantas que están dañadas o hayan sido infestadas, de igual forma también comprende el uso de barreras físicas como mallas y telas mosquiteras para impedir que las plagas tengan acceso al cultivo. En el caso de *S. frugiperda*, pueden recolectarse larvas y huevecillos que sean visibles en las plantas para después ser eliminados, en las pupas y adultos esto no se hace pues las pupas normalmente se encuentran bajo el suelo y los adultos presentan una mayor actividad durante la noche, lo cual dificulta considerablemente el combate del cogollero del maíz en estas etapas empleando este tipo de manejo. Esta clase de prácticas no repercute de manera negativa al ambiente, sin embargo, requiere mucha mano de obra, por lo que solo resulta eficiente en áreas de cultivo pequeñas o cuando va comenzando una infestación y se tienen bien localizados los focos de *S. frugiperda*. Debe considerarse que cuando las larvas ya se encuentran alojadas en el cogollo es más difícil removerlas, también debe tomarse en cuenta que el personal que va a realizar estas labores debe tener bien identificadas las fases de desarrollo de esta plaga para obtener buenos resultados (Cisneros, 1995).

### **1.2.3 Manejo Etológico**

Este tipo de manejo de plagas tiene su fundamento en el estudio del comportamiento de las plagas en relación con sustancias o estímulos físicos que podría haber en su

ambiente. Cada insecto va a presentar un comportamiento fijo frente a diferentes estímulos, ya sea que el insecto se sienta atraído o sea ahuyentado, que le induzcan a la ingestión de alimentos o la inhiban, otros son atrayentes sexuales, señales de orientación, entre otros. Desde un punto de vista práctico, este tipo de manejo se basa en el uso de estos estímulos para que funcionen como atrayentes hacia trampas, repelentes, inhibidores de alimentación, etc. En el caso de los lepidópteros como el gusano cogollero del maíz, han sido muy estudiadas las feromonas sexuales. Gracias a feromonas emitidas por las hembras, los machos pueden ubicar a una hembra a distancias de hasta centenas de metros. Las feromonas sexuales que han podido ser sintetizadas y comercializadas se emplean como atrayentes en trampas y cebos. También mediante la saturación del ambiente con estas feromonas se produce una confusión entre los machos y se les dificulta mucho más encontrar alguna hembra (Cisneros, 1995).

Para el manejo del gusano cogollero del maíz encontramos productos a base de feromonas como el “Luretape FAW” de Hercon Environmental y el “Pherocon FAW” de Koppert Biological Systems, constituidos de feromonas sexuales como (z)-9-Acetato de tetradecenilo, (z)-11- Acetato de hexadecenilo y (z)-7- Acetato de dodecenilo (Figura 6), que son utilizadas en conjunto con trampas pegajosas para el monitoreo y captura masiva de esta plaga. Estos productos ejercen su efecto atrayente con una duración de hasta cuatro semanas (Hercon, 2009; Koppert, 2018).

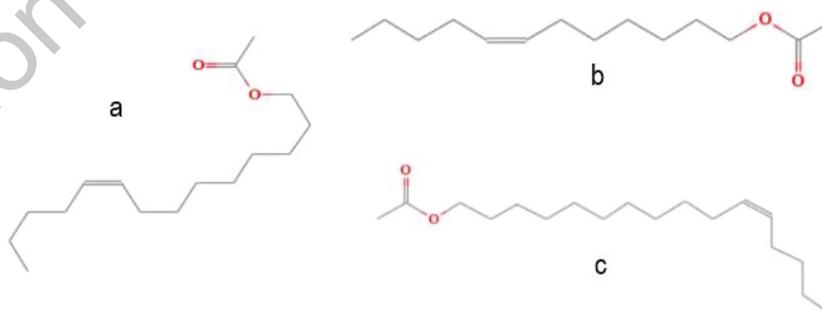


Figura 6. Feromonas sexuales usadas en el manejo de *Spodoptera frugiperda*, a) (Z)-9- acetato de tetradecenilo, b) (Z)-7 acetato de dodecenilo y c) (Z)-11- acetato de hexadecenilo (NIST, 2018).

Otras de las prácticas empleadas dentro del manejo etológico de esta plaga es el uso de trampas pegajosas sin feromonas, que comúnmente son láminas de plástico de color amarillo impregnadas de resina o algún otro pegamento, en donde los adultos al sentirse atraídos por el color de la trampa, buscan posarse en esta y quedan atrapados en el pegamento. También son empleadas trampas de luz, ya que la mayoría de los lepidópteros son atraídos por el tipo de radiación que emiten, se basan en el uso de un foco/lámpara durante la noche para llamar a los insectos y hacerlos que choquen con cierta superficie que por sí sola los elimine (como una parrilla eléctrica) o que haga que caigan en un recipiente que contiene alguna sustancia o mezcla de sustancias que los mate (Figura 7) (Cisneros, 1995).

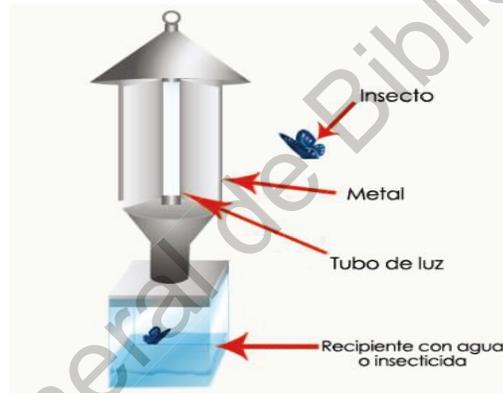


Figura 7. Trampa de luz con recipiente (HYDROENV, 2018).

La liberación de adultos estériles es otra técnica considerada dentro del manejo etológico de plagas que se comenzó a desarrollar en la década de los 1950's, normalmente consiste en la liberación de machos infértiles para que se apareen con hembras que se encuentren libres y así disminuya su población. Los insectos pueden ser esterilizados por irradiación de las pupas con rayos X o rayos gamma. En este tipo de manejo encontramos limitaciones como el hecho de actuar en adultos y no contra larvas, las cuales son quienes generan el mayor daño, sin embargo, tiene la ventaja de no dejar residuos tóxicos que afecten a aves, mamíferos e insectos benéficos, así mismo las feromonas se pueden llegar a manejar sin el uso de equipo de protección personal, tienen actividad aún en cantidades muy pequeñas, pueden

estar operando continuamente y también resulta ser más económico que otros tipos de manejo como el Químico (Cisneros, 1995).

#### 1.2.4 Manejo Biológico

El empleo de enemigos naturales para combatir plagas y enfermedades es lo que se ha denominado como manejo biológico. Se tienen tres agentes de manejo biológico: parasitoides (se alimentan y desarrollan sobre o dentro de otro insecto para después emerger de este en forma adulta), depredadores (se alimentan de otro insecto) y entomopatógenos (microorganismos que generan enfermedades mortales en un insecto), algunos de estos agentes para el manejo biológico de *S. frugiperda* se muestran en el Cuadro 2 (García y col, 1999).

El manejo biológico de *S. frugiperda* comenzó a despertar interés para su investigación y aplicación desde finales de los 1970's. Se sabe que en México hay especies parasitoides del cogollero del maíz (Figura 8) en los géneros *Chelonus*, *Meteorus* y *Rogas* (Hymenoptera: Braconidae); *Campoletis* y *Pristomerus* (Hymenoptera: Ichneumonidae); *Euplectrus* (Hymenoptera: Eulophidae); *Trichogramma* (Hymenoptera: Trichogrammatidae); *Archytas*, *Lespesia*, *Spallanzia* y *Winthemia* (Diptera: Tachinidae) (Carrillo, 1993).

*Chelonus insularis* (Cresson) (Hymenoptera: Braconidae) es un parasitoide de huevecillos de lepidópteros muy efectivo que tiene preferencia por atacar al gusano cogollero del maíz, por lo que resulta muy útil para su manejo (EMBRAPA, 2018). Este insecto presenta cierta resistencia a plaguicidas por lo que es muy conveniente emplearlo en un Manejo Integrado de Plagas. Inicialmente parasita colocando uno de sus huevecillos por cada uno de *S. frugiperda*, cuando las larvas de *S. frugiperda* eclosionan las del parasitoide continúan desarrollándose dentro de ellas (Herrera, 2018).

Zenner y col. (2006) observaron que el parasitismo generado por *C. insularis* en larvas de *S. frugiperda* dio lugar a que la concentración letal media para insecticidas químico-sintéticos fuera menor en comparación con la concentración letal media utilizada en larvas no parasitadas.

Estudios realizados en el estado de Morelos, México, registraron un control del 86.7% en *S. frugiperda* originado por el parasitoide *C. insularis* (Salazar y Cabrera, 1983; Carrillo, 1993).

*Trichogramma pretiosum* (Riley) (Hymenoptera: Trichogrammatidae) es otro parasitoide de huevecillos que ejerce un alto porcentaje de parasitismo en *S. frugiperda*, alcanzando hasta un 60%, gracias a esto se puede lograr un incremento en la producción del maíz de hasta un 50% (De Sene, 2015).

Cuando se logra un 80% de control debido al parasitismo se puede omitir la aplicación de insecticidas (Cabrera y García, 1985; Carrillo, 1993).



Figura 8. Parasitoides de huevecillos de *Spodoptera frugiperda*. (a) *Trichogramma* spp. (b), (c) *Chelonus insularis* (De Sene, 2015; Herrera, 2018; EMBRAPA, 2018).

*Bacillus thuringiensis* (Berliner) es una bacteria muy empleada en el manejo de varios artrópodos plagas, es el microorganismo más empleado en el mundo debido a su gran potencial como patógeno de lepidópteros. Durante el proceso de esporulación produce proteínas tóxicas denominadas Cry que al ser ingeridas por *S. frugiperda* ocasionan su envenenamiento (Sauka y Benintende, 2008).

En un estudio de laboratorio realizado por González y col. (2015) con un producto comercial a base de *B. thuringiensis*, se reportó una mortalidad del 70.66% en *S. frugiperda*.

Cuadro 2. Agentes de manejo biológico para *Spodoptera frugiperda* (Modificado de García y col, 1999).

Tipo de agente	Especie
Parasitoides de huevecillos	<i>Telenomus spp.</i> (Hymenoptera: Scelionidae)
	<i>Trichogramma atopovirilia</i> (Hymenoptera: Trichogrammatidae)
	<i>Trichogramma exiguum</i> (Hymenoptera: Trichogrammatidae)
	<i>Chelonus insularis</i> (Hymenoptera: Braconidae)
Parasitoides de larvas	<i>Meteorus laphygmae</i> (Hymenoptera: Braconidae)
	<i>Apanteles spp.</i> (Hymenoptera: Braconidae)
	<i>Eiphosoma spp.</i> (Hymenoptera: Ichneumonidae)
	<i>Exasticolus fuscicornis</i> (Hymenoptera: Braconidae)
	<i>Euplectrus plathypenae</i> (Hymenoptera: Eulophidae)
	<i>Winthemia rufopieta</i> (Diptera: Tachinidae)
	<i>Incamiya spp.</i> (Diptera: Tachinidae)
	<i>Eucelantoria spp.</i> (Diptera: Tachinidae)
	<i>Gonia crassicornis</i> (Diptera: Tachinidae)
	<i>Lespesia archippivora</i> (Diptera: Tachinidae)
<i>Sarcophaga spp.</i> (Diptera: Sarcophagidae)	
Parasitoides de pupas	<i>Archytas marmoratus</i> (Diptera: Tachinidae)
Depredadores	<i>Zelus spp.</i> (Hemiptera: Reduviidae)
	<i>Polistes erythrocephalus</i> (Hemiptera: Vespidae)
	<i>Polybia spp.</i> (Hemiptera: Vespidae)
	<i>Orius tricolor</i> (Hemiptera: Anthocoridae)
	<i>Podisus spp.</i> (Hemiptera: Pentatomidae)
	<i>Cycloneda sanguinea</i> (Coleoptera: Coccinellidae)
	<i>Hippodamia convergens</i> (Coleoptera: Coccinellidae)
	<i>Coleomegilla maculata</i> (Coleoptera: Coccinellidae)

Entomopatógenos	<i>Bacillus thuringiensis</i> (Eubacteriales: Bacillaceae)
	<i>Nomurarea rileyi</i> (Moniliales: Moniliaceae)
	Virus poliédrico nuclear
	<i>Steinernema carpocapsae</i> (Rhabditida: Steinernematidae)
	<i>Hexamermis spp.</i> (Nematoda: Mermithidae)

La intensidad de los daños ocasionados por *S. frugiperda* aumenta considerablemente cuando sus enemigos naturales no están presentes, Figueiredo y col. (2006) reportaron pérdidas de materia seca de un 47.27% y reducciones en el rendimiento del grano de un 54.49 % en maíz híbrido BRS 3123, debidas a la ausencia de enemigos naturales de *S. frugiperda* durante las primeras semanas de cultivo.

### 1.2.5 Manejo Genético

El mejoramiento genético de las plantas es también una alternativa para el manejo de plagas. Durante el nacimiento de la agricultura en la época neolítica, uno de los sucesos fundamentales fue el hecho de utilizar las mejores semillas para la siembra y no para consumo, con esto cada año se obtenían mejores rendimientos, semillas más nutritivas y plantas de las que era posible recolectar los frutos con mayor comodidad. Gracias a estas prácticas y al empleo del entrecruzamiento de distintas variedades, se han venido desarrollando plantas que muestran un gran aumento en su productividad debido a que han adquirido capacidad de adaptación a cambios ambientales y mejor resistencia a la aparición de plagas y enfermedades. El maíz es una planta muy estudiada para el desarrollo de variedades resistentes a las infestaciones de *S. frugiperda* mediante este tipo de técnicas de cruce y selección, haciendo cruces entre las variedades más productivas y las variedades locales que se ha identificado que tienen la mayor tolerancia a sufrir daños por *S. frugiperda* (Benítez, 2005).

El manejo genético también comprende el uso de plantas genéticamente modificadas mediante técnicas biotecnológicas, a las cuales se les ha introducido ADN de otra especie mediante ingeniería genética, con el fin de que sean expresadas características que naturalmente no se presentan como la resistencia a plagas y enfermedades. Existen organismos modificados genéticamente (OMG) que han sido propuestos para disminuir las pérdidas generadas por *S. frugiperda* y evitar el empleo de insecticidas, estas plantas producen toxinas como la Cry1A, originalmente producida por la bacteria *B. thuringiensis*, un microorganismo caracterizado por ser enemigo natural del gusano cogollero (De Polanía y col. 2009), sin embargo, el éxito de esta estrategia radica en que las toxinas deben expresarse siempre en una dosis efectiva y las concentraciones de estas toxinas pueden no ser siempre las mismas por distintos factores como la variación del contenido de clorofila en los distintos tejidos de la planta. En el caso del maíz hay tejidos como las hojas nuevas (cogollo), que presentan menos clorofila en comparación con otros tejidos, en hojas nuevas las toxinas se expresan en concentraciones menores que en hojas viejas, por lo tanto, se corre el riesgo de ocasionar resistencia a largo plazo (Abel y Adamczyk, 2004).

### **1.2.6 Manejo Químico**

Este ha sido el método más común de manejo de plagas desde el inicio de la revolución verde. Desde entonces algunas sustancias sintéticas han sido empleadas para combatir al gusano cogollero del maíz. Estas sustancias se pueden encontrar en distintas presentaciones como insecticidas granulados que se colocan directamente en el cogollo, formulaciones líquidas que al ser asperjadas pueden actuar por contacto, ingestión o inhalación y otros que tienen acción sistémica y son agregados a la solución de riego. Insecticidas inhibidores de la enzima colinesterasa como el Paratión metílico y el Clorpirifos etil del grupo de los Organofosforados y como el Carbofuran, el Carbaryl y el Metomilo del grupo de los Carbamatos se han empleado contra *S. frugiperda* (Tinoco y Halperin, 1998; Zenner y col, 2006).

Los piretroides son a menudo el grupo de insecticidas más usado en contra de noctuidos, se comenzaron a producir a partir de las piretrinas en los 1960's. Dos de los piretroides que han sido empleados en el manejo de *S. frugiperda* son la

Cipermetrina y la Permetrina, las dos son fotoestables, de estructuras similares y la toxicidad de ambas en esta plaga es muy semejante, sin embargo han ido induciendo resistencia en el cogollero del maíz (Regnault 1997, Usmani y Knowles, 2001).

Actualmente también son empleados para el manejo de *Spodoptera frugiperda* insecticidas como el Flubendiamide y el Clorantraniliprol que pertenecen al grupo de las Diamidas (Bayer-BELT, 2018; Dupont, 2018).

### 1.2.7 Manejo Botánico

El uso de plantas es otra alternativa muy útil en el manejo de plagas. Existen extractos y aceites esenciales que inducen toxicidad y efectos repelentes contra insectos plaga. Algunas de estas plantas son denominadas como aromáticas por los compuestos volátiles que poseen, estos pueden actuar como repelentes, inhibidores de alimentación y larvicidas u ovicidas en algunas especies de insectos. Estos compuestos son denominados metabolitos secundarios, frecuentemente se identifican como alcaloides, polifenoles, terpenos e isoprenoides, entre otros (Regnault, 1997). Algunos de los principales grupos de metabolitos secundarios que presentan actividad biológica son alcaloides, cumarinas, esteroides y triterpenos, flavonoides, glicósidos cardiotónicos, lactonas sesquiterpénicas, taninos y saponinas (Carvajal y col. 2009).

Algunos alcaloides actúan como insecticidas específicos, pueden emplearse por sí solos o combinarse con otras sustancias como los piretroides para ejercer un efecto más potente, tienen baja persistencia en el ambiente ya que pueden ser degradados por la radiación UV (Bermúdez y col., 2008).

Actualmente algunos lepidópteros se pueden combatir con productos derivados de *Azadirachta indica* A. Juss. (árbol del Nim), donde el principal compuesto activo es la Azadiractina (AMVAC, 2018).

El extracto de *Chenopodium ambrosioides* L. (Epazote), es usado para el combate de plagas como *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Hemiptera: Aleyrodidae), *Bactericera cockerelli* (Sulc) (Hemiptera: Triozidae) y *Frankliniella occidentalis* (Pergande) (Thysanoptera: Thripidae), tiene un intervalo de seguridad sin límite entre la última

aplicación y la cosecha, además de que el tiempo de reentrada a las áreas tratadas se de 2h (Bayer-REQUIEM, 2018).

### **1.3 Uso de plantas en el manejo de plagas agrícolas**

Dentro del reino vegetal existen plantas que albergan metabolitos secundarios que les proveen resistencia contra insectos, organismos patógenos, herbívoros y otras plantas con las que pudieran competir; dichos metabolitos presentan una vasta diversidad química que debió irse originando durante el proceso de selección natural causado por los organismos antes mencionados y pueden contribuir al desarrollo de nuevas fuentes de manejo de insectos plaga. El uso de extractos vegetales para tratar plagas y enfermedades en los cultivos data desde el inicio de la agricultura, históricamente plantas de géneros como *Derris*, *Nicotiana* y *Ryania* han sobresalido por su uso para combatir plagas (Philbrick, 1984; Dubey y col., 2010; Navarro, 2013). Hay más de 2000 especies de plantas pertenecientes a más de 170 familias, que se ha identificado que son útiles como insecticidas y varias de estas plantas se han utilizado para combatir insectos plaga en cultivos y en granos almacenados (López, 1991).

El uso tradicional de plantas y sus derivados en la agricultura del continente americano se fue perfeccionando desde la época prehispánica, sin embargo, cuando los agroquímicos sintéticos fueron introducidos, su uso se fue dejando de lado. Algunos agroquímicos sintéticos no son tan biodegradables como los compuestos provenientes de plantas y muchas veces tienden a acumularse principalmente en el suelo y el agua, lo que puede ocasionar mayor toxicidad en los seres vivos que entren en contacto con sitios contaminados, además de afectar enemigos naturales e inducir resistencia en los organismos que son su objetivo (Céspedes y Alarcón, 2011).

En México durante la década de los 1980's se dio inicio a la búsqueda de plantas con propiedades insecticidas, se estima que ya se han evaluado más de 500 especies en contra de plagas que afectan granos almacenados (Lagunes, 1994; Juárez y col., 2010).

En el estado de Hidalgo hay registro de 124 especies de plantas de las que se han obtenido unos 186 productos como humo, infusiones y polvos, que se han utilizado

para combatir plagas. Estas especies pertenecen a 57 familias, las más empleadas son: Asteraceae con 19 especies y Solanaceae con nueve especies, entre las cuales destacan *Tagetes erecta* L., *Tagetes lucida* Cav. y *Nicotiana tabacum* L. (Villavicencio y col., 2010).

La Azadiractina obtenida de *A. indica*, la Rotenona extraída de plantas del género *Derris*, la Nicotina encontrada en plantas del género *Nicotiana* y las piretrinas del género *Chrysanthemum*, han demostrado ser sustancias poco tóxicas para mamíferos y muy útiles en el manejo de plagas como áfidos, mosquitas blancas, psílidos, trips y algunos lepidópteros. Este tipo de sustancias, en algunos casos denominadas como “plaguicidas botánicos”, se han visto recomendadas como una alternativa ecológica y sostenible para el manejo de plagas agrícolas debido a que presentan características como biodegradabilidad y un perfil de seguridad favorable, además de que garantizan tener actividad biológica (Martínez, 2002; Dubey y col., 2010).

El empleo de plantas y sus derivados puede resultar una alternativa importante en el control de plagas que resulta más amigable con el ambiente (Pungitore y col. 2005). Al usar plantas que se encuentran en cierta región y tienen efectos insecticidas se elige una buena alternativa para el manejo de plagas, pues son de fácil manejo y sus residuos son de vida corta (Lagunes, 1994; Juárez y col., 2010).

### **1.3.1 Familia Asteraceae en el manejo de plagas agrícolas**

Asteraceae es la familia más numerosa en el reino vegetal, se estima que se compone de unos 1500 géneros y unas 32000 especies distribuidas en todo el planeta; en México se conocen cerca de 380 de estos géneros y 3000 especies. Se encuentran de manera abundante en regiones áridas y semiáridas. En esta familia hay especies que tienen importancia alimenticia como el Girasol (*Helianthus annuus* L.), algunas son utilizadas por sus propiedades medicinales como la planta de Árnica (*Arnica montana* L.) y otras que tienen importancia agrícola como las pertenecientes al género *Chrysanthemum*, que producen piretrinas tóxicas para los insectos (Villareal y col., 1996; Heinrich y col. 1998).

En esta familia es muy común encontrar plantas que presentan actividad biológica, muchas son empleadas tradicionalmente como parte de remedios caseros para tratar enfermedades (Andrade y Heinrich, 2005).

Estas plantas han sido estudiadas también por sus propiedades insecticidas, tienen un potencial natural para usarse en el manejo de insectos plaga ya que una gran cantidad de especies producen lactonas sesquiterpénicas, algunas tóxicas y otras que no lo son pero que tienen un sabor que desagrada a los insectos e impide que se alimenten de la planta. De igual forma se han identificado alcaloides pirrolizidínicos y poliacetilenos extremadamente citotóxicos, los cuales presentan propiedades insecticidas, nematocidas, fungicidas y bactericidas (Marroquín y Domínguez, 1975; Heinrich y col., 1998; Juárez y col., 2010).

Las plantas pertenecientes a la familia Asteraceae tienen un gran potencial para ser empleadas en el manejo de plagas, sus aceites esenciales y extractos pueden presentar un extenso rango de actividades en insectos y pueden usarse para un manejo de plagas ambientalmente más seguro (Regnault, 1997).

### 1.3.2 Compuestos naturales con actividad insecticida y/o insectistática encontrados en la familia Asteraceae

En el género *Tagetes* perteneciente a Asteraceae hay especies como *Tagetes minuta* L. en la que se ha encontrado la presencia de (E)-ocimenona (Figura 9), un monoterpenoide que presenta actividad larvicida en mosquitos del género *Aedes* (Martínez, 2002).

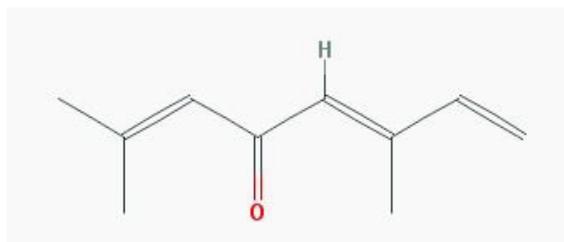


Figura 9. (E)- Ocimenona (Modificado de Martínez, 2002).

También en esta familia tenemos al género *Chrysanthemum*, nativo de Asia y el noreste de Europa, en el que hay plantas como *Chrysanthemum cinerariifolium* Vis. (Figura 10), de ella se han obtenido piretrinas, que son ésteres formados por la reacción química entre los ácidos crisantémico y pirétrico y los alcoholes piretrolona, cinerolona y jasmolona. Las piretrinas actúan en el sistema nervioso central y el sistema nervioso periférico, bloqueando las entradas de los iones sodio a los canales, lo que ocasiona convulsiones en los insectos y posteriormente la muerte (Lagunés, 1985).



Figura 10. *Chrysanthemum cinerariifolium* (TROPICOS-*Chrysanthemum*, 2018).

Las piretrinas (Figura 11) son sustancias de vida corta ya que son degradadas rápidamente por la luz y el calor. Presentan una toxicidad alta en artrópodos y baja en animales de sangre caliente. A partir de la piretrina I fueron sintetizados los insecticidas piretroides aletrina y resmetrina, moléculas más estables que las piretrinas y mucho más tóxicas para los insectos (Lagunés. 1985).

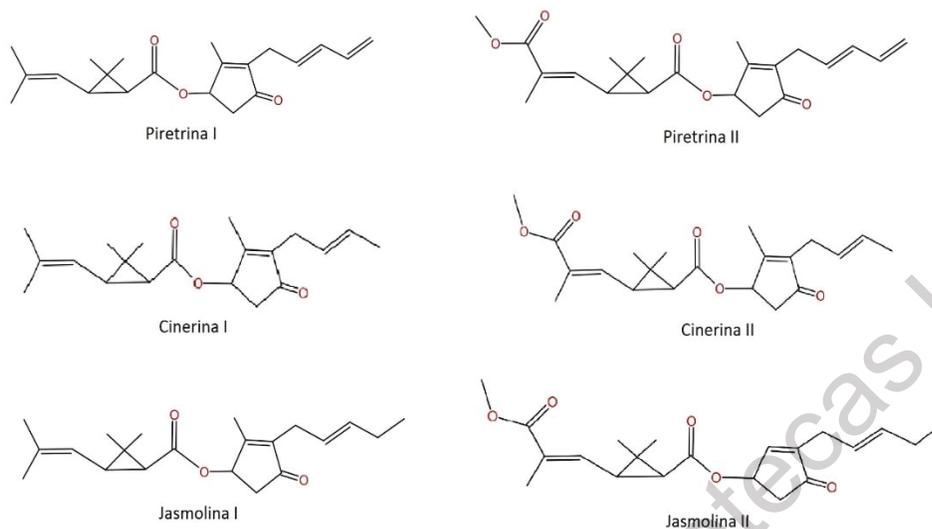


Figura 11. Piretrinas derivadas de la piretrolona, cinerolona y jasmolona (Modificado de Head, 1969; Lagunés, 1985).

Es fundamental conocer los mecanismos de acción de los compuestos naturales ya que los insecticidas sintéticos actúan de diferentes maneras y pueden afectar diferentes procesos fisiológicos en un insecto: el proceso de muda, el metabolismo estomacal, el sistema nervioso central y la cadena redox de la respiración (Viñuela y col., 1991).

#### 1.4 Género *Zaluzania* (Asteraceae)

Las plantas pertenecientes a este género son arbustivas o herbáceas, la mayoría de sus hojas se encuentran de manera alterna, tienen cabezuelas dispuestas en corimbos o panículas, sus brácteas están dispuestas de 2 a 4 series. Algunas veces presentan flores liguladas que tienen corolas amarillas o blancas, estas son mayormente fértiles. Las flores del disco son hermafroditas, sus corolas también son amarillas o blancas. Este género está integrado por diez especies encontradas en México y una en Sudamérica (Rzedowski y col., 2011; Villaseñor, 2016).

Aún se desconoce mucho sobre las funciones que pueden tener los metabolitos secundarios del género *Zaluzania*, sin embargo, se ha encontrado que estas plantas

presentan compuestos que tienen actividad antibacteriana y los tejidos aéreos pueden contener compuestos como el 13-Epimanool (Figura 12) y otros labdanos que han sido asociados con efectos insecticidas (Demetzos y Dimas 2001, Villa y col., 2013).

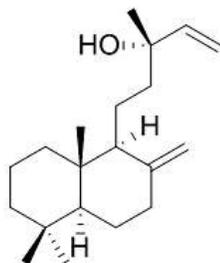


Figura 12. 13-Epimanool (ChemFaces, 2018).

#### 1.4.1 *Zaluzania augusta* (Lag.) Sch. Bip. var. *augusta*

*Zaluzania augusta* (Lag.) Sch. Bip. var. *augusta* (Cuadro 3) conocida comúnmente como “cashtinini”, “castinguini”, “chihuite”, “limpia tuna”, “vara ceniza” o “cenicilla”, es una planta nativa y endémica del centro de México (Cabrera, 2015)

Cuadro 3. Taxonomía de *Zaluzania augusta* var. *augusta* (TROPICOS-*Zaluzania*, 2018).

Reino	Plantae
Clase	Equisetopsida
Subclase	Magnoliidae
Superorden	Asteranae
Orden	Asterales
Familia	Asteraceae
Tribu	Heliantheae
Género	<i>Zaluzania</i>
Especie	<i>Z. augusta</i> (Lag.) Sch. Bip. var. <i>augusta</i>

Es una planta arbustiva-herbácea de hasta 3 m de alto, con hojas esparcidas en los tallos de manera alternada, son de color verde oscuro en el haz y color grisáceo en el envés, miden hasta 8 cm de largo y hasta 4 cm de ancho, cuneadas a redondeadas en la base, con el ápice agudo a acuminado, las cuales tienen el margen entero o dentado; tiene flores compuestas, sus cabezuelas miden hasta 1 cm de diámetro, se disponen en forma de corimbos sobre pedúnculos de hasta 4 cm de largo, pueden presentar de 10 a 14 brácteas dispuestas en dos series de tamaño subigual, lanceoladas a ovoidolanceoladas de 3 a 4 mm de largo, receptáculo cónico con páleas oblongas a obovadas de 3 a 4 mm de largo; las flores periféricas tienen vilano y se encuentran unidas a lígulas, ambas son de color amarillo, y son oblongas a elípticas de 5 a 8 mm de largo, suelen ser de 8 a 10, en el disco encontramos flores de corolas amarillas de 2 a 3 mm de largo con anteras de 1 a 1.5 mm de largo; los tallos jóvenes son densamente pubérulos (Figura 13). Forma parte de matorrales xerófilos, donde a menudo es abundante, se le encuentra habitando regiones áridas y con suelos calcáreos aunque también se le puede observar en suelos volcánicos (Calderón y Rzedowski, 2001; Rojas y Vibrans, 2011; Rzedowski y col., 2011).

Está presente en los estados de Aguascalientes, Ciudad de México, Durango, Guanajuato, Hidalgo, Jalisco, Estado de México, Michoacán, Morelos, Nayarit, Querétaro, San Luis Potosí, Tlaxcala, Veracruz y Zacatecas (Villaseñor, 2016).



Figura 13. *Zaluzania augusta* var. *augusta* (Naturalista, 2018).

*Zaluzania augusta* var. *augusta* está ampliamente distribuida en las partes más secas del valle de México, principalmente en matorrales xerófilos. Regularmente se encuentra asociada a otras especies vegetales (Figura 14), algunas de ellas son *Opuntia streptacantha* Lem. (Figura 15) y a *Mimosa biuncifera* Benth. (Figura 16) (Calderón y Rzedowski, 2001).



Figura 14. Asociación entre *Z. augusta* var. *augusta*, *O streptacantha*, *M. biuncifera* y otras especies dentro del matorral xerófilo (Fuente propia, 2017).



Figura 15. *Opuntia streptacantha* ("Nopal") (Fuente propia, 2017).



Figura 16. *Mimosa biuncifera* (“Uña de gato”) (Kleinman y col, 2007).

En *Z. augusta* var. *augusta* y *Zaluzania triloba* (Ortega) Pers. se encontraron lactonas sesquiterpénicas de tipo guaianólido denominadas zaluzaninas (Figura 17), estos compuestos figuran entre sus constituyentes principales (Romo y col., 1967; Romo-De Vivar y col., 1967). Spring y col. (1995) confirmaron la presencia de Zaluzanina C en *Zaluzania grayana* B.L. Rob. & Greenm.

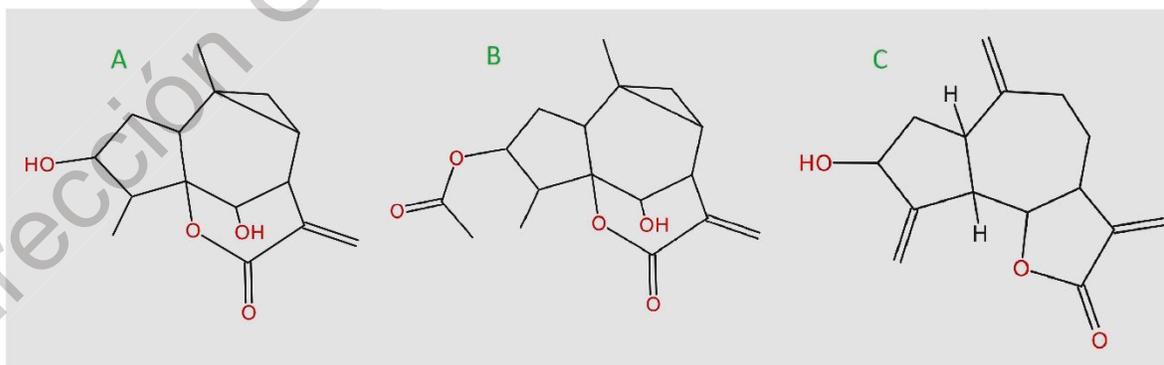


Figura 17. Estructuras químicas reportadas para las Zaluzaninas A, B y C (Modificado de Romo y col., 1967; Modificado de Romo-De Vivar y col., 1967).

La zaluzanina C ha mostrado actividad antitumoral e inhibe la elongación de la raíz y germinación en arroz (Ando y col., 1989).

*Zaluzania augusta* var. *augusta* se emplea en medicina popular en algunas partes del centro de México (Calderón y Rzedowski, 2001), ha sido reportada como una planta que es empleada en el tratamiento de la diabetes, dado que tiene potencial para bajar los niveles de glucosa (Andrade y Heinrich, 2005).

En la medicina tradicional de estados como Guanajuato y Querétaro se utilizan las hojas y las raíces de *Z. augusta* var. *augusta* para tratar distintas afecciones del sistema digestivo como dolores estomacales, gastritis y diarrea, también se emplea para eliminar parásitos intestinales y para “curar de espanto” (Cabrera, 2015).

Villavicencio y col. (2010) reportaron que el humo que se produce al quemar *Z. augusta* var. *augusta* se utiliza para fumigar gallineros infestados con “borucos”, esta planta además suele tener usos medicinales y domésticos, en los municipios de Chilcuautla y Huichapan, pertenecientes al estado de Hidalgo, México.

Con base en estos antecedentes se puede considerar a *Z. augusta* var. *augusta* como una planta que tiene potencial de poseer actividad biológica en insectos y muy probablemente sea una fuente de algunos compuestos naturales que tengan actividad insecticida y/o insectistática en *S. frugiperda*.

## **2. HIPÓTESIS**

Los extractos metanólicos de las partes aéreas de *Zaluzania augusta* var. *augusta* presentan actividad insecticida y/o insectistática en larvas de *Spodoptera frugiperda*.

### 3. OBJETIVOS

#### 3.1 General

Determinar la actividad insecticida e insectistática de los extractos metanólicos de las diferentes partes aéreas de *Zaluzania augusta* var. *augusta* en larvas de *Spodoptera frugiperda*.

#### 3.2 Específicos

- Evaluar las actividades insecticida e insectistática del extracto metanólico de las flores de *Zaluzania augusta* var. *augusta* en larvas de *Spodoptera frugiperda*.
- Evaluar las actividades insecticida e insectistática del extracto metanólico de las hojas de *Zaluzania augusta* var. *augusta* en larvas de *Spodoptera frugiperda*.
- Evaluar las actividades insecticida e insectistática del extracto metanólico de los tallos de *Zaluzania augusta* var. *augusta* en larvas de *Spodoptera frugiperda*.
- Identificar de manera cualitativa los grupos de algunos de los metabolitos secundarios presentes en los extractos.

## 4. METODOLOGÍA

### 4.1 Materiales

- 3 Matraz bola 24/40 de 1 L
- 3 Refrigerante serpentín 24/40
- Varillas de vidrio
- Tubos de vidrio
- Pipeta graduada de 10 mL
- 3 Probetas de 500 mL
- Matraces Erlenmeyer de 500 mL
- Embudo de vidrio
- Embudo Buchner
- Papel filtro Whatman No.42
- Vasos de precipitados de 500 mL
- Matraz Kitazato de 500 mL
- Mangueras de caucho
- Tapones de caucho
- Espátula
- Microespátula
- Pinzas para matraz
- Tubos de ensayo
- Pinzas para tubo de ensayo
- Gradilla
- Soporte universal
- Pinceles de pelo de camello
- Vasos de plástico #0 marca PRIMO®
- Recipientes de plástico de 0.5 L con tapa

### 4.2 Reactivos

- Agua destilada
- Metanol
- Etanol 96%

- Cloruro Férrico
- Anhídrido acético
- Cloroformo
- Ácido sulfúrico concentrado
- Hidróxido de sodio
- Ácido pícrico
- Cloruro de mercurio II
- Yoduro de potasio
- Formol
- Ácido clorhídrico
- Limaduras de Magnesio
- m-dinitrobenceno
- Maíz
- Frijol
- Levadura de cerveza
- Sulfato de neomicina
- Vitaminas comerciales
- Ácido ascórbico
- m-p-hidroxibenzoato
- Formaldehido
- Agar bacteriológico

#### **4.3 Equipos**

- Cámara bioclimática
- Bomba de vacío
- Plato caliente
- Bomba recirculadora
- Mantilla de calentamiento
- Riostato
- Evaporador rotatorio
- Balanza analítica

- Autoclave
- Molino de mano
- Licuadora

#### **4.4 Procedimiento**

##### **4.4.1 Sitio de estudio**

El presente trabajo se realizó en el Laboratorio de Compuestos Naturales Insecticidas, ubicado en la Facultad de Química de la Universidad Autónoma de Querétaro.

##### **4.4.2 Cría de *Spodoptera frugiperda* en condiciones de laboratorio**

Fueron proporcionadas masas de huevecillos por parte del Dr. Rodolfo Figueroa Brito, perteneciente al Centro de Desarrollo de Productos Bióticos (CeProBi-IPN) ubicado en la población de Yautepec en el estado de Morelos.

Las masas de huevecillos se colocaron en un recipiente limpio y esterilizado, donde permanecieron hasta la eclosión de las larvas. Después, las larvas de primer instar se colocaron con ayuda de un pincel dentro un vaso de plástico del #0 marca PRIMO (cuatro larvas por vaso) y se estuvieron alimentando con dieta preparada en base al trabajo de Bervingson y Kumar (1997), modificada por Ramos y col. en el 2010, cuya composición se indica en el Cuadro 4, posteriormente los vasos se taparon y se colocaron en una cámara climática a una temperatura de  $25^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ ;  $70\% \pm 5\%$  de humedad relativa y un fotoperiodo de luz – oscuridad de 14-10 horas; cuando las larvas alcanzaron el tercer instar se pusieron de manera individual para evitar pérdidas por canibalismo. Una vez que las larvas alcanzaron la fase pupal, se trasladaron a otro recipiente limpio y ahí se mantuvieron a las condiciones de temperatura y humedad antes mencionadas hasta la emergencia de adultos. Los adultos obtenidos se introdujeron en bolsas de papel para inducir el apareamiento y así poder conseguir las masas de huevecillos que se usaron para obtener las larvas que fueron utilizadas en los bioensayos (Ramos y col., 2010).

Cuadro 4. Ingredientes para preparar dieta para *Spodoptera frugiperda* (Modificado de Bervingson y Kumar, 1997 por Ramos y col., 2010).

Ingrediente	Cantidad para preparar 1kg de dieta
Maíz molido y esterilizado	120 g
Frijol molido y esterilizado	60 g
Levadura de cerveza	20 g
Sulfato de neomicina	0.60 g
Vitaminas	10 g
Ácido ascórbico	1.70 g
m-p- hidroxibenzoato	1.70 g
Formaldehido	2.50 mL
Agar bacteriológico	10 g
Etanol grado técnico	17 mL
Agua destilada	400 mL
Agua purificada	400 mL

#### 4.4.3 Recolección y preparación de las partes aéreas de *Zaluzania augusta* var. *augusta*

La planta fue recolectada en el municipio de San José Iturbide, Guanajuato en las coordenadas 21°01'17.2" N 100°22'50.4" O. Después de la colecta, el material vegetal fue revisado por el M. en C. José Alejandro Cabrera Luna en el Herbario de Querétaro (QMEX) "Dr. Jerzy Rzedowski", quien identificó a la especie como *Z. augusta* var. *augusta*, se dejó un ejemplar de herbario con folio QMEX 00006652 en dicha institución (Figura 18).



Figura 18. Ejemplar de herbario de *Zaluzania augusta* var. *augusta* (Fuente propia, 2016).

Se separaron de forma manual hojas, flores y tallos para deshidratarse a temperatura ambiente en un lugar fresco, seco y bajo sombra durante dos semanas. Ya secas, se molieron por separado cada una de las partes aéreas, primero con ayuda de un molino de mano y una segunda molienda se realizó con ayuda de una licuadora hasta obtener un polvo fino que fue empleado para obtener los extractos metanólicos (Figura 19).



Figura 19. Polvos obtenidos de flores, hojas y tallos de *Zaluzania augusta* var. *augusta* (Fuente propia, 2016).

#### **4.4.4 Obtención de los extractos metanólicos de las partes aéreas de *Zaluzania augusta* var. *augusta***

El procedimiento que se siguió para la obtención de los extractos metanólicos es el propuesto por Pérez y col. en el 2011.

Se colocaron 100 g de material vegetal previamente molido en un matraz bola 24/40 de 1 L y se añadieron 300 mL de metanol grado técnico, el matraz se puso sobre una mantilla de calentamiento unida a un riostato, se conectó un refrigerante serpentín 24/40 al matraz y el contenido se sometió a reflujo 4h. En el refrigerante estuvo circulando agua helada (Figura 20).

El extracto resultante se filtró con ayuda de una bomba de vacío y le fue separado el solvente empleando un evaporador rotatorio marca IKA, modelo RV 10 B S1.

El extracto se colocó en un vaso de precipitado y se sometió a baño maría para retirar los residuos de metanol que pudieran haber quedado, manteniendo siempre una agitación constante con ayuda de una varilla de vidrio.

Este procedimiento se usó para obtener los extractos de cada parte aérea y se repitió hasta obtener la cantidad de extracto suficiente para realizar los bioensayos con *S. frugiperda* y las pruebas fitoquímicas.

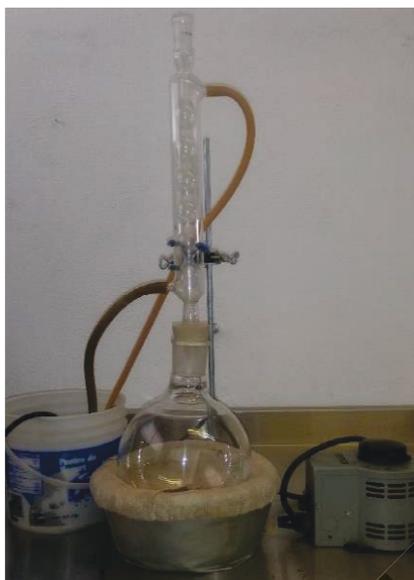


Figura 20. Dispositivo para la obtención de extractos (Fuente propia, 2017).

#### 4.4.5 Bioensayos con *Spodoptera frugiperda*

Los bioensayos se hicieron de acuerdo a la metodología empleada por Pérez y col. (2011).

Se preparó dieta para *S. frugiperda* según el Cuadro 4, a esta se le adicionó la cantidad necesaria de extracto para obtener dietas con concentraciones de 5000, 4000, 2000, 1000 y 500 ppm; esto se hizo para los tres extractos. También se preparó una dieta sin extracto alguno para un control negativo (C-) y otra a la que se le adicionó un insecticida botánico comercial a base de Azadiractina al 3% ("PHC NEEM"; Registro: RSCO-INAC-0101B-305-008-003) a una concentración de 5000 ppm como control positivo (C+).

De la cría de *S. frugiperda* se seleccionaron larvas de segundo instar, utilizando un pincel se pusieron de manera individual en vasos de plástico del #0 marca PRIMO y se les colocó un trozo de dieta. Los 17 tratamientos (cinco de cada extracto y los dos controles) tuvieron un total de 20 repeticiones cada uno.

Siguiendo un diseño completamente al azar, los vasos se taparon y fueron colocados en una cámara bioclimática a  $27 \pm 2$  ° C y  $70 \pm 5\%$  de humedad relativa, con un fotoperíodo luz-obscuridad de 14 y 10 horas respectivamente. Los tratamientos se

revisaron cada tercer día hasta que empezaron a aparecer larvas de sexto instar, a partir de este momento la revisión se hizo diariamente.

Se evaluó la duración larval y pupal, el peso pupal a las primeras 24 horas de formación y los porcentajes de mortalidad larval, pupal y acumulada.

#### **4.4.6 Pruebas fitoquímicas**

Para identificar de manera cualitativa algunos compuestos naturales presentes en los extractos metanólicos de las partes aéreas de *Zaluzania augusta* var. *augusta* se realizaron pruebas cualitativas propuestas por Rivas y col. (2016).

##### **4.4.6.1 Preparación de la muestra**

La preparación de la muestra dependió de la prueba a realizar, el procedimiento de preparación se indica en cada ensayo en particular.

##### **4.4.6.2 Ensayos para identificar metabolitos secundarios**

###### **ALCALOIDES**

###### **-Prueba de Mayer**

Se disolvieron 1.36 g de  $\text{HgCl}_2$  en 60 mL de agua y por separado 5 g de KI en 10 mL de agua, las dos soluciones se mezclaron y aforaron a 100 mL (reactivo de Mayer). Se disolvió un 1 mg de muestra con 3 mL  $\text{H}_2\text{SO}_4$  diluido y se agregaron unas gotas del reactivo de Mayer.

###### **-Prueba de Marquis**

Se agregaron 5 gotas de formol al 40% a 1 mg de muestra y después se adicionaron 3 mL de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  concentrado.

###### **CUMARINAS**

Se disolvió 1 mg de muestra en 3 mL de NaOH 10% y se impregnaron tiras de papel filtro con esta solución, las tiras se dejaron secar y se observaron en una cámara UV.

## ESTEROLES Y TRITERPENOS

-Prueba de Liebermann-Burchard

Fueron mezclados 1 mL de anhídrido acético con 1 mL de cloroformo y 3 gotas de  $H_2SO_4$  concentrado (Reactivo de Liebermann- Burchard), se añadió 1 gota del reactivo a 1 mg de muestra disuelta en 1 mL de cloroformo.

## FLAVONOIDES

-Prueba de Shinoda

A 1 mg de muestra se agregó 1mL de HCl concentrado y limaduras de Mg.

## GLICÓSIDOS CARDIOTÓNICOS

-Prueba de Raymond

Se disolvió 1 mg de muestra en 1 mL de etanol 50% y se adicionaron 2 gotas de m-dinitrobenceno al 1% en etanol, en seguida se añadieron 3 gotas de NaOH al 20% en agua.

## LACTONAS SESQUITERPÉNICAS

-Prueba de Baljet

Solución A: 1g de ácido pícrico disuelto en 100 mL de etanol.

Solución B: 10g de NaOH disuelto en 100 mL de agua.

A 1 mg de muestra le fue añadido 1 mL de la Solución A y posteriormente 1 mL de la solución B.

## TANINOS

Se disolvió 1 mg de muestra en 1 mL de etanol y se añadieron unas gotas de  $FeCl_3$  al 5% en etanol.

## SAPONINAS

1 mg de muestra fue disuelto en 1 mL de agua y se agitó vigorosamente para observar la formación de espuma.

#### **4.4.7 Análisis estadístico**

Los datos obtenidos de los bioensayos realizados se sometieron a un análisis de varianza de una vía y comparación de medias de Tukey ( $\alpha=0.05$ ), la Concentración Letal Media ( $CL_{50}$ ) de cada extracto se estimó mediante un análisis Probit. Estos análisis estadísticos fueron realizados con el software Minitab 15.

Dirección General de Bibliotecas UAQ

## 5. RESULTADOS

Al evaluar la actividad insecticida del extracto metanólico de las flores de *Z. augusta* var. *augusta* (Cuadro 5) se observó que la mortalidad larval fue estadísticamente igual al control positivo a partir de 1000 ppm, donde hubo una mortalidad larval del 100% ( $P < 0.001$ ). En el caso de la mortalidad pupal, ninguno de los tratamientos fue diferente al control negativo ( $P=0.226$ ), sin embargo, la mortalidad pupal contribuyó al aumento de la mortalidad acumulada, obteniéndose mortalidades acumuladas del 100% en tres casos. En la mortalidad acumulada solo el tratamiento de 500 ppm, que presentó una mortalidad acumulada de 30%, y el control negativo, donde hubo una mortalidad acumulada de 15%, fueron estadísticamente iguales ( $P < 0.001$ ). El extracto metanólico de las flores de *Z. augusta* var. *augusta* tuvo una  $CL_{50}$  Acumulada de 540.9 ppm en *S. frugiperda*.

Cuadro 5. Actividad insecticida del extracto metanólico de las flores de *Zaluzania augusta* var. *augusta*.

Tratamiento (ppm)	Mortalidad larval (%)	Mortalidad pupal (%)	Mortalidad acumulada (%)
5000	90 ± 6.88 a	10 ± 6.88 a	100 ± 0.00 a
4000	80 ± 9.18 a	10 ± 6.88 a	90 ± 6.88 a
2000	85 ± 8.19 a	15 ± 8.19 a	100 ± 0.00 a
1000	100 ± 0.00 a	0 ± 0.00 a	100 ± 0.00 a
500	30 ± 10.5 b	0 ± 0.00 a	30 ± 10.50 b
C -	10 ± 6.88 b	5 ± 5.00 a	15 ± 8.19 b
C+	100 ± 0.00 a	0 ± 0.00 a	100 ± 0.00 a
	$P < 0.001$	$P = 0.226$	$P < 0.001$
$CL_{50}$	717.1 ppm (-352.8 – 1399.7)		540.9 ppm (-32.5 – 954.9)

Resultados promedio de 20 determinaciones ± error estándar de la media.

C - = control negativo, C+ = control positivo,  $CL_{50}$  Concentración letal media.

En las  $CL_{50}$  se especifican entre paréntesis los límites superior e inferior de estas.

En cuanto a la actividad insectistática del extracto de las flores de *Z. augusta* var. *augusta* (Cuadro 6), se observó que la duración larval se prolongó más de lo normal en todos los casos que pudieron evaluarse, estos fueron estadísticamente diferentes al control negativo ( $P < 0.001$ ), donde hubo una duración larval promedio de 28.83 días, a 5000 ppm la duración larval se incrementó 174% respecto al control negativo. La duración pupal se incrementó 16% a 500 ppm y 25% a 4000 ppm respecto al control negativo, ambos resultados son estadísticamente diferentes al control negativo ( $P < 0.001$ ). En cuanto al peso pupal, en todos los tratamientos hubo una diferencia significativa respecto al control negativo ( $P < 0.001$ ), el peso promedio más bajo lo tuvo el tratamiento de 5000 ppm, este fue menor que el del control negativo en un 56%. Dados estos resultados se le puede adjudicar actividad insectistática al extracto metanólico de las flores de *Z. augusta* var. *augusta* en el gusano cogollero del maíz.

Cuadro 6. Actividad insectistática del extracto metanólico de las flores de *Zaluzania augusta* var. *augusta*.

Tratamiento (ppm)	Duración larval (Días)	Duración pupal (Días)	Peso pupal (mg)
5000	79.00 ± 0.00 a	*	106.50 ± 9.50 c
4000	50.50 ± 2.63 b	24.33 ± 0.88 a	175.75 ± 8.32 b
2000	70.00 ± 5.13 a	*	112.00 ± 22.30 c
1000	*	*	*
500	37.14 ± 0.99 c	22.57 ± 0.61 a	196.21 ± 9.42 b
C -	28.83 ± 0.68 d	19.35 ± 0.60 b	244.47 ± 4.95 a
C+	*	*	*
	P < 0.001	P < 0.001	P < 0.001

Resultados promedio de 20 determinaciones ± error estándar de la media.

C - = control negativo, C+ = control positivo.

Las secciones que presentan un asterisco ( \* ) no pudieron evaluarse debido a la mortalidad reportada.

En el bioensayo del extracto metanólico de las flores de *Z. augusta* var. *augusta* se observaron pesos pupales que difirieron considerablemente con respecto al control negativo (Figura 21), además se observaron deformidades en algunos de los individuos que completaron la metamorfosis hasta fase adulta (Figura 22).



Figura 21. Pupas de *Spodoptera frugiperda* en el control negativo (derecha) y en el tratamiento con el extracto metanólico de las flores de *Zaluzania augusta* var. *augusta* a 5000 ppm (izquierda) (Fuente propia, 2018).



Figura 22. Adulto de *Spodoptera frugiperda* con deformidad en alas atribuida al efecto del extracto metanólico de las flores de *Zaluzania augusta* var. *augusta* a 500 ppm (Fuente propia, 2018).

Respecto a la actividad insecticida del extracto metanólico de las hojas de *Z. augusta* var. *augusta* (Cuadro 7) se observó que el tratamiento de 500 ppm, con una mortalidad larval de 30%, fue estadísticamente igual al control negativo, con 10% de mortalidad larval, los demás tratamientos fueron estadísticamente iguales al control positivo donde hubo 100% de mortalidad larval ( $P < 0.001$ ). Por otra parte en la mortalidad pupal no hubo diferencia significativa entre los tratamientos y el control negativo ( $P = 0.055$ ). No obstante, la mortalidad pupal incrementó la mortalidad acumulada, en esta hubo diferencia significativa entre todos los tratamientos y el control negativo, sin embargo solo a partir de 1000 ppm, con un 85% de mortalidad acumulada, se observaron resultados estadísticamente iguales al control positivo ( $P < 0.001$ ). El extracto metanólico de las hojas de *Z. augusta* var. *augusta* tuvo una  $CL_{50}$  Acumulada de 592.0 ppm en *S. frugiperda*.

Cuadro 7. Actividad insecticida del extracto metanólico de las hojas de *Zaluzania augusta*.var. *augusta*.

Tratamiento (ppm)	Mortalidad larval (%)	Mortalidad pupal (%)	Mortalidad acumulada (%)
5000	100.00 ± 0.00 a	0.00 ± 0.00 a	100.00 ± 0.00 a
4000	100.00 ± 0.00 a	0.00 ± 0.00 a	100.00 ± 0.00 a
2000	70.00 ± 10.50 a	15.00 ± 8.19 a	85.00 ± 8.19 a
1000	70.00 ± 10.50 a	15.00 ± 8.19 a	85.00 ± 8.19 a
500	30.00 ± 10.50 b	20.00 ± 9.18 a	50.00 ± 11.50 b
C -	10.00 ± 6.88 b	5.00 ± 5.00 a	15.00 ± 8.19 c
C+	100.00 ± 0.00 a	0.00 ± 0.00 a	100.00 ± 0.00 a
	$P < 0.001$	$P = 0.055$	$P < 0.001$
$CL_{50}$	1034.2 ppm (687.4 – 1412.7)		592.0 ppm (218.2 – 889.4)

Resultados promedio de 20 determinaciones ± error estándar de la media.

$CL_{50}$  Concentración letal media, C- = control negativo, C+ = control positivo

En las  $CL_{50}$  se especifican entre paréntesis los límites superior e inferior de estas.

En la evaluación de la actividad insectistática del extracto metanólico de las hojas de *Z. augusta* var. *augusta* (Cuadro 8) se observó que la duración larval fue diferente al control negativo en todos los casos ( $P < 0.001$ ), sin embargo a 1000 ppm (30.67 días) también fue estadísticamente igual al control negativo (28.83 días), a 2000 ppm se observó la duración larval más grande (60.67 días), esta aumentó 110% con respecto al control negativo. En la duración pupal solo pudieron evaluarse los tratamientos de 500 y 2000 ppm, ambos estadísticamente iguales al control negativo ( $P = 0.086$ ). El peso pupal del control negativo difirió estadísticamente de todos los tratamientos ( $P < 0.001$ ), el peso pupal más pequeño correspondió al tratamiento de 1000 ppm (158.00 mg), que fue 35% menor que el del control negativo (244.47 mg). Con base en esto se puede inferir que el extracto metanólico de las hojas de *Z. augusta* var. *augusta* tiene actividad insectistática en *S. frugiperda*.

Cuadro 8. Actividad insectistática del extracto metanólico de las hojas de *Zaluzania augusta* var. *augusta*.

Tratamiento (ppm)	Duración larval (Días)	Duración pupal (Días)	Peso pupal (mg)
5000	*	*	*
4000	*	*	*
2000	60.67 ± 3.70 a	21.33 ± 2.91 a	171.80 ± 9.36 a
1000	30.67 ± 1.23 b c	*	158.00 ± 5.09 a
500	34.43 ± 1.01 b	22.00 ± 0.98 a	179.71 ± 6.64 a
C-	28.83 ± 0.68 c	19.35 ± 0.60 a	244.47 ± 4.95 b
C+	*	*	*
	$P < 0.001$	$P = 0.086$	$P < 0.001$

Resultados promedio de 20 determinaciones ± error estándar de la media.

C- = control negativo, C+ = control positivo.

Las secciones que presentan un asterisco ( \* ) no pudieron evaluarse debido a la mortalidad reportada.

En algunos individuos del gusano cogollero del maíz que fueron tratados con el extracto metanólico de las hojas de *Z. augusta* var. *augusta* se observaron deformidades en la fase pupal, dichas anomalías afectaron directamente su proceso de metamorfosis haciendo que los adultos no pudieran emerger (Figura 23).



Figura 23. Pupa de *Spodoptera frugiperda* que no completó la metamorfosis a fase adulta (Fuente propia, 2018).

Al evaluar la actividad insecticida del extracto metanólico de los tallos de *Z. augusta* var. *augusta* (Cuadro 9) se presentaron mortalidades larvales estadísticamente diferentes al control negativo en todos los tratamientos ( $P < 0.001$ ). En cuanto a la mortalidad pupal, a 500 ppm se vio el mayor porcentaje de mortalidad pupal (45%) con respecto al control negativo (5%), a 4000 y 5000 ppm no hubo mortalidad pupal ( $P < 0.001$ ). La mortalidad acumulada difirió estadísticamente del control negativo en todos los tratamientos ( $P < 0.001$ ), a 500 ppm se observó el porcentaje de mortalidad acumulada más alto (85%). El extracto metanólico de los tallos de *Z. augusta* var. *augusta* tuvo una  $CL_{50}$  Acumulada de 321.7 ppm en *S. frugiperda*.

Cuadro 9. Actividad insecticida del extracto metanólico de los tallos de *Zaluzania augusta*.var. *augusta*.

Tratamiento (ppm)	Mortalidad larval (%)	Mortalidad pupal (%)	Mortalidad acumulada (%)
5000	95.00 ± 5.00 a b	0.00 ± 0.00 b	95.00 ± 5.00 a
4000	95.00 ± 5.00 a b	0.00 ± 0.00 b	95.00 ± 5.00 a
2000	60.00 ± 11.20 b c	20.00 ± 9.18 a b	80.00 ± 9.18 a b
1000	45.00 ± 11.40 c	15.00 ± 8.19 b	60.00 ± 11.20 b
500	40.00 ± 11.20 c	45.00 ± 11.40 a	85.00 ± 8.19 a b
C -	10.00 ± 6.88 d	5.00 ± 5.00 b	15.00 ± 8.19 c
C+	100.00 ± 0.00 a	0.00 ± 0.00 b	100.00 ± 0.00 a
	$P < 0.001$	$P < 0.001$	$P < 0.001$
$CL_{50}$	1438.4 ppm (926.4 – 1939.9)		321.7 ppm (-753.9 – 946.2)

Resultados promedio de 20 determinaciones ± error estándar de la media.

$CL_{50}$  Concentración letal media, C- = control negativo, C+ = control positivo

En las  $CL_{50}$  se especifican entre paréntesis los límites superior e inferior de estas.

En la evaluación de la actividad insectistática del extracto metanólico de los tallos de *Z. augusta* var. *augusta* (Cuadro 10) se observó que en la duración larval hubo diferencias significativas entre el control negativo (28.83 días) y todos los tratamientos ( $P < 0.001$ ), a 4000 ppm y 5000 ppm los resultados también fueron estadísticamente iguales al control negativo (39 y 41 días, respectivamente), la mayor duración larval se encontró a 2000 ppm (76.37 días), esta fue 164% más grande que en el control negativo. Respecto a la duración pupal, esta no se vio muy afectada, solo los tratamientos de 4000 ppm y 5000 ppm (27 días en ambos casos) fueron estadísticamente iguales entre si y diferentes al control negativo (19.35 días), todos los demás tratamientos no tuvieron diferencia significativa con el control negativo ( $P = 0.004$ ). El peso pupal también se vio afectado, en el caso de los tratamientos de 4000 ppm (238.00 mg) y 5000 ppm (249.00 mg) se observó similitud con el control negativo (244.47 mg), los demás tratamientos tuvieron diferencia significativa con este ( $P < 0.001$ ). Cabe resaltar que en los tratamientos de 4000 ppm y 5000 ppm los resultados corresponden a una sola larva en cada caso debido a la mortalidad reportada. El extracto metanólico de los tallos de *Z. augusta* var. *augusta* demostró tener actividad insectistática en *S. frugiperda*.

Así mismo pudieron observarse deformidades en algunas pupas (Figura 24) y en el caso del tratamiento de 5000 ppm, el único individuo que completó su metamorfosis hasta la fase adulta también presentó deformidades (Figura 25).



Figura 24. Pupa de *Spodoptera frugiperda* con deformidades (Fuente propia, 2018).

Cuadro 10. Actividad insectistática del extracto metanólico de los tallos de *Zaluzania augusta* var. *augusta*.

Tratamiento (ppm)	Duración larval (Días)	Duración pupal (Días)	Peso pupal (mg)
5000	41.00 b c	27.00 a	249.00 a b
4000	39.00 b c	27.00 a	238.00 a b
2000	76.37 ± 7.41 a	20.00 ± 1.29 a b	182.10 ± 17.90 b
1000	52.36 ± 2.41 b	22.25 ± 0.88 a b	191.45 ± 6.92 b
500	61.67 ± 2.04 b	20.00 ± 1.15 a b	171.00 ± 9.71 b
C-	28.83 ± 0.68 c	19.35 ± 0.60 b	244.47 ± 4.95 a
C+	*	*	*
	P < 0.001	P = 0.004	P < 0.001

Resultados promedio de 20 determinaciones ± error estándar de la media.

C- = control negativo, C+ = control positivo.

Las secciones que presentan un asterisco (\*) no pudieron evaluarse debido a la mortalidad reportada. En los tratamientos de 4000 y 5000 ppm no se indica un error estándar en los parámetros evaluados debido a que el dato corresponde a un solo individuo.



Figura 25. Adulto de *S. frugiperda* con deformidad en alas (Fuente propia, 2018).

En los tres extractos metanólicos de *Z. augusta* var. *augusta* se confirmó la presencia de alcaloides por la prueba de Mayer, donde se observó un precipitado amarillento. Mediante el uso de radiación UV de 365 nm se pudo comprobar la presencia de cumarinas en todos los extractos (Figura 26).

Esteroles y triterpenos pudieron ser confirmados en flores y hojas por la prueba de Liebermann-Burchard.

Los flavonoides son otro grupo de compuestos naturales que pudo identificarse en las tres partes aéreas de *Z. augusta* var. *augusta* al ser positiva la prueba de Shinoda en los tres extractos metanólicos.

También se encontraron Glicósidos Cardiotónicos en las tres partes aéreas, al hacer la prueba de Raymond apareció una coloración violeta-morado en todos los ensayos. La prueba para lactonas sesquiterpénicas fue positiva en todos los casos y es muy probable que indique la presencia de Zaluzaninas y otros compuestos similares que podrían ser identificados y cuantificados posteriormente con ayuda de análisis de cromatografía y espectrometría de masas.

La prueba de cloruro férrico reveló que hay presencia de taninos en los extractos metanólicos de las tres partes aéreas de *Z. augusta* var. *augusta*.

Las saponinas solo pudieron ser identificadas en las hojas de *Z. augusta* var. *augusta*, ya que solo el extracto metanólico de las hojas mostró la formación de espuma persistente en agua.

De manera general, las pruebas realizadas para determinar cualitativamente la fitoquímica de los extractos de las distintas partes aéreas de *Z. augusta* var. *augusta* (Figura 27) revelaron que estos contienen gran variedad de sustancias con actividad biológica, lo que incrementa las posibilidades de encontrar más de una sustancia responsable de la actividad insecticida e insectistática de los extractos (Cuadro 11).

Cuadro 11. Metabolitos secundarios encontrados en los extractos metanólicos de las diferentes partes aéreas de *Zaluzania augusta* var. *augusta*.

Prueba	Flores	Hojas	Tallos
Alcaloides (Mayer)	+	+	+
Alcaloides (Marquís)	-	-	-
Cumarinas	+	+	+
Esteroles y Triterpenos (Liebermann – Burchard)	+	+	-
Flavonoides (Shinoda)	+	+	+
Glicósidos Cardiotónicos (Raymond)	+	+	+
Lactonas sesquiterpénicas (Baljet)	+	+	+
Taninos	+	+	+
Saponinas	-	+	-

+ Positivo para la prueba señalada

- Negativo para la prueba señalada

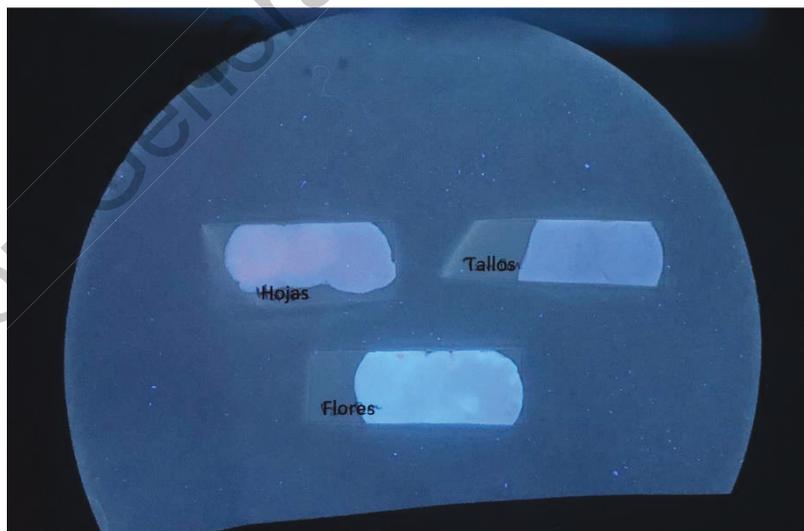


Figura 26. Prueba para identificar cumarinas en los tres extractos de *Zaluzania augusta* var. *augusta* utilizando radiación UV de 365 nm (Fuente propia, 2018).

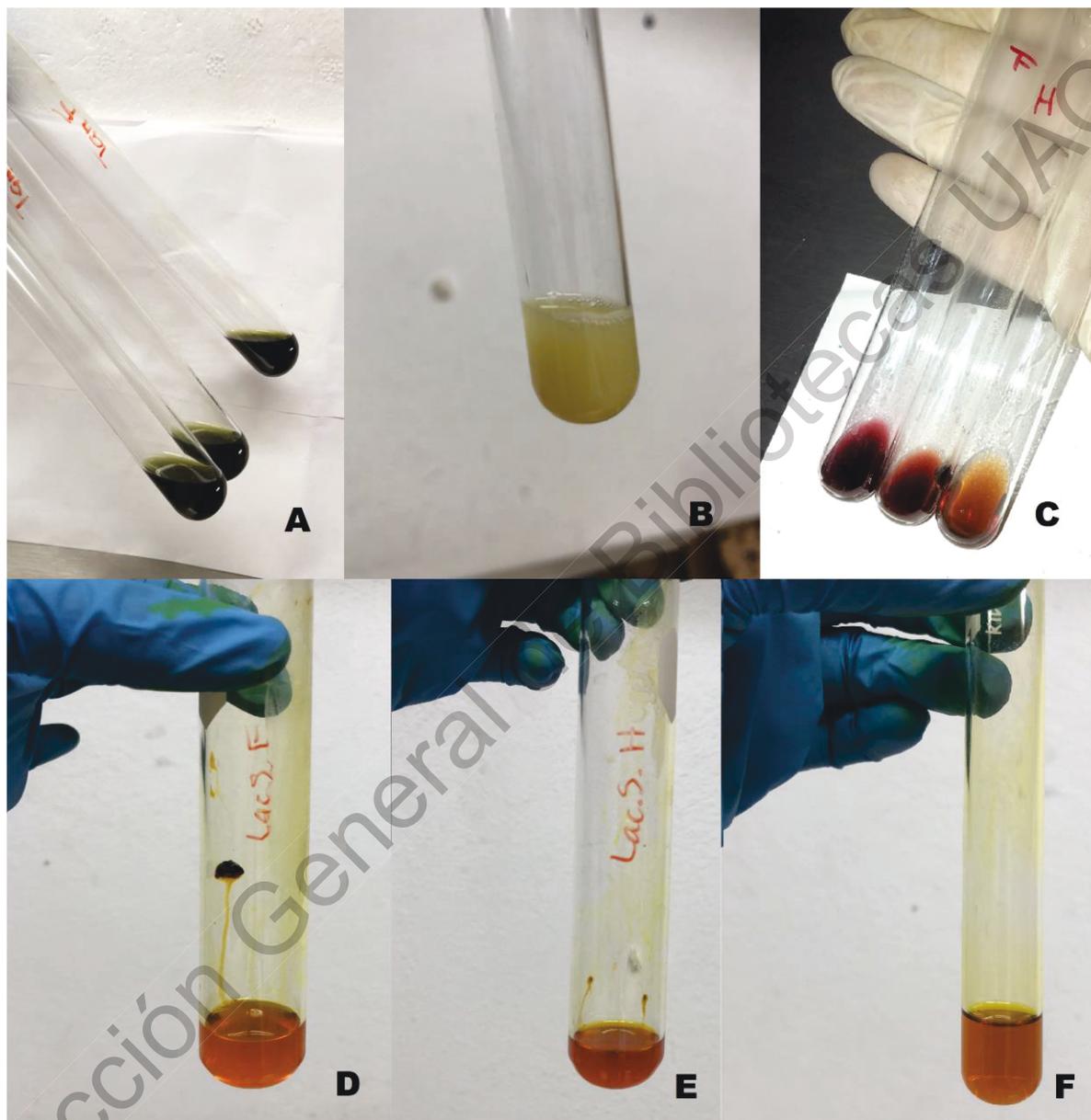


Figura 27. Pruebas cualitativas para identificar A) taninos; B) saponinas; C) flavonoides; D), E), F) lactonas sesquiterpénicas en los tres extractos de *Zaluzania augusta* var. *augusta* (Fuente propia, 2018).

## 6. DISCUSIÓN

Rodríguez y López (2001) reportaron que el polvo de la raíz de *Senecio salignus* DC. (Asteraceae) tuvo actividad insecticida sobre el gorgojo de frijol (*Zabrotes subfasciatus* (Boheman) (Coleoptera: Chrysomelidae)), con una mortalidad del 100% al usarse en una dosis de 5g/ kg de frijol.

Ramos y col. (2014) evaluaron el extracto clorofórmico de las hojas y tallos de *S. salignus* en *S. frugiperda*, reportando que a 5000 ppm este extracto ocasionó una mortalidad larval y pupal de 85% en ambos casos, con respecto a un control negativo con una mortalidad larval de 5% y una mortalidad pupal de 10%; en este trabajo, la mortalidad acumulada de los extractos metanólicos de las flores y hojas de *Z. augusta* var. *augusta* fue del 100% en ambos casos para esa concentración.

Para el caso de las Asteraceas pertenecientes a la tribu Heliantheae se han hecho algunas investigaciones, Hernández y col. (2015) estudiaron la actividad biológica del extracto etanólico de la raíz de *Heliopsis longipes* (A. Gray) S.F. Blake, planta endémica de Guanajuato, San Luis Potosí y Querétaro (Cilia y col., 2014), sobre larvas de *Aedes aegypti* (Linnaeus) (Diptera: Culicidae) y *Anopheles albimanus* (Wiedemann) (Diptera: Culicidae), reportando una mortalidad del 100% en ambos casos para el extracto a una concentración de 7 mg/L; con  $CL_{50} = 2.48$  mg/L para *Anopheles albimanus* y  $CL_{50} = 4.07$  mg/L para *Aedes aegypti*.

Algunos trabajos con el género *Zaluzania* han reportado actividad insecticida en distintas especies, tal es el caso de Cázares en el 2006, quien reportó que el aceite esencial de *Zaluzania triloba* tuvo una  $CL_{50}$  de  $0.06459$  mgcm<sup>-3</sup> en adultos de *Drosophila melanogaster* (Meigen) (Diptera: Drosophilidae), esta concentración es menor que las  $CL_{50}$  reportadas en este trabajo debido a que los aceites esenciales tienen una mayor concentración de metabolitos secundarios que los extractos orgánicos y por ende una mayor actividad insecticida.

En otro trabajo reportado por Juárez y col. (2010), se empleó 1g de polvo de las hojas de *Z. augusta* var. *augusta* en contra de adultos de *Sithophilus zeamais* (Motschulsky) (Coleoptera: Curculionidae), reportando una mortalidad de 49.3%. En esta investigación, al incluir el extracto metanólico de las hojas de *Z. augusta* var. *augusta* a 1000 ppm en la alimentación de *S. frugiperda*, se observó una mortalidad

acumulada de 85% y a partir de 4000 ppm la mortalidad registrada fue de 100%, esto confirma la actividad insecticida que posee esta parte aérea de *Z. augusta* var. *augusta*.

Hasta el momento no se han encontrado reportes en los que se haya estudiado la actividad insectistática del género *Zaluzania*, sin embargo se ha reportado este tipo de actividad en otras especies de la familia Asteraceae, tal es el caso en el que el extracto metanólico de *Mikania micrantha* Kunth disminuyó la viabilidad de los huevecillos de *Brontispa longissima* (Gestro) (Coleoptera: Chrysomelidae) (Lv y col., 2012).

Varios compuestos aislados de *Neurolaena lobata* (L.) Cass demostraron tener actividad antialimentaria en larvas de *Spodoptera litura* (Fabricius) (Lepidoptera: Noctuidae) entre ellos la neurolenina B, que indujo un 52% de disuasión alimentaria en este insecto (Passreiter e Isman, 1997).

Ramos y col. (2014) evaluaron la actividad insectistática del extracto clorofórmico de *S. salignus* en *S. frugiperda*, reportando que a 5000 ppm, este ocasionó que la duración larval y la duración pupal se extendieran 16 días y 3 días respectivamente y el peso pupal disminuyera 30%, respecto al control negativo. Posteriormente Romo (2015) reportó que el extracto metanólico de *S. salignus* en una concentración de 500 ppm hizo que la duración larval de *S. frugiperda* se extendiera 33% más que en el control negativo, además, a partir de 1000 ppm, este mismo extracto ocasionó 100% de mortalidad larval en *S. frugiperda*.

En cuanto a plantas pertenecientes a la tribu Helianteeae, Ambrosio y col. (2008) estudiaron la actividad antialimentaria del extracto en diclorometano de las hojas de *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray en *Chlosyne lacinia* (Geyer) (Lepidoptera: Nymphalidae) encontrando una disuasión alimentaria mayor a 90%, debida al uso del extracto en concentraciones desde 1%.

En este trabajo de investigación no pudieron compararse los parámetros para actividad insectistática con el control positivo ya que este presentó mortalidad larval del 100%.

Villa y col. (2018) estudiaron la composición de los aceites esenciales de las flores y las hojas de *Zaluzania montagnifolia* (Sch. Bip.) Sch. Bip. reportando que en el aceite

de las hojas se encontró una alta concentración de sesquiterpenos (>50%) donde los compuestos mayoritarios fueron germacreno D, camphor y  $\beta$ -cariofileno; en el aceite esencial de las flores se encontró una alta concentración de monoterpenos (~80%), en este caso los compuestos mayoritarios fueron camphor, limoneno y germacreno D.

En otras especies pertenecientes a Asteraceae como *Heliopsis oppositifolia* (Lam.) S. Díaz y *Jaegeria hirta* (Lag.) Less. se reportó la presencia de taninos, flavonoides, quinonas, glicósidos cardiotónicos, esteroides, lactonas terpénicas, cumarinas y alcaloides (Álvarez y col., 2013), estas sustancias podrían actuar por si solas y/o de manera sinérgica para alterar la absorción, metabolismo y excreción de otras sustancias en el organismo de *Spodoptera frugiperda*.

Villa y col. (2013) encontraron flavonoides como algunos de los principales constituyentes de extractos polares de *Zaluzania montagnifolia*.

Vandock y col. (2012) reportaron que algunos flavonoides como quercetina, morina y juglona inhiben la actividad de la transhidrogenasa mitocondrial en *Manduca sexta* (Lepidoptera: Sphingidae), afectando directamente el crecimiento, desarrollo y reproducción de este insecto.

Wang y col. (2012) dieron a conocer que algunas cumarinas tienen actividad larvicida en *Aedes aegyptii* (Diptera: Culicidae) como la Imperatorina ( $CL_{50} = 2.88 \text{ mgL}^{-1}$ ) y la Isopimpineline ( $CL_{50} = 6.82 \text{ mgL}^{-1}$ ). Sharma y col. (2006) evaluaron la cumarina murrayocin en contra de *Plecoptera reflexa* (Lepidoptera: Noctuidae) y reportaron que este compuesto a una concentración del 1% p/v ocasionó 85% de mortalidad en larvas de tercer instar de *P. reflexa* después de 72h.

En otras plantas pertenecientes a Heliantheae también se han encontrado compuestos con actividad biológica, en el extracto clorofórmico de *Encelia farinosa* A. Gray ex Torr. se encontraron lactonas sesquiterpénicas, además este extracto mostró disuasión alimentaria en *Helicoverpa zea* (Boddie) (Lepidoptera: Noctuidae) (Wisdom y col., 1983).

Los alcaloides son sustancias son conocidas por tener varios tipos de actividad biológica, pueden alterar la síntesis de proteínas, afectar el sistema nervioso e

interferir en el funcionamiento normal de la membrana celular (Robinson, 1979; Barbehenn y Kochmanski, 2013).

Las cumarinas son grupo de compuestos que posee gran variedad de actividades biológicas, incluyendo la insecticida (Sharma y col., 2006)

Passreiter e Isman (1997) dieron a conocer que lactonas sesquiterpénicas de tipo germacranolido como la neurolenina B y lobatina A tienen un posible efecto neurotóxico no agudo en algunos insectos y forman parte de los mecanismos de defensa de *N. lobata* ante la herbivoría.

Los compuestos mayoritarios reportados en las partes aéreas de *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray son lactonas sesquiterpénicas, mismas que se encuentran en mayor concentración en los tricomas del envés de las hojas de esta planta y son responsables de ocasionar efecto antialimentario en algunos insectos (Ambrósio y col., 2008).

Los taninos estuvieron presentes en los tres extractos de *Z. augusta* var. *augusta*, estos metabolitos son absorbidos en el intestino medio de los insectos y agravan potencialmente el estrés oxidativo en esos tejidos; en cuanto a las saponinas solo se pudo confirmar su presencia en el extracto de las hojas, estas sustancias son sinergistas que hacen que se incremente la absorción de otros metabolitos secundarios, algunos de ellos son inhibidores de enzimas no específicos. Las saponinas presentes en el extracto de las hojas pueden favorecer la absorción de otros metabolitos secundarios en el organismo de las larvas de *Spodoptera frugiperda*. Los taninos en combinación con alcaloides y saponinas hacen que las defensas de las plantas sean mucho más efectivas (Applebaum y Birk 1979; Berenbaum, 1985; Barbehenn y Kochmanski, 2013).

## 7. CONCLUSIONES

Los extractos metanólicos de hojas, tallos y flores de *Zaluzania augusta* var. *augusta* presentaron actividades insecticida e insectistática en *Spodoptera frugiperda*, siendo el extracto de los tallos el que tuvo la mayor actividad insecticida, seguido del extracto de las flores y finalmente del extracto de las hojas. Mientras que para la actividad insectistática, el extracto de las flores fue el que tuvo mayor actividad, seguido de los extractos de tallos y hojas respectivamente.

Los grupos de metabolitos secundarios confirmados en los extractos de *Z. augusta* var. *augusta* fueron: alcaloides, cumarinas, flavonoides, glicósidos cardiotónicos, lactonas sesquiterpénicas, taninos, saponinas, esteroles y triterpenos. Siendo el extracto de las hojas el que presentó la mayor variedad de compuestos.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

**Abel** CA, Adamczyk JJ. Relative concentration of Cry1A in maize leaves and cotton bolls with diverse chlorophyll content and corresponding larval development of fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) and southwestern corn borer (Lepidoptera: Crambidae) on maize whorl leaf profiles. *J Econ Entomol* **2004**; 97 (5): 1737-1744.

**Álvarez** JC, Duarte I, Aguirre OA, Jiménez JA. Control del vector del dengue utilizando fracciones etéreas de dos plantas (Asteraceae) como larvicidas. *Revista Salud Pública* **2013**; 15 (2): 227- 236.

**Ambrósio** SR, Oki Y, Gomes VC, Siqueira J, Dantas PCB, Espada J, Gomes M, Mouro E, Batista F. Constituents of glandular trichomes of *Tithonia diversifolia*: Relationships to herbivory and antifeedant activity. *Phytochemistry* **2008**; 69: 2052-2060.

**AMVAC**. Ecozin 3% CE [monografía en internet]. Guadalajara: Química AMVAC de México S.A. de C.V., **2018** [consultado 2018 junio 15]. Disponible en: [http://www.amvac.com.mx/site/wp-content/uploads/2016/06/ECOZIN\\_3\\_CE\\_Etiqueta.pdf](http://www.amvac.com.mx/site/wp-content/uploads/2016/06/ECOZIN_3_CE_Etiqueta.pdf)

**Andrade** A, Heinrich M. Mexican plants with hypoglycaemic effect used in the treatment of diabetes. *Journal of Ethnopharmacology* **2005**; 99: 325-348.

**Ando** M, Kusaka H, Ohara H, Takase K, Yamaoka H, Yanagi Y. Studies on the syntheses of sesquiterpene lactones, the syntheses of 3-epizaluzanin c, zaluzanin c, zaluzanin d, and related compounds. *J Org Chem* **1989**; 54: 1952-1960.

**Applebaum** SW, Birk Y. Saponins. In: Rosenthal GA, Janzen DH (eds) *Herbivores: their interaction with secondary plant metabolites*. New York: Academic Press, **1979**: 539–566.

**Barbehenn** RV, Kochmanski J. Searching for synergism: effects of combinations of phenolic compounds and other toxins on oxidative stress in *Lymantria dispar* caterpillars. *Chemoecology* **2013**.

**Bayer**. Belt 48 SC [monografía en internet]. Buenos Aires: Bayer CropScience, **2018** [consultado 2018 junio 5]. Disponible en: <http://www.bayercropscience.com.ar/sites/default/files/Marbete%20BELT%2048%20OSC.pdf>.

**Bayer.** Requiem [monografía en internet]. Ciudad de México: Bayer CropScience, **2018** [consultado 2018 junio 8]. Disponible en: <http://dunemexicali.com.mx/archivos/AGROQUIMICOS/PREOTECCION%20DE%20CULTIVOS/CONVENCIONALES/INSECTICIDAS/BAYER/REQUIEM%2025/REQUIEM%2025%20HT.pdf>.

**Benítez A.** Avances recientes en biotecnología vegetal e ingeniería genética de plantas. 2ª edición. Barcelona: Editorial Reverté, **2005**: 9-16.

**Berenbaum M.** Bremontown revisited: interactions among allelochemicals in plants. *Rec Adv Phytochem* **1985**; 19: 139–169.

**Bergvinson DJ, Kumar H.** Cría masiva de insectos en el laboratorio de entomología del CIMMYT (*Diatrea grandiosella*, SWCB; *D. saccharalis*, SBC; *Spodoptera frugiperda*, FAW y *Helicoverpa zea*, CEW). Annual Research Progress Report 1996, Maize Entomology. Appendix 7. Texcoco: CIMMYT, **1997**.

**Bermúdez K, Martínez J, Figueroa R, Wink M, Legal L.** Activity of quinolizidine alkaloids from three mexican *Lupinus* against the lepidopteran crop pest *Spodoptera frugiperda*. *BioControl* **2008**; 54: 459-466.

**Cabrera JA.** Plantas medicinales del estado de Querétaro, México; con base a ejemplares de herbario. Santiago de Querétaro: Universidad Autónoma de Querétaro, **2015**.

**Calderón G, Rzedowski J.** Flora fanerogámica del Valle de México. 2a. edición. Xalapa: Instituto de Ecología A.C. y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, **2001**:36, 770-773, 907-908.

**Carrillo JL.** Síntesis del control biológico de *Heliothis spp.* y *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) en México. *Folia Entomol Mex* **1993**; 87: 85-93.

**Carvajal L, Hata Y, Sierra N, Rueda D.** Análisis fitoquímico preliminar de hojas, tallos y semillas de cupatá (*Strychnos schultesiana* Krukoff). *Revista Colombiana Forestal* **2009**; 12: 161-170.

**Cázares J.** Actividad en *Drosophila melanogaster* y *Sitophilus zeamais* (Insecta) de aceites esenciales de plantas usadas para combatir insectos en Hidalgo. Pachuca: Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, **2006**.

**Céspedes** CI, Alarcon J. Biopesticidas de origen botánico, fitoquímicos y extractos de Celastraceae, Rhamnaceae y Scrophulariaceae. Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas **2011**; 10 (3): 175-181.

**ChemFaces**. 13-Epimanol [monografía en internet]. Wuhan: ChemFaces, **2018** [consultado 2018 junio 13]. Disponible en: <http://www.chemfaces.com/natural/13-Epimanol-CFN97997.html>.

**Cilia** VG, Aguirre JR, Espinosa G, Flores JA, Reyes JA, Juárez BI. Distribución de *Heliopsis longipes* (Heliantheae: Asteraceae), un recurso endémico del centro de México. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente **2014**; 20 (1): 47-54.

**Cisneros** F. Control de plagas agrícolas. 2ª. Edición. Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM) **1995**.

**Cruz** I, Correa ML, Braga R, Fernandes I, De Souza C, Foster JE. Using sex pheromone traps in the decision-making process for pesticide application against fall armyworm (*Spodoptera frugiperda* [Smith] [Lepidoptera: Noctuidae]) larvae in maize. International Journal of Pest Management **2012**; 58 (1): 83-90.

**Cruz** I, Figueiredo MLC, Oliveira AC, Vasconcelos CA. Damage of *Spodoptera frugiperda* (Smith) in different maize genotypes cultivated in soil under three levels of aluminium saturation. International Journal of Pest Management **1999**; 45 (4): 293-296.

**Cruz** I, Turpin FT. Efeito da *Spodoptera frugiperda* em diferentes estadios de crescimento da cultura de milho. Pesq Agropec Bras **1982**; 17 (3): 355-359.

**Demetzos** C, Dimas KS. Labdane-type diterpenes: chemistry and biological activity. Studies in Natural Products Chemistry **2001**; 25: 235-292.

**De Polanía** IZ, Arévalo HA, Mejía R, Díaz JL. *Spodoptera frugiperda*: respuesta de distintas poblaciones a la toxina Cry1Ab. Revista Colombiana de Entomología **2009**; 35 (1): 34-41.

**De Sene A.** O controle biológico de lagartas no milho é económico, não causa contaminações ambientais e de trabalhadores, é sustentável e ajuda a transformar a agricultura moderna [monografía en internet]. Ribeirão Preto: G.BIO, **2015** [consultado 2018 junio 6]. Disponible en: <http://gebio.com.br/site/campo/novo-pacote-tecnologico-para-o-controle-de-lagartas-que-atacam-o-milho/>.

**Dubey NK, Shukla R, Kumar A, Singh P, Prakash B.** Prospects of botanical pesticides in sustainable agriculture. *Current Science* **2010**; 98 (4): 479-480.

**DuPont.** Coragen 20 SC [monografía en internet]. Edo. De México: DuPont, **2018** [consultado 2018 junio 5]. Disponible en: [http://www.dupont.mx/content/dam/dupont/products-and-services/crop-protection/documents/es\\_mx/SPEC-45\\_SL%20Coragen\(R\)%2020%20SC.pdf](http://www.dupont.mx/content/dam/dupont/products-and-services/crop-protection/documents/es_mx/SPEC-45_SL%20Coragen(R)%2020%20SC.pdf).

**EMBRAPA.** *Vespa, Chelonus insularis* Cresson 1865 (Hymenoptera: Braconidae) [monografía en internet]. Sete Lagoas: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuaria, **2018** [consultado 2018 junio 4]. Disponible en: <http://panorama.cnpms.embrapa.br/insetos-praga/inimigos-naturais/parasitoides-de-ovo-larga/vespa-chelonus-insularis-cresson-1865-hymenoptera-braconidae>.

**FAO.** Ciclo biológico del gusano cogollero del maíz (en América latina) [monografía en internet]. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, **2017** [consultado 2018 junio 4]. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-i7424s.pdf>.

**Figueiredo ML, Penteado AM, Cruz I.** Relação entre a lagarta-do-cartucho e seus agentes de controle biológico natural na produção de milho. *Pesq agropec bras* **2006**; 41 (12): 1693-1698.

**García F, Mosquera AT, Vargas CA, Rojas L.** Manejo integrado del gusano cogollero del maíz *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith). Palmira: Corpoica, **1999**.

**García G, Tarango SH.** Manejo biorracional del gusano cogollero en maíz. Delicias: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), **2009**.

**González MB, Gurrola JN, Chaírez I.** Productos biológicos para el control de *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). *Revista Colombiana de Entomología* **2015**; 41 (2): 200-204.

**Heinrich** M, Robles M, West JE, Ortiz BR, Rodríguez E. Ethnopharmacology of mexican Asteraceae (Compositae). *Annu Rev Pharmacol Toxicol* **1998**; 38: 539-565.

**Hercon**. Luretape FAW material safety data sheet. Emigsville: Hercon Environmental, **2009**.

**Hernández** A, Arvizu JL, Carranza C, Gómez BE, Alvarado B, Ramírez E, Molina J. Larvicidal activity of affinin and its derived amides from *Heliopsis longipes* A. Gray Blake against *Anopheles albimanus* and *Aedes aegypti*. *Journal of Asia-Pacific Entomology* **2015**; 18: 227-231.

**Herrera** VB. *Chelonus insularis* Cresson [monografía en internet]. Cuba: EcuRed, **2018** [consultado 2018 junio 3]. Disponible en: [https://www.ecured.cu/Chelonus\\_insularis\\_Cresson](https://www.ecured.cu/Chelonus_insularis_Cresson).

**HYDROENV**. Cómo funcionan las trampas para el control de plagas [monografía en internet]. Tlalnepantla: HYDROENVIRONMENT, **2018** [consultado 2018 junio 12]. Disponible en: [https://hydroenv.com.mx/catalogo/index.php?main\\_page=page&id=191](https://hydroenv.com.mx/catalogo/index.php?main_page=page&id=191).

**ITIS**. *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith, 1797) [monografía en internet]. USA: Integrated Taxonomic Information System, **2018** [consultado 2018 junio 2]. Disponible en: [https://www.itis.gov/servlet/SingleRpt/SingleRpt?search\\_topic=TSN&search\\_value=117472#null](https://www.itis.gov/servlet/SingleRpt/SingleRpt?search_topic=TSN&search_value=117472#null).

**Juárez** BI, Jasso Y, Aguirre JR, Jasso I. Efecto de polvos de asteráceas sobre el gorgojo del maíz (*Sitophilus zeamais* Motsch). *Polibotánica* **2010**; 30: 123-135.

**Kleinman** R, Mtns B, Canyon P. *Mimosa aculeaticarpa* var. *biuncifera* [monografía en internet]. Western New México University Department of Natural Sciences, **2007** [consultado 2018 junio 2]. Disponible en: [https://wnmu.edu/academic/nspages/gilaflora/mimosa\\_aculeaticarpa.html](https://wnmu.edu/academic/nspages/gilaflora/mimosa_aculeaticarpa.html).

**Koppert**. Pherocon FAW ficha técnica. Culiacán: Koppert Biological Systems, **2018**.

**Lagunes** A. Perspectivas de los insecticidas piretroides en México. *Folia Entomológica Mexicana* **1985**; 63: 83-101.

**Lagunes A.** Extractos y polvos vegetales y minerales para el combate de plagas de maíz y frijol en la agricultura de subsistencia. Montecillo: Colegio de Posgraduados, **1994**: 35.

**León LR.** Evaluación de las actividades insecticida e insectistática de tres especies de *Salvia* en larvas de *Phyllophaga* spp., y *Spodoptera frugiperda*. Santiago de Querétaro, Querétaro: Universidad Autónoma de Querétaro, **2015**: 8.

**López V.** Especies vegetales del noreste de México para el control del gorgojo *Sitophilus zeamais* Motsch (Coleoptera: Curculionidae) en maíz almacenado. Marín: Universidad Autónoma de Nuevo León, **1991**.

**Lv C, Zhong B, Zhong G, Weng Q, Chen S, Hu M, Sun X, Qin W.** Four botanical extracts are toxic to the hispine beetle, *Brontispa longissima*, in laboratory and semi-field trials. *Journal of Insect Science* **2012**; 12 (58).

**Marín A.** Identificación de especies de lepidópteros de importancia económica en cultivo de maíz y sorgo [monografía en internet]. Celaya. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, **2018** [consultado 2018 junio 3]. Disponible en: <http://www.cesveg.org.mx/new/Descargas/Cogollero/4%20Identificacion%20de%20especies%20de%20lepidopteros.pdf>.

**Marroquín JS, Domínguez XA.** Las investigaciones fitoquímicas y sus relaciones con los herbarios. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* **1975**; 34: 147-166.

**Martínez G.** Identificación de compuestos activos en dos especies de *Tagetes* (Compositae) con toxicidad para larvas de *Aedes aegypti* L. San Nicolás de los Garza: Universidad Autónoma de Nuevo León, **2002**.

**Naturalista.** Hierba blanca (*Zaluzania augusta*) [monografía en internet]. Los Trigos: Naturalista, **2018** [consultado 2018 junio 15]. Disponible en: <https://www.naturalista.mx/observations/1306042>.

**Navarro MA.** Control de *Spodoptera frugiperda* en cultivos de maíz (*Zea mays* L) usando extractos de ají (*Capsicum annum*). *Momentos de Ciencia* 2013; 10 (2): 112-116.

**NIST.** 9-Tetradecen-1-ol,acetate, (Z)- [monografía en internet]. USA: National Institute of Standards and Technology, **2018** [consultado 2018 junio 10]. Disponible en: <https://webbook.nist.gov/cgi/cbook.cgi?ID=C16725534&Mask=200>.

**Ogolla E,** Makombe L, Nandelenga R. Fall army worm outbreak, a blow to prospects of recovery for southern Africa. FAO [serie en internet] **2017** [consultado 2018 junio 3]. Disponible en: <http://www.fao.org/africa/news/detail-news/en/c/469532/>.

**Passreiter CM,** Isman MB. Antifeedant Bioactivity of Sesquiterpene Lactones from *Neurolaena lobata* and their Antagonism by  $\gamma$ -Aminobutyric Acid. *Biochemical Systematics and Ecology* **1997**; 25 (5): 371-377.

**Pérez S,** Zavala MA, González MM, Cárdenas NC, Ramos MA. Bioactivity of *Carica papaya* (Caricaceae) against *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). *Molecules* **2011**; 16: 7502-7509.

**Polanczyk RA,** Silva RF, Fiuza LM. Isolamento de *Bacillus thuringiensis* Berliner a partir de amostras de solos e sua patogenicidade para *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). *R Bras Agrociencia* **2004**; 10 (2): 209-214.

**Pungitore C,** García M, Gianello JC, Sosa ME, Tonn CE. Insecticidal and antifeedant effects of *Junellia aspera* (Verbenaceae) triterpenes and derivatives on *Sitophilus oryzae* (Coleoptera: Curculionidae). *Journal of Stored Products Research* **2005**; 41: 433-443.

**Ramos MA,** Pérez S, Rodríguez C, Guevara P, Zavala MA. Activity of *Ricinus communis* (Euphorbiaceae) against *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). *African Journal of Biotechnology* **2010**; 9 (9): 1359-1365.

**Ramos MA,** Romo D, Martínez DE, Gaspar AS, López S, Pacheco JR. Evaluación del extracto clorofórmico de jarilla (*Senecio salignus*) contra *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). *Entomología Mexicana* **2014**; 1: 126-129.

**Regnault C.** The potential of botanical essential oils for insect pest control. *Integrated Pest Management Reviews* **1997**; 2: 25-34.

**Rivas C,** Oranday MA, Verde MJ. Investigación en plantas de importancia médica. Nuevo León: OmniaScience **2016**: 1-40.

**Rodríguez C,** López E. Actividad insecticida e insectistática de la chilca (*Senecio salignus*) sobre *Zabrotes subfasciatus*. *Manejo Integrado de Plagas*, **2001**; 59: 19-26.

**Robinson T.** The evolutionary ecology of alkaloids. In: Rosenthal GA, Janzen DH (eds) *Herbivores: their interaction with secondary plant metabolites*. New York: Academic Press, **1979**: 413–448.

**Rojas S,** Vibrans H. *Zaluzania augusta* (Lag.) Sch. Bip [monografía en internet]. México: CONABIO, **2011** [consultado 2018 junio 10]. Disponible en: <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/asteraceae/zaluzania-augusta/fichas/ficha.htm>.

**Romo D.** Actividad insectistática e insecticida de *Senecio salignus* (Asteraceae) y *Salvia microphylla* (Lamiaceae) para el control de *Spodoptera frugiperda* Smith (Lepidoptera: Noctuidae). Mexico D.F.: Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco (UAM-Xochimilco), **2015**.

**Romo J,** De Vivar AR, Nathan PJ. The constituents of *Zaluzania augusta*, the structures of zaluzanins a and b. *Tetrahedron* **1967**; **23**: 29-35.

**Romo-De Vivar A,** Cabrera A, Ortega A, Romo J. Constituents of *Zaluzania* species-II, structures of zaluzanin c and zaluzanin d. *Tetrahedron* **1967**; **23**: 3903-3907.

**Rzedowski J,** Calderón G, Carrillo P. Flora del bajío y de regiones adyacentes, fascículo 172: familia Compositae tribu Heliantheae II. Pátzcuaro: Instituto de Ecología A.C., **2011**: 365-371.

**Satorre EH.** Manejo de insectos en maíz: oportunidades y desafíos de la biotecnología para el manejo de *Diatraea saccharalis* (barrenador del tallo) y *Spodoptera frugiperda* (isoca del cogollo). Pioneer [serie en internet] **2014** [consultado 2018 junio 5]; **1**: 1-24. Disponible en [https://www.pioneer.com/CMRoot/international/Argentina\\_Intl/AGRONOMIA/Informe\\_talleres\\_manejo\\_Insectos\\_en\\_Maiz\\_Pioneer\\_2014.pdf](https://www.pioneer.com/CMRoot/international/Argentina_Intl/AGRONOMIA/Informe_talleres_manejo_Insectos_en_Maiz_Pioneer_2014.pdf).

**Sauka DH,** Benintende GB. *Bacillus thuringiensis*: generalidades. Un acercamiento a su empleo en el biocontrol de insectos lepidópteros que son plagas agrícolas. *Revista Argentina de Microbiología* **2008**; **40**: 124-140.

**Sharma R,** Negi DS, Shiu WKP, Gibbons S. Characterization of an Insecticidal Coumarin from *Boenninghausenia albiflora*. *Phytotherapy Research* **2006**; **20**: 607-609.

**Silva** RB, Cruz I, Penteado AM. First report of *Dolichozele koebelei* Viereck, 1911 (Hymenoptera: Braconidae) on larvae of *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) in maize (*Zea mays* L.) under different cropping systems. Braz J Biol **2014**; 74 (3): 218-222.

**Spring** O, Buschmann H, Vogler B, Schilling EE, Spraul M, Hoffmann M. Sesquiterpene lactone chemistry of *Zaluzania grayana* from on-line LC-NMR measurements. Phytochemistry **1995**; 39 (3): 609-612.

**Tinoco** R, Halperin DC. Poverty, production, and health: inhibition of erythrocyte cholinesterase via occupational exposure to organophosphate insecticides in Chiapas, Mexico. Archives of Environmental Health **1998**; 53 (1): 29-35.

**TROPICOS**. *Chrysanthemum cinerariifolium* [monografía en internet]. Saint Louis: Missouri Botanical Garden, **2018** [consultado 2018 junio 15]. Disponible en: <http://www.tropicos.org/Image/100499858>.

**TROPICOS**. *Zaluzania augusta* (Lag.) Sch. Bip. [monografía en internet]. Saint Louis: Missouri Botanical Garden, **2018** [consultado 2018 junio 15]. Disponible en: <http://www.tropicos.org/Name/2703492>.

**Usmani** KA, Knowles CO. Toxicity of pyrethroids and effect of synergists to larval and adult *Helicoverpa zea*, *Spodoptera frugiperda* and *Agrotis ipsilon* (Lepidoptera: Noctuidae). J Econ Entomol **2001**; 94 (4): 868-873.

**Vandock** KP, Mitchell MJ, Fioravanti CF. Effects of plant flavonoids on *Manduca sexta* (tobacco hornworm) fifth larval instar midgut and fat body mitochondrial transhydrogenase. Archives of Insect Biochemistry and Physiology **2012**; 80 (1): 15-25.

**Villa** N, Pacheco Y, Lozoya E, Rubio E, Ruíz N, Martínez Y, Cruz R, Ramírez SA, Ramón LG. Lipophilic constituents and some biological activities of hexanic extracts from *Zaluzania montagnifolia*, (SHC.BIP) SCH. BIP. (Asteraceae). Agrocienca **2013**; 47 (4): 335-346.

**Villa** N, Pacheco Y, Rubio E, Zárata JA, Castro CJ, Ramírez SA, *Zaluzania montagnifolia*: essential oil composition and biological properties. Boletín latinoamericano y del caribe de plantas medicinales y aromáticas **2018**; 17 (3): 249-258.

**Villarreal** JL, Valdes J, Villaseñor JL. Corología de las asteráceas de Coahuila, México. Acta Botánica Mexicana **1996**; 36: 29-42.

**Villaseñor** JL. Checklist of the native vascular plants of Mexico. Revista Mexicana de Biodiversidad **2016**; 87; 559-902.

**Villavicencio** MA, Pérez BE, Gordillo AJ. Plantas tradicionalmente usadas como plaguicidas en el estado de Hidalgo, México. Polibotánica **2010**; 30: 193-238.

**Viñuela** E, Budia F, Del Estal P. Los insecticidas reguladores del crecimiento y la cutícula. Bol San Veg Plagas **1991**; 17: 391-400.

**Wang** Z, Kim JR, Wang M, Shu S, Ahn YJ. Larvicidal activity of *Cnidium monnieri* fruit coumarins and structurally related compounds against insecticide-susceptible and insecticide-resistant *Culex pipiens pallens* and *Aedes aegypti*. Pest Manag Sci **2012**; 68 (7): 1041-1047.

**Wisdom** CS, Smiley JT, Rodríguez E. Toxicity and deterrence of sesquiterpene lactones and chromenes to the Corn Earworm (Lepidoptera: Noctuidae). Journal of Economic Entomology **1983**; 76 (5): 993-998.

**Wiseman** BR, Painter RH, Wassom CE. Detecting corn seedling differences in the greenhouse by visual classification of damage by the fall armyworm. Journal of economic entomology **1966**; 59 (5): 1211-1214.

**Zenner** I, Álvarez A, Barreto S. Influence of parasitism by *Chelonus insularis* Cresson (Hymenoptera: Braconidae) on the susceptibility of *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) to insecticides. Neotropical Entomology **2006**; 35 (6): 818-822.