

Universidad Autónoma de Sinaloa

**Colegio de Ciencias Agropecuarias
Facultad de Agricultura del Valle del Fuerte
Maestría en Ciencias Agropecuarias**



TESIS:

**ALTERNATIVAS BIORRACIONALES PARA EL MANEJO DEL PICUDO DEL
MAÍZ *Sitophilus zeamais* Motchulsky, 1855 (COLEOPTERA: CURCULIONIDAE)
EN CONDICIONES DE LABORATORIO**

Que para obtener el grado de Maestro en Ciencias Agropecuarias

PRESENTA:

ARTURO RAFAEL ARMENTA LÓPEZ

DIRECTOR DE TESIS:

DR. GABRIEL ANTONIO LUGO GARCÍA

CO-DIRECTOR:

DR. EUSEBIO NAVA PÉREZ

ASEORES:

DR. BARDO HELEODORO SÁNCHEZ SOTO

M.C. VICTOR GABRIEL ALMADA RUÍZ

Juan José Ríos, Ahome, Sinaloa, a julio de 2020



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SINALOA


COLEGIO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA
FACULTAD DE AGRONOMÍA CULIACÁN
FACULTAD DE AGRONOMÍA VALLE DEL FUERTE
FACULTAD DE CIENCIAS DEL MAR
FACULTAD DE AGRONOMÍA VALLE DEL CARRIZO

En la Ciudad de Culiacán Rosales, Sinaloa, el día 17 de julio del año 2020, el que suscribe Arturo Rafael Armenta López, alumno del Programa de Maestría en Ciencias Agropecuarias, con número de cuenta 0910417-8, de la Unidad Académica Facultad de Agricultura del Valle del Fuerte, del Colegio de Ciencias Agropecuarias de la UAS, manifiesta que es autor intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección del Dr. Gabriel Antonio Lugo García y del Dr. Eusebio Nava Pérez y cede los derechos del trabajo titulado “Alternativas biorracionales para el manejo del picudo del maíz *Sitophilus zeamais* Motchulsky, 1855 (Coleoptera: Curculionidae) en condiciones de laboratorio”, a la Facultad de Agricultura del Valle del Fuerte, del Colegio de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma de Sinaloa, para su difusión, con fines académicos y de investigación por medios impresos y digitales, todo esto en apego al artículo 27 de la Ley Federal de Derechos de Autor.

La Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México) protege el contenido de la presente tesis. Los usuarios de la información contenida en ella deberán citar obligatoriamente la tesis como fuente, dónde la obtuvo y mencionar al autor intelectual. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

ATENTAMENTE



Arturo Rafael Armenta López

DOMICILIO: Calle 1 av. Torocahui #596, Juan José Ríos, Guasave, Sinaloa, México.
TELÉFONO: 668-1605384
CORREO ELECTRÓNICO: aral-150494@hotmail.com
CURP: AELA940415HSLRPR06



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SINALOA


COLEGIO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA
FACULTAD DE AGRONOMÍA CULIACÁN
FACULTAD DE AGRONOMÍA VALLE DEL FUERTE
FACULTAD DE CIENCIAS DEL MAR
FACULTAD DE AGRONOMÍA VALLE DEL CARRIZO

En la Ciudad de Culiacán Rosales, Sinaloa, el día 17 de julio del año 2020, el que suscribe Arturo Rafael Armenta López, alumno del Programa de Maestría en Ciencias Agropecuarias, con número de cuenta 0910417-8, de la Unidad Académica Facultad de Agricultura del Valle del Fuerte, del Colegio de Ciencias Agropecuarias de la UAS, manifiesta que es autor intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección del Dr. Gabriel Antonio Lugo García y del Dr. Eusebio Nava Pérez y cede los derechos del trabajo titulado “Alternativas biorracionales para el manejo del picudo del maíz *Sitophilus zeamais* Motchulsky, 1855 (Coleoptera: Curculionidae) en condiciones de laboratorio”, a la Facultad de Agricultura del Valle del Fuerte, del Colegio de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma de Sinaloa, para su difusión, con fines académicos y de investigación por medios impresos y digitales, todo esto en apego al artículo 27 de la Ley Federal de Derechos de Autor.

La Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México) protege el contenido de la presente tesis. Los usuarios de la información contenida en ella deberán citar obligatoriamente la tesis como fuente, dónde la obtuvo y mencionar al autor intelectual. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

ATENTAMENTE



Arturo Rafael Armenta López

DOMICILIO: Calle 1 av. Torocahui #596, Juan José Ríos, Guasave, Sinaloa, México.
TELÉFONO: 668-1605384
CORREO ELECTRÓNICO: aral-150494@hotmail.com
CURP: AELA940415HSLRPR06

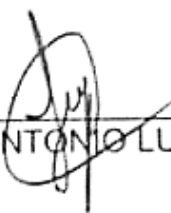
ESTA TESIS FUE REALIZADA POR ARTURO RAFAEL ARMENTA LÓPEZ, BAJO LA DIRECCIÓN DEL CONSEJO PARTICULAR QUE SE INDICA, Y HA SIDO APROBADA POR EL MISMO, COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS AGROPECUARIAS

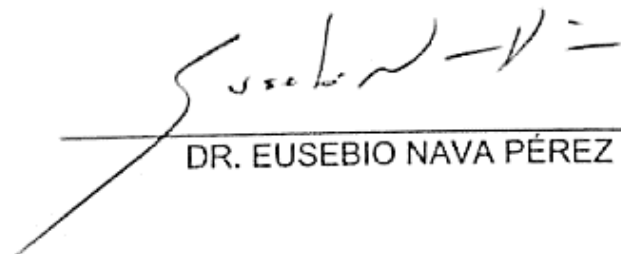
(SELLO DE
POSGRADO)

CONSEJO PARTICULAR


DIRECTOR


DR. GABRIEL ANTONIO LUGO GARCÍA

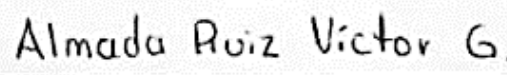
CO-DIRECTOR


DR. EUSEBIO NAVA PÉREZ

ASESOR


DR. BARDO HELEODORO SÁNCHEZ SOTO

ASESOR


MC. VICTOR GABRIEL ALMADA RUÍZ

JUAN JOSÉ RÍOS, AHOME, SINALOA, A 15 DE JULIO DE 2020



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SINALOA


COLEGIO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA
FACULTAD DE AGRONOMÍA CULIACÁN
FACULTAD DE AGRONOMÍA VALLE DEL FUERTE
FACULTAD DE CIENCIAS DEL MAR
FACULTAD DE AGRONOMÍA VALLE DEL CARRIZO

En la Ciudad de Culiacán Rosales, Sinaloa, el día 17 de julio del año 2020, el que suscribe Arturo Rafael Armenta López, alumno del Programa de Maestría en Ciencias Agropecuarias, con número de cuenta 0910417-8, de la Unidad Académica Facultad de Agricultura del Valle del Fuerte, del Colegio de Ciencias Agropecuarias de la UAS, manifiesta que es autor intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección del Dr. Gabriel Antonio Lugo García y del Dr. Eusebio Nava Pérez y cede los derechos del trabajo titulado “Alternativas biorracionales para el manejo del picudo del maíz *Sitophilus zeamais* Motchulsky, 1855 (Coleoptera: Curculionidae) en condiciones de laboratorio”, a la Facultad de Agricultura del Valle del Fuerte, del Colegio de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma de Sinaloa, para su difusión, con fines académicos y de investigación por medios impresos y digitales, todo esto en apego al artículo 27 de la Ley Federal de Derechos de Autor.

La Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México) protege el contenido de la presente tesis. Los usuarios de la información contenida en ella deberán citar obligatoriamente la tesis como fuente, dónde la obtuvo y mencionar al autor intelectual. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

ATENTAMENTE



Arturo Rafael Armenta López

DOMICILIO: Calle 1 av. Torocahui #596, Juan José Ríos, Guasave, Sinaloa, México.
TELÉFONO: 668-1605384
CORREO ELECTRÓNICO: aral-150494@hotmail.com
CURP: AELA940415HSLRPR06

DEDICATORIA

A mi madre, la Sra. Soila Neli López Villavicencio, quien me dio la vida y siempre me da su amor y apoyo incondicional, por estar conmigo en los momentos más difíciles de mi vida, y ser testigo de mis triunfos y desaciertos, sin duda uno de mis mayores ejemplos a seguir, gracias por impulsarme siempre a ser mejor. Gran parte de lo que soy, se lo debo a usted.

A mi padre, el Sr. José Arturo Armenta López, que siempre me brindo su amor y apoyo incondicional. Además, de que se esforzó por inculcarme el valor de la responsabilidad, puntualidad y esfuerzo en cada una de las cosas que hago.

A mi hija, Sofía Gabriela Armenta Corral, quien es mi luz y principal motor para trabajar de manera constante en todos los aspectos de mi vida. Además de ser la bebé más hermosa que existe, quien alegra mis días con sus ocurrencias, espero algún día te sientas orgullosa de tu padre, así como yo de ti, cada vez que te veo.

A mi hermana, Ximena Armenta López, quien es parte fundamental en mi vida y es una persona muy especial en mi vida, por ser esa niña tan bonita e inteligente que tanta ganas le pone a todo. También por ser un gran apoyo, quien está conmigo en buenos y malos momentos.

A mi familia en general, la cual siempre me tuvo palabras de aliento para mí, impulsándome a ser una mejor persona y profesional.

A mis compañeros y amigos, quienes siempre estuvieron al pendiente de mi formación y me apoyaron de manera constante.

AGRADECIMENTOS

A la Universidad Autónoma de Sinaloa, por ser una institución que ofrece educación de calidad, por formarme y ser pieza fundamental en mi formación profesional.

A la Facultad de Agricultura del Valle del Fuerte, por ser una escuela con una finalidad muy noble, la formación de profesionales del campo, por ser un punto de partida en mi carrera profesional, por su gran capacidad y actitud de servicio a todas las personas que estamos interesados por los temas agrícolas.

Al Colegio de Ciencias Agropecuarias, por admitirme y permitirme realizar mis estudios de maestría de la mano de profesionales altamente capacitados.

Al Dr. Gabriel Antonio García Lugo, por ser mi director de tesis, por su empeño y apoyo durante todo el proceso. Por ser pieza clave en la obtención de este grado, por sus enseñanzas, consejos, regaños, confianza y sobre todo su amistad.

Al Dr. Álvaro Reyes Olivas, por su apoyo durante el curso del posgrado, por compartir sus saberes, vivencias y consejos, por ser una persona noble, de la cual aprendí aspectos que van más allá de lo profesional.

Al Dr. Bardo Heleodoro Sánchez Soto, por ser una persona noble, con mucho conocimiento, por sus consejos y recomendaciones, y sobre todo el apoyo que siempre mostró hacia mi persona y mi trabajo de investigación.

Al M.C. Víctor Gabriel Almada Ruíz, por sus consejos, asesorías y apoyo fundamental en el trabajo de investigación y redacción.

Al Dr. Eusebio Nava Pérez por su disposición, nobleza y amistad, por apoyarme en la realización de mi estancia de investigación en el Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR-IPN), la cual me dejó grandes enseñanzas durante el trabajo de campo.

A todos los profesores de la FAVF, quienes compartieron sus conocimientos conmigo al impartirnos las materias que componen el programa.

CONTENIDO	PÁGINA
ÍNDICE DE CUADROS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
RESUMEN	xi
ABSTRACT	xii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1 El cultivo de maíz.....	3
2.2 El almacenamiento de maíz en México.....	4
2.3 Pérdidas postcosecha.....	5
2.4 Plagas de los granos almacenados.....	5
2.5 El picudo del maíz <i>Sitophilus zeamais</i> Motschulsky.....	7
2.5.1 Descripción del insecto	7
2.5.2 Taxonomía.....	7
2.5.3 Origen y distribución	7
2.5.4 Hospederos.....	8
2.5.5 Daños.....	8
2.5.6 Ciclo de vida.....	8
2.5.7 Descripción morfológica.....	9
2.2.7.1 Huevo.....	9
2.2.7.2 Larva.....	10
2.2.7.3 Pupa.....	10
2.2.7.4 Adulto.....	10
2.6 Manejo integrado de plagas (MIP).....	11

2.6.1 Control cultural.....	11
2.6.2 Control físico.....	12
2.6.2.1 Aireación.....	12
2.6.2.2 Secado.....	12
2.6.2.3 Humedad.....	13
2.6.2.4 Luz ultravioleta.....	13
2.6.2.5 Atmósferas modificadas.....	13
2.6.3 Control mecánico.....	13
2.6.3.1 Remoción.....	14
2.6.3.2 Trituración.....	14
2.6.3.3 Colecta de órganos infestados.....	14
2.6.3.4 Exclusión.....	14
2.6.4 Control etológico.....	15
2.6.4.1 Feromonas.....	15
2.6.4.2 Trampas cromáticas.....	16
2.6.4.3 Trampas de luz.....	16
2.6.4.4 Cebos.....	17
2.6.4.5. Extractos vegetales.....	17
2.6.5 Control legal.....	18
2.6.6 Control genético.....	19
2.6.6.1 Resistencia varietal.....	19
2.6.6.1.1 Tipos de resistencia.....	19
2.6.6.1.2 Mecanismos de resistencia.....	20

2.6.7 Control químico.....	20
2.6.7.1 Malathion.....	20
2.6.7.2 Fosforo de aluminio.....	21
2.6.7.3 Bromuro de metilo.....	21
2.6.8 Control biológico.....	22
2.6.8.1 Enemigos naturales.....	22
2.6.8.2 Tipos de control biológico.....	22
2.7 Alternativas sustentables para el manejo de plagas.....	23
2.7.1 Hongos entomopatógenos.....	24
2.7.1.1 Géneros de importancia.....	24
2.7.1.2 Especies de mayor importancia.....	24
2.7.1.3 <i>Metarhizium anisopliae</i> (Metschnikoff).....	24
2.7.1.3.1 Descripción.....	24
2.7.1.3.2 Mecanismos de acción.....	25
2.7.1.3.3 Especies plaga que controla.....	26
2.7.2. Extractos vegetales.....	26
2.7.2.1 Higuera <i>Ricinus communis</i> L.....	26
2.7.2.1.1 Descripción botánica.....	26
2.7.2.1.2 Distribución.....	27
2.7.2.1.3 Usos e importancia económica.....	27
2.7.2.1.4 Actividad biológica.....	27
2.7.2.2 Epazote <i>Chenopodium ambrosioides</i> L.....	28
2.7.2.2.1 Descripción botánica.....	28

2.7.2.2.2 Distribución.....	28
2.7.2.2.3 Usos e importancia económica.....	28
2.7.2.2.4 Actividad biológica.....	29
2.7.2.3 Eucalipto <i>Eucalyptus globulus</i> Labill.....	29
2.7.2.3.1 Descripción botánica.....	30
2.7.2.3.2 Distribución.....	30
2.7.2.3.3 Usos e importancia económica.....	30
2.7.2.3.4 Actividad biológica.....	31
2.7.2.4 Copalquin <i>Hintonia latiflora</i> Bullock.....	31
2.7.2.4.1 Descripción botánica.....	31
2.7.2.4.2 Distribución.....	32
2.7.2.4.3 Usos e importancia.....	32
2.7.2.4.4 Actividad biológica.....	32
III. HIPÓTESIS.....	33
IV. OBJETIVOS.....	33
4.1 Objetivo general.....	33
4.2 Objetivos específicos.....	33
V. MATERIALES Y MÉTODOS.....	34
5.1 Material biológico.....	34
5.1.1 Colecta e identificación taxonómica del material vegetal.....	34
5.1.2 Cría de <i>Sitophilus zeamais</i> Motschulsky, 1855.....	34
5.2 Preparación de los tratamientos.....	35
5.2.1 Extractos vegetales.....	35

5.2.1.1 Perfil fitoquímico.....	37
5.2.3 Formulación commercial de <i>Metarhizium anisopliae</i> (Metschnikoff)...	37
5.3 Diseño experimental.....	37
5.4 Parámetros a evaluar.....	38
5.4.1 Mortalidad.....	38
5.4.2 Grano dañado.....	39
5.4.3 Pérdida de peso del grano.....	39
5.4.4 Emergencia.....	40
5.5 Análisis de datos.....	40
VI. RESULTADOS.....	42
6.1 Fitoquímicos detectados.....	42
6.1 Mortalidad.....	42
6.2 Grano dañado.....	44
6.3 Pérdida de peso del grano.....	45
6.4 Emergencia.....	46
VII. DISCUSIÓN.....	48
VIII. CONCLUSIONES.....	52
IX. LITERATURA CITADA.....	53

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO		PÁGINA
1	Fitoquímicos detectados en los extractos vegetales mediante la metodología propuesta por Ugoshukwu <i>et al.</i> (2013).....	42
2	Medias de grano dañado (%) y pérdida de peso del grano (%) inducidas por la acción de <i>Sitophilus zeamais</i> Motschulsky sobre granos tratados con productos biorracionales.....	46

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA	PÁGINA
1. Principales plagas de los granos almacenados: a) <i>Sitophilus zeamais</i> , b) <i>Prostephanus truncates</i> , c) <i>Sitotroga cerealella</i> , d) <i>Plodia interpunctella</i> , e) <i>Tribolium castaneum</i> , f) <i>Cathartus quadricollis</i> , g) <i>Rhizopertha dominica</i> y h) <i>Cryptolestes ferrugineus</i>	6
2. Estados biológicos del gorgojo del maíz: a) huevo, b) larva, c) pupa y d) adulto.....	11
3. Cámara de cría de <i>Sitophilus zeamais</i> en condiciones de laboratorio.....	35
4. Plantas utilizadas para la elaboración de los extractos vegetales: a) Higuera (<i>Ricinus communis</i> L.); b) Epazote (<i>Chenopodium ambrosioides</i> L.); c) Eucalipto (<i>Eucalyptus globulus</i> Labill.) y d) Copalquin <i>Hintonia latiflora</i> (Sessé & Moc. ex DC.).....	36
5. Elaboración de los extractos vegetales: a) molienda del material vegetal; b) tamizaje del polvo obtenido; c) pesaje del material a utilizar; d) Suspensión del tratamiento con una parrilla de agitación magnética; e) separación de las fases mediante bomba de succión; f) vasos de precipitados con los extractos, etiquetados en el horno de secado; g) extractos vegetales listos para ser usados.....	36
6. Preparación del tratamiento de <i>Metarhizium anisopliae</i>	37
7. Experimento: a) tratamientos; b) homegenización de tratamientos; c) experimento montado; d) unidad experimental.....	38

FIGURA		PÁGINA
8	La mortalidad acumulada del picudo del maíz <i>Sitophilus zeamais</i> Motchulsky inducida por la aplicación de productos biorracionales muestra un comportamiento no lineal, con defunciones mínimas en el control y máximas en <i>Ricinus communis</i> L.	43
9	Funciones de supervivencia de <i>Sitophilus zeamais</i> Motschulsky en respuesta a la aplicación de productos biorracionales.....	44
10	Porcentaje de grano dañado en maíz ocasionado por <i>Sitophilus zeamais</i> Motschulsky en respuesta a la aplicación de productos biorracionales.	45
11	Reducción en el porcentaje de pérdida de peso del grano de maíz ocasionado por <i>Sitophilus zeamais</i> Motschulsky inducido por la aplicación de productos biorracionales.....	45

RESUMEN

El picudo del maíz (*Sitophilus zeamais*) es el insecto más perjudicial para este grano almacenado a nivel mundial y en México se reportan pérdidas que rebasan el 20%. Actualmente, el manejo de esta plaga en zonas rurales es rudimentario, con la finalidad de encontrar productos alternativos para su control, se evaluaron productos de bajo costo e impacto ambiental, como lo son: *Metarhizium anisopliae* (fórmula comercial) y extractos etanólicos de semilla de *Ricinus communis*, de hoja *Eucalyptus globulus* y *Chenopodium ambrosioides* y de cáscara de *Hintonia latiflora* a una concentración de 20% p/v. El bioensayo se estableció bajo un diseño completamente al azar, con 4 repeticiones, cada unidad experimental consistió en 100 granos impregnados con los productos en frascos de plástico con 10 parejas de picudos previamente sexados. Las variables evaluadas fueron la mortalidad, grano dañado, pérdida de peso del grano y emergencia. Todos los tratamientos resultaron significativamente diferentes del control para todas las variables, lo que significa que todos los productos alternativos tuvieron un efecto positivo, aunque cabe resaltar que *R. communis* fue el mejor tratamiento al inducir una mortalidad del 100%, grano dañado del 3%, pérdida de peso del grano del 0.75% y emergencia del 0%.

Palabras clave *Ricinus communis*, *Metarhizium anisopliae*, *Hintonia latiflora*, *Eucalyptus globulus*, *Chenopodium ambrosioides*

ABSTRACT

The maize weevil (*Sitophilus zeamais*) is the most harmful insect for this grain stored worldwide and in Mexico reports losses that exceed 20%. Currently, the management of this pest in rural areas is rudimentary, with the determination to find alternative products for its control, evaluate products of low cost and environmental impact, such as: *Metarhizium anisopliae* (commercial formula) and ethanolic extracts of *Ricinus communis* seed, of leaf *Eucalyptus globulus* and *Chenopodium ambrosioides* and of shell of *Hintonia latiflora* at a concentration of 20% w / v. The bioassay was established under a completely randomized design, with 4 repetitions, each experimental unit consisted of 100 grains previously impregnated with the products in plastic jars with 10 pairs of previously sexed weevils. The variables evaluated were mortality, damaged grain, weight loss of the grain and emergency. All treatments were different from the control in all variables, which means that all alternative products had a positive effect, although it should be noted that *R. comunis* was the best treatment by inducing a mortality of 100%, damaged grain of 3%, 0.75% grain weight loss and 0% emergency.

Key Words *Ricinus communis*, *Metarhizium anisopliae*, *Hintonia latiflora*, *Eucalyptus globulus*, *Chenopodium ambrosioides*.

I.INTRODUCCIÓN

El maíz (*Zea mays* L.), es un cultivo de importancia económica. México se considera el centro de origen, domesticación y diversificación de esta especie (Paliwal, 2001) y a nivel mundial ocupa el décimo lugar en producción (FAOSTAT, 2019). Sinaloa es el principal estado productor del país, en el año 2018 se establecieron 524,700 ha, de las cuales se obtuvo una producción de 5,818,055.66 t y un rendimiento promedio de 11.10 ha⁻¹ (SIAP, 2020). El grano, en su mayoría se industrializa para obtener subproductos, como harina, almidón, aceite, botanas para el consumo humano y la elaboración de alimentos balanceados para el ganado (Fernández, *et al.*, 2013). Otra parte de las cosechas se utiliza para elaborar platillos típicos de la gastronomía mexicana (Mestries, 2009).

El manejo postcosecha de granos y semillas cobró gran relevancia en la población humana, desde que la actividad agrícola pasó de ser de subsistencia a un enfoque comercial, en este momento, surgió la necesidad de mantener la calidad de las cosechas por tiempo prolongado, con la finalidad de transportar estos productos a largas distancias y alimentar a grandes ciudades, disponer de alimentos en épocas de escasez, o bien, para esperar una alza en el precio de venta (Mummert, 1987). La conservación adecuada de los granos se asegura mediante la ejecución de actividades de limpieza, secado, selección, desinfección y almacenamiento en sitios herméticos, en donde se controla la humedad y temperatura (Lindblad y Druben, 1986; Riveros, 2006).

A pesar de lo anterior, las pérdidas postcosecha de este grano oscilan entre el 20 y 40% en países en vías de desarrollo y son ocasionadas por diversos factores, entre los que destaca la presencia de plagas, las cuales son las causantes de la pérdida de peso y disminución de la calidad alimenticia y comercial del producto (García *et al.*, 2003). Desde hace años, se conocen algunas prácticas para prevenir y disminuir el daño por plagas

en los granos, algunas de las implementadas por los mayas son: la utilización de variedades criollas amarillas, planificación de las cosechas con base en el calendario lunar y la incorporación de hojas de *piper auritum* (Morales *et al.* 2010).

Las principales plagas que afectan al maíz almacenado son la palomilla dorada (*Sitotroga cerealella*), el barrenador pequeño de los granos (*Rhyzoperta dominica*) y el gorgojo del maíz (*Sitophilus zeamais*) (García *et al.*, 2007). Este último es el principal insecto plaga que daña al maíz durante el almacenamiento, tanto adultos como larvas se alimentan del grano, disminuyen el peso y la calidad (Arias, 1983).

Actualmente el manejo de este insecto se realiza con insecticidas de alto impacto ambiental, como el fosforo de aluminio, malatión y bromuro de metilo (Nava *et al.*, 2010), que provocan resistencia a los insectos, daños a la salud humana y medio ambiente (Dietz, 1991; Tapia, 2000; Trujillo *et al.*, 2011).

Ante los perjuicios ocasionados a la salud humana y ambiental por el uso indiscriminado de plaguicidas sintéticos, es necesario implementar el uso de productos alternativos para el manejo de estas plagas, tales como el uso de extractos vegetales y hongos entomopatógenos (Guédez *et al.*, 2008; Mota *et al.*, 2011; Nava *et al.*, 2012). Algunos de ellos se han evaluado, obteniendo resultados favorables con su aplicación, pero es recomendable realizar más estudios para disponer de diversas herramientas para su manejo.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. El cultivo de maíz

El maíz (*Zea mays* L.) pertenece a la familia Poaceae, cuyo origen es Mesoamérica (México y Guatemala), y sus registros oscilan de los años 8000 – 600 A.C (Wilkes y Goodman, 1995). Este cultivo se considera el segundo más importante en cuanto a producción mundial (Paliwal, 2001). México, en el año 2018 produjo 21,185,003 ton, por lo que ocupa el décimo lugar en la producción de este grano a nivel global (FAOSTAT, 2020). Los principales estados productores son: Jalisco, México, Chihuahua, Guanajuato, Michoacán y Sinaloa (SIAP, 2020).

Sinaloa se conoce como el granero de México (Del Palacio, 2009), y el principal productor de este cereal, durante el 2018, se establecieron 524,700 ha, donde se obtuvo una producción de 5,818,055.66 ton, lo que representa más de una cuarta parte de la producción nacional. El rendimiento promedio en este estado es el más elevado en nuestro país y se encuentra en 11.2 ton/ha⁻¹ (SIAP, 2020).

El grano de maíz es un producto muy versátil que se utiliza de diferentes formas, como verdura, o nixtamalizado para la elaboración de tortillas, gorditas, tamales, pozole, pan y tostadas. Además se usa en la industria alimenticia, donde se obtiene aceite, botanas, harinas, cereales procesados, yogurth, dulces, jugos, pasteles y alimento de uso pecuario. Otros usos industriales son la elaboración de cosméticos, papel, farmacéuticos, porcelanas, alcoholes, lubricantes textiles, papel, pinturas, hules y combustibles como el bioetanol (FAO, 2006; Perales y Hugo, 2009).

México, a pesar de ser uno de los principales productores de maíz, no satisface la demanda total de su población, situación que pone en riesgo su seguridad alimentaria, debido a que la FAO recomienda que un país debe producir al menos el 75% de lo que consume (Curiel, 2013), esto ha ocasionado que se convierta en el segundo país importador de este cereal a nivel mundial, solo por debajo de Japón (ASERCA, 2012).

2.2. El almacenamiento de maíz en México

El maíz es la base de la dieta de los mexicanos, quienes son los principales consumidores de este producto a nivel mundial. En su dieta representa el 30% de las calorías que ingieren diariamente y el consumo per cápita anual es de 120 kg, lo cual resulta muy superior al promedio mundial de 17 kg. Por lo anterior, es clave conservar el grano en las mejores condiciones para garantizar su disponibilidad (FAOSTAT, 2013).

En la actualidad, la seguridad alimentaria se ve amenazada por la falta de cuidado en el almacenamiento de los productos agrícolas, por lo tanto, es fundamental que los productos estén a disposición de los compradores, para satisfacer las necesidades básicas de los consumidores (Lindblad y Druben, 1986). El deterioro de granos y semillas ocurre una vez que la semilla alcanza su punto óptimo de desarrollo, debido a que estos comienzan a experimentar una serie de cambios degenerativos que resultan irreversibles, mismos que provocan la pérdida de germinación y vigor de estas estructuras (Anderson, 1954).

La calidad de los granos depende de un proceso adecuado de conservación, el cual incluye las propiedades físicas, químicas y biológicas del grano al momento del almacenamiento, así como del tiempo que dure el producto en la bodega (Jian y Jayas, 2012). En México, los almacenes suelen estar equipados con infraestructura moderna y eficiente, lo que conlleva a un manejo eficiente y adecuado del grano, por otra parte, el 50% de las bodegas son pequeñas y con equipamiento muy rústico, lo cual pone en riesgo la calidad y disponibilidad del producto, motivo por el cual es necesario impulsar programas enfocados al almacenamiento de granos y semillas, además establecer un programa de apoyos, el cual debe de variar de acuerdo a la tipología y nivel de tecnificación de los almacenes (Ortiz *et al.*, 2015).

El maíz es la base de la dieta de los mexicanos, quienes son los principales consumidores de este producto a nivel mundial. En su dieta

representa el 30% de las calorías que ingieren diariamente y el consumo per cápita anual es de 120 kg, lo cual resulta muy superior al promedio mundial de 17 kg. Por lo anterior, es clave conservar el grano en las mejores condiciones para garantizar su disponibilidad (FAOSTAT, 2013).

2.3. Pérdidas postcosecha

En México, las pérdidas en postcosecha de maíz oscilan entre el 4 y el 25% en base a los reportes realizados por Ramírez (1974) hasta registros publicados por SAGARPA (2008) que reportó que las pérdidas son entre el 10 y 15% y están asociadas a los procesos de cosecha, almacenamiento y transporte. Mientras que ASERCA (2009) informó que las pérdidas en la producción de cultivos básicos como el maíz, trigo y frijol varían del 5 al 25%.

Pingali y Pandey (2001) determinaron que la infertilidad de suelo y los insectos en postcosecha ocasionan pérdidas en la producción y almacén de maíz en todo el mundo. A estos últimos, se les atribuyó la responsabilidad de las pérdidas del 20% durante el almacenamiento de este grano.

2.4. Plagas de los granos almacenados

Los granos y semillas, como el maíz, frijol (*Phaseolus vulgaris*), sorgo (*Sorghum vulgare*), garbanzo (*Cicer arietinum*), soya (*Glycine max*), entre otros, suelen ser almacenados después de ser cosechados, para su posterior uso en la alimentación o como semilla botánica. El resguardo de grandes volúmenes de estos productos constituye un atractivo nicho para insectos, cuya base alimenticia la integran estos alimentos, los cuales al perjudicar la producción agrícola, son catalogados como plagas, mismas que además de alimentarse, también contaminan y reducen la calidad de la producción (García *et al.*, 2003).

El ataque de plagas de almacén puede clasificarse como infestaciones primarias y secundarias, las primeras hacen referencia al daño ocasionado a granos sanos, sobre los cuales se inicia una nueva generación para la búsqueda de nuevos granos y las segundas hacen alusión a aquellas

que infestan a productos que han sufrido algún daño físico previo por una plaga primaria, esto debido a que sin el ataque de esta, no son capaces de penetrar la capa protectora de la semilla (García *et al.*, 1994).

Las principales especies de insectos que afectan al maíz en almacenamiento son: el gorgojo del maíz (*Sitophilus zeamais*), el barrenador grande del grano (*Prostephanus truncatus*) y la palomilla dorada del maíz (*Sitotroga cerealella*). Existen otras especies que se encuentran de manera menos frecuente y afectan en menor medida el grano como: la polilla india de la harina (*Plodia interpunctella*), el gorgojo castaño de la harina (*Tribolium castaneum*), el gorgojo de cuello cuadrado (*Cathartus quadricollis*), el barrenador pequeño de los granos (*Rhizopertha dominica*), el gorgojo rojo de las harinas (*Cryptolestes ferrugineus*), entre otras (Domínguez *et al.*, 2010).

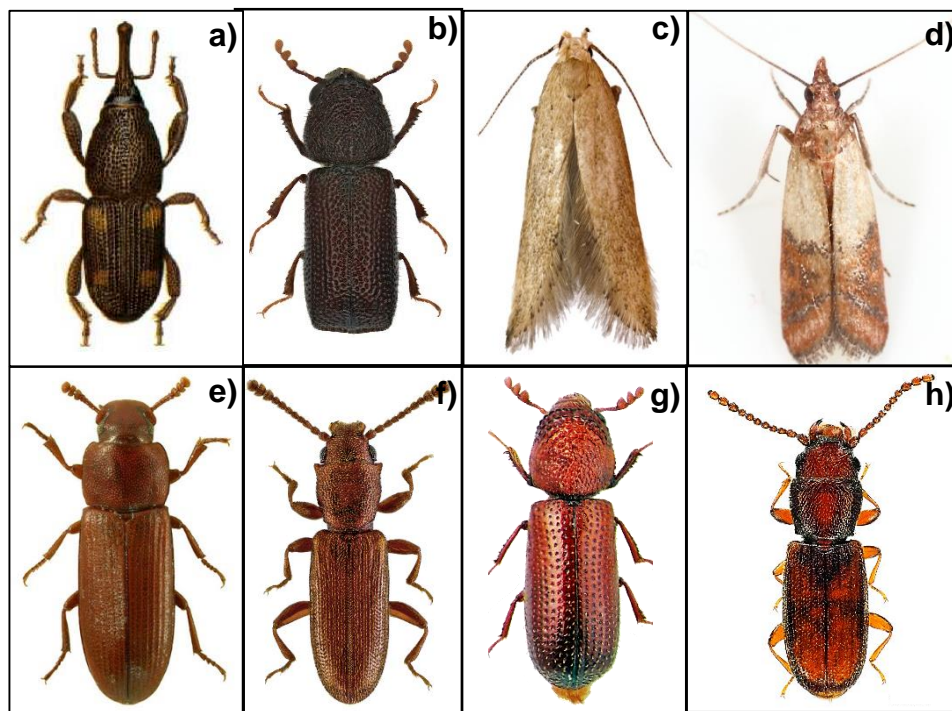


Figura 1. Principales plagas de los granos almacenados: a) *Sitophilus zeamais*, b) *Prostephanus truncatus*, c) *Sitotroga cerealella*, d) *Plodia interpunctella*, e) *Tribolium castaneum*, f) *Cathartus quadricollis*, g) *Rhizopertha dominica* y h) *Cryptolestes ferrugineus*.

2.5. El gorgojo del maíz (*Sitophilus zeamais*)

2.5.1. Descripción del insecto

El gorgojo del maíz, en estado adulto, es de color café a negruzco, mide de 2.5 a 4 mm de largo, posee antenas en forma de codo. Es un volador activo, el pronoto tiene una longitud similar a la de los élitros, estos últimos tienen ranuras longitudinales y presentan 4 manchas rojizas. Se diferencia del gorgojo del arroz por los genitales, porque es de menor tamaño y poco volador (Ortega, 1987; Matute y Trabanino, 1999).

2.5.2. Taxonomía

Borror *et al.* (1979) ubicaron taxonómicamente a *Sitophilus zeamais* de la siguiente manera:

Reino: Animal.

Phylum: Arthropoda.

Clase: Insecta.

Subclase: Pterygota.

Orden: Coleóptera.

Suborden: Polyphaga.

Superfamilia: Curculionoidea.

Familia: Curculionidae.

Subfamilia: Rhynchophorinae.

Género: *Sitophilus*.

Especie: *Sitophilus zeamais*.

2.5.3. Origen y distribución

Según Metcalf y Flint, (1982) *Sitophilus zeamais* es originario de la India, se distribuyó por todo el mundo, y se considera una plaga cosmopolita. Este insecto se ubica preferentemente en zonas cálidas húmedas, tropicales

y subtropicales (Cubillos, 1983). En México, se ha reportado con una incidencia de 80%, lo que significa que esta plaga se encuentra presente de manera frecuente en los almacenes de granos en nuestro país (García *et al.* 2003), por su parte García (1992), reportó que esta especie se encuentra distribuida ampliamente en el país, principalmente en los estados con mayor producción de maíz, como Aguascalientes, Campeche, Coahuila, Estado de México, Guerrero, Michoacán, Morelos, Oaxaca, Puebla, Quintana Roo, Tabasco, Veracruz y Yucatán.

2.5.4. Hospederos

El gorgojo del maíz se alimenta de cereales, en su estado larval y adulto se alimenta activamente de granos de trigo maíz, sorgo, cebada, avena y centeno. Aunque además, se ha encontrado que de forma ocasional, consumen semillas fabáceas como el garbanzo y cacahuete. También se les ha observado, nutriéndose de tamarindo y productos provenientes de la industria como fideos y galletas (FAO, 2019).

2.5.5. Daños

Sitophilus zeamais es un insecto perteneciente a la familia Curculionidae que causa daños severos a los granos almacenados y es considerado, a nivel mundial, la plaga más importante del maíz en poscosecha, debido a que provoca pérdidas que oscilan entre el 70 y 90% de la producción. En México, induce los principales daños durante el almacenamiento del grano (García-Lara *et al.*, 2003), mientras que, Pérez (1993) sostiene que las pérdidas calculadas en el país rebasan el 20%.

2.5.6. Ciclo de vida

El ciclo biológico de *Sitophilus zeamais* se completa en 35 días en promedio (Hinton y Corbet, 1995). Por lo general, las infestaciones comienzan en campo, cuando el grano posee el 20% de humedad. En primer lugar, la hembra adulta después de la cópula y de un periodo de oviposición que va de 3-5 días, localiza un grano, donde mastica repetidamente hasta

formar un hoyo, en el cual oviposita solo un huevecillo por hueco, que enseguida rellena y sella mediante la secreción y aplicación de una sustancia mucilaginosa (Longstaff, 1981).

Las hembras ovipositan alrededor de 250-400 huevecillos durante toda su vida, suelen depositar más de un huevo por grano, aunque no manifiestan preferencia por alguna zona de este. Los huevecillos eclosionan en un periodo de 6-8 días, dando lugar a larvas ápodas de color blanquecino que se alimentan vorazmente del endospermo de la semilla (Dell ' Orto y Arias, 1985).

Las larvas presentan cuatro instares, los cuales se desarrollan en su totalidad dentro del grano. Debido al canibalismo que presentan las larvas, solo uno llega a su madurez, esta ocurre cuando la larva alcanza un tamaño aproximado de 4 mm, en un período de 20 días posteriores a la eclosión. Al finalizar el ciclo de la larva del cuarto instar secreta una mezcla de sustancias para cerrar el grano y así formar la celda pupal. Una vez encerrada la larva, esta es considerada como pre-pupa, a partir de la cual se origina en un corto plazo la pupa (Longstaff, 1981).

Después, los adultos emergen de la pupa y se mantienen dentro del grano por unos días, y enseguida salen de este cortando agujeros circulares en el epicarpio y alimentándose nuevamente de la semilla. El ciclo de vida puede extenderse o acortarse, según la temperatura y la humedad a la cual se desarrolle, fluctuando entre 30 y 113 días, lo que sugiere la presencia de 2 o 3 generaciones al año (García y Bergvinson, 2007).

2.5.7. Descripción morfológica

2.5.7.1. Huevo

Se desarrollan al interior del grano, son periformes u ovoides, miden 0.7 mm de largo y 0.3 mm de ancho en promedio, van de un color blanco aperlado a café claro, según su madurez (Figura 2). Se observa ensanchado de la parte media hacia abajo (Gutiérrez, 1990).

2.5.7.2. Larva

Son ápodas, robustas y pequeñas, miden alrededor de 2.5 a 2.75 mm, son de color blanco aperlado, poseen cápsula cefálica de color café claro y cabeza color oscuro (Figura 2), la forma de su cuerpo es recurvada y se encuentran normalmente alimentándose de forma voraz al interior de los granos (Gutiérrez, 1990).

2.5.7.3. Pupa

Es de tipo exarata y mide 5 mm (Figura 2). En su etapa inicial es de color blanco pálido y tiende a tornarse color café claro en las últimas, se encuentra dentro del grano (Gutiérrez, 1990).

2.5.7.4. Adulto

El adulto mide de 2.5 a 4 mm, según el tamaño de la semilla de donde emerja, es de color café a negro y de color rojizo recién emergido. Son cilíndricos y alargados, presenta cabeza prolongada en forma de pico o proboscis curva y delgada (rostrum) y antenas acodadas y de 8 segmentos, rasgo característico de algunos curculiónidos. Tiene alas funcionales, protórax densamente marcado y posee un par de manchas oblicuas anaranjadas en cada élitro (Pérez, 1988; Gutiérrez. 1990). Es de apariencia morfológica y color similar al gorgojo del arroz *Sitophilus oryzae* (Arias, 1983).

Existe dimorfismo sexual, la diferencia radica en que la hembra posee un rostrum más delgado y largo, con puntos distribuidos en un patrón regular, mientras que los machos, presentan el rostrum más corto, robusto y con puntuaciones que presentan una distribución irregular (Halstead, 1963; Rees, 2004).

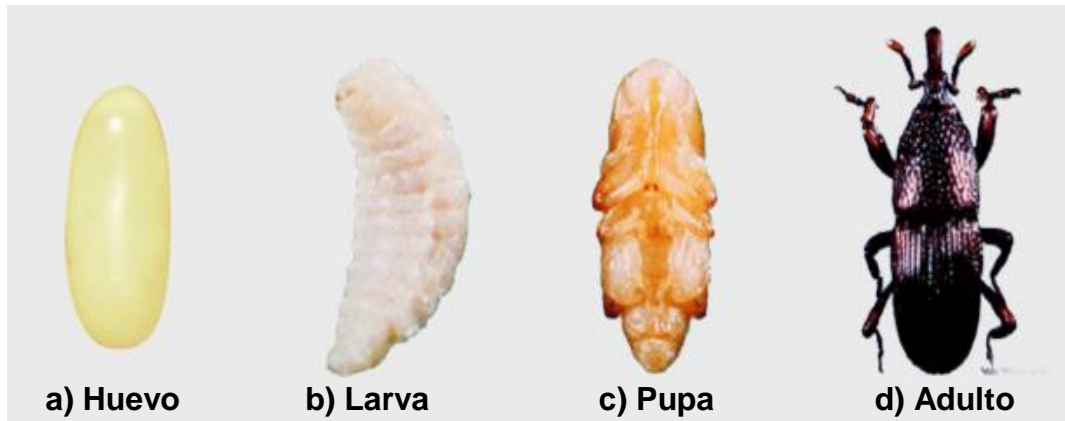


Figura 2. Estados biológicos del gorgojo del maíz: a) huevo, b) larva, c) pupa y d) adulto.

2.6. El manejo integrado de plagas (MIP)

Se le denomina manejo integrado de plagas a un sistema enfocado a la regulación de insectos plaga en cultivos y productos almacenados, dentro de un contexto que considera al medio ambiente y la dinámica de poblaciones del organismo perjudicial, utilizando todas las técnicas y métodos necesarios, compatibles y fáciles de manejar para mantener las poblaciones de las plagas a niveles bajos, en donde no ocasionen daños económicos, además, no prohíbe el uso de plaguicidas, solo que considera el control químico como la última opción de control (Smith y Reynolds, 1966).

2.6.1. Control cultural

Este tipo de control comprende a todas aquellas actividades que el hombre practica para tener un buen saneamiento y prevenir la presencia de plagas en la medida de lo posible, algunas de las acciones que comprende son las siguientes:

- Saneamiento de compartimentos, equipo, paredes, piso, techo y cualquier repisa utilizando detergentes biodegradables y de buena calidad y desinfectantes efectivos.
- Mantener limpio los alrededores de los compartimentos.

- Examinar constantemente los compartimentos para detectar y eliminar fugas
- Evitar la presencia de polvo para evitar la presencia de ácaros en el grano.
- Mantener en áreas separadas el grano viejo y el nuevo, dando prioridad a la salida del primero, para que el más reciente no se contamine.
- Rechazar el grano que ingresará al almacén pero no cumple con los estándares necesarios para su resguardo, como el porcentaje de impurezas, tierra, granos con daño físico, ya sea que fueron ocasionados por factores abióticos como la temperatura, o bióticos, como el ataque de plagas en general.
- Mantener en todo momento limpio tanto el almacén como los alrededores.
- Capacitar y actualizar permanentemente al personal que labora en las bodegas de granos (García, 1994).

2.6.2. Control físico

Este tipo de control implica el uso de factores abióticos como la temperatura, insolación, humedad, fotoperiodismo y radiaciones electromagnéticas, para modificar el ambiente y convertirlo en uno menos favorable para su existencia (Cisneros, 1980). En granos almacenados, el control físico de plagas se realiza con aireación, secado artificial, natural y uso de luz ultravioleta.

2.6.2.1 Aireación

La aireación consiste en la aplicación de aire y/o refrigeración artificial, para enfriar el grano y mantenerlo por debajo de los 17 °C, evitando el desarrollo de insectos plaga. Se considera un método económico, seguro, inocuo y sin problemas para los trabajadores (Carpaneto *et al.*, 2013).

2.6.2.2. Secado

El secado tiene la finalidad reducir la humedad del grano para evitar el aumento de temperatura y la proliferación de plagas y enfermedades. Se utiliza dentro de las instalaciones mediante fuego, en la aplicación de aire seco, o exponiendo los granos sobre lonas a los rayos del sol hasta elevar

la temperatura a niveles que resulten letales para el insecto (Cisneros, 1995).

2.6.2.3. Humedad

La humedad es uno de los factores físicos que resulta impráctico en su implementación en plagas de los granos almacenados, debido a que si la humedad se baja a 10% o menos, el grano sufre daños, evitando que se conserve la calidad durante el almacenamiento (Chapell *et al.*, 2000).

2.6.2.4. Luz ultravioleta

La luz ultravioleta se usa como herramienta para el muestreo y medida de control, se utilizan trampas de luz negra, porque es atrayente para un alto número de insectos (García *et al.*, 1994).

2.6.2.5. Atmósferas modificadas

El uso de atmósferas modificadas para el control de insectos plaga se usa sobre granos almacenados enmarcada dentro del control físico (Bond, 1986). Este método consiste en alterar las atmósferas en el almacén retirando el aire vital y/o añadiéndole un alto contenido de dióxido de carbono. Algunas modificaciones son las siguientes:

- 1) Atmósferas con baja concentración de oxígeno. Diversos estudios hacen referencia a atmósferas con concentraciones de O₂ menores al 1%, estas atmósferas se obtienen adicionando N₂, CO₂ o cualquier otro gas (Annis, 1986).
- 2) Atmósferas enriquecidas con CO₂. En este tipo de atmosferas la concentración de O₂ es menor a 5%, situación que incrementa la mortalidad de insectos. La efectividad de estos tratamientos de fumigación son en función de la concentración de CO₂ y el tiempo de exposición (Annis, 1986).

2.6.3. Control mecánico

El método de control mecánico es rústico, integra técnicas manuales para la remoción, destrucción de insectos y órganos infestados de las

plantas, además, incluye métodos de exclusión de plagas mediante barreras y otros dispositivos (Cisneros, 1995).

2.6.3.1. Remoción

La remoción es la práctica más antigua y consiste en recoger de manera manual estos insectos perjudiciales, debido a que el jornalero es el que realiza esta actividad, los insectos tienen que ser de tamaño grande para facilitar su detección y manipulación (Cisneros, 1995).

2.6.3.2. Trituración

La trituración de insectos se realiza cuando se aplica agua a alta presión sobre plagas de cuerpo blanco, como queresas, cochinillas harinosas, ácaros y otros insectos pequeños que abundan en árboles y plantas cultivadas y de ornato. En granos almacenados, se aplica con una máquina "Entoleter", que destruye a los insectos que se encuentran en las semillas por impacto, cuando el dispositivo lanza el grano por fuerza centrífuga con las paredes de un cilindro, ocasiona la muerte del insecto y quebrado de los granos infestados, posteriormente las impurezas generadas (insectos y granos quebrados) son separadas mediante el uso de tamices (Cisneros, 1995).

2.6.3.3. Colecta de órganos infestados

Consiste en la recolección de órganos de la planta infestados, como la poda fitosanitaria de troncos en árboles frutales, o en recoger botones y frutos que contengan la plaga, posteriormente los residuos se queman o entierran en fosas de gran profundidad para evitar la emergencia de los insectos (Cisneros, 1995).

2.6.3.4. Exclusión

Este método incluye el uso de barreras artificiales para obstaculizar el acceso de los insectos, se utiliza el embolsado de frutos, aplicación de sustancias adhesivas a troncos, el uso de estructuras plásticas o metálicas

comunes en el control de polillas y roedores durante el almacén de granos (Cisneros, 1995).

2.6.4. Control etológico

La etología es el estudio del comportamiento de los organismos con relación a su medio ambiente, por lo tanto, es la represión de las plagas mediante las reacciones producidas por los insectos ante un estímulo artificial, el cual comprende el uso de cebos, atrayentes cromáticos y feromonas (Cañedo *et al.*, 2011).

2.6.4.1. Feromonas

Los insectos son sensibles a las sustancias químicas suspendidas en el ambiente, primordialmente de aquellas que los auxilian en la localización de pareja y selección de hospederos preferentes, ya sea para ovipositar o alimentarse. Estos compuestos químicos se conocen como semioquímicos y se clasifican en feromonas (comunicación intraespecífica) y aleloquímicos (comunicación interespecífica), en este último grupo se ubican las kairomonas (beneficio para el receptor), las alomonas (beneficio para el emisor) y las sinimonas (beneficio para ambos) (Wood, 1983; Blanco, 2004).

El uso de feromonas en la agricultura no es un método muy extendido para manipular las poblaciones de insectos plaga, ya que estas sustancias son específicas, es decir, se debe identificar y sintetizar una feromona distinta para cada especie (Birch, 1974). El orden lepidóptera es uno de los más importantes, por el elevado número de individuos plaga que se ubican dentro de este grupo, razón por la cual el mercado de las feromonas se ha dirigido a la síntesis de feromonas para polillas (Ando *et al.*, 2004), además de este grupo, hay otras especies de coleópteros, como el picudo de las palmas (*Rynchoporus palmarum*), sobre las cuales se han utilizado exitosamente estas sustancias (Moya *et al.*, 2015).

Las feromonas más utilizadas son las sexuales, que consisten en interrumpir la comunicación entre hembras y machos de la misma especie,

mediante la saturación del medio natural con feromonas sexual para restringir o evitar en gran medida que se realice la cópula. Lo anterior se lleva a cabo mediante tres diferentes mecanismos que inducen la desorientación de los machos como la adaptación/habitación, las pistas falsas y el camuflaje (Weatherston, 1990).

Karlson y Butenandt, (1959) definen a las feromonas como una mezcla de sustancias secretadas y liberadas al ambiente por un individuo, lo que provoca una reacción en otro organismo de la misma especie.

2.6.4.2. Trampas cromáticas

Son aquellas que utilizan el color como atrayente para los insectos. Entre las más utilizadas se encuentra la de color amarillo intenso, la cual atrae pulgones, minadores de la hoja y picudos; el blanco a varias especies de trips; el rojo a algunos coleópteros de las cortezas. Por lo general, son de plástico y se fijan con marcos y estacas, pueden ser movibles o estacionarias, y se impregnan con sustancias pegajosas para facilitar la adhesión de los insectos que sean atraídos y se impacten en el plástico, se utilizan pegamentos de alta duración (tanglefoot, stickem) o sustancias naturales, como los aceites vegetales o minerales (Cisneros, 1995).

Las trampas se utilizan para monitoriar la densidad de población de una plaga en cierto momento, a través del tiempo y así determinar cuando implementar alguna estrategia de manejo. También regulan las poblaciones de insectos plaga, a ello se le conoce como trampeo masivo y consiste en la elaboración e instalación de un gran número de trampas para reducir las poblaciones a niveles que no afecten la producción de dicho cultivo, aunque una desventaja de esta última técnica es el elevado costo de su implementación (El-Sayed *et al.*, 2006).

2.6.4.3. Trampas de luz

Las trampas de luz son una herramienta útil para la detección y captura de insectos, ya que la luz puede ser un atrayente para los insectos

nocturnos y algunos diurnos, estas funcionan mejor cuando el ambiente es húmedo (después de las lluvias). La trampa tipo pantalla y la tipo embudo son los principales prototipos de este grupo de trampas, las primeras constan de un lienzo blanco de manta de un tamaño de 3x2 m con una lámpara en la parte media superior y separada de la lona por 20 cm, la ventaja de esta, es que permite seleccionar únicamente los insectos de interés entre el total que se posa en la trampa. Las segundas, consisten de una estructura de metal que detiene la fuente de luz y paneles de acrílico que se conectan en la parte baja con un recipiente colector ubicado en la base del embudo, la desventaja de este, es que recolecta cualquier tipo de insecto atraído sin discriminar alguno (Gómez y Jones, 2002).

2.6.4.4. Cebos

Los cebos tóxicos se utilizan en la actividad industrial, y resultan de la combinación de un compuesto atrayente y un insecticida con la finalidad de controlar a insectos, por lo general, en estado adulto. Su uso se basa en la preferencia del insecto al atrayente, lo que provoca que exista especificidad al momento de controlar sin afectar fauna benéfica. Algunos ejemplos, son los cebos compuestos de una mezcla de agua, proteína hidrolizada y Malathión para el control de moscas de las frutas, o el uso de una revoltura de trozos de caña, melaza y parathión. Por último, el uso de arseniato de plomo (2%) en mezcla con melaza de caña (1%) para regular las poblaciones del picudo del algodón *Anthonomus vestitus* (Cisneros, 1995).

2.6.4.5. Extractos vegetales

Las plantas poseen metabolitos secundarios que les confieren naturalmente defensas ante el ataque de plagas, si bien esas sustancias no tienen un rol o alguna función vital para la planta, son importantes, ya que constituyen el origen de los mecanismos defensivos (Schoonhoven, 1981). Harbone (1993) menciona que se han recopilado 3000 metabolitos secundarios a partir de plantas que poseen actividad biológica alcaloides,

aminoácidos no proteicos, estereoides, fenoles ó taninos y se están reportadas sus funciones biológicas, entre las que destaca, por su importancia en el ramo agrícola, las propiedades que le confieren a la planta para evitar y disminuir el daño por plagas insectiles (Coats, 1994). Los efectos subletales que inducen los metabolitos secundarios a los insectos son, la regulación del crecimiento, inhibición de la alimentación y repelencia. Los extractos vegetales aplicados sobre plagas agrícolas poseen efectos positivos en el control de estos organismos por provocarles algunos de esos desordenes (Silva *et al.*, 2002).

Existen estudios que corroboran la efectividad de extractos vegetales en el control del gorgojo del maíz, Arias (2017) reportó al extracto de pimiento boliviano (*Schinus molle* L.) ya que tiene alta toxicidad (mortalidad) sobre el insecto, efecto repelente y antialimentario. Otros extractos a base de ajo (*Allium sativum*), pimienta (*Piper* sp.), eucalipto (*Eucalyptus globulus*), orégano (*Origanum vulgare*), menta (*Mentha piperita*), jengibre (*Zingiber officinale*), albahaca (*Ocimum suave*), resultaron efectivos en el manejo de *Sitophilus zeamais* (Padilla, 2015).

2.6.5. Control legal

El método de control legal integra medidas técnicas legales administrativas, cuyo objetivo es evitar la introducción y dispersión de plagas exóticas, así como la regulación de los productos con potencial para afectar la actividad agrícola en el país. Todo programa de manejo integrado de plagas se fundamenta en un marco normativo legal, que incluye leyes, resoluciones, decretos y reglamentos, que impactan positivamente en la situación fitosanitaria nacional. Este tipo de control se aplica a través de la cuarentena vegetal, control fitosanitario y regulación de insumos (Cisneros, 1995). En México, el control legal se encuentra bajo la Dirección General de Sanidad Vegetal y SENASICA que coordinados con los gobiernos estatales mediante el Comité Estatal de Sanidad Vegetal y la Junta Local regulan la situación fitosanitaria en las distintas zonas agrícolas y fronteras de México,

con base en la Ley Federal de Sanidad Vegetal, vigilando su correcta aplicación en beneficio de los productores (SENASICA, 2016).

2.6.6. Control genético

Este método comprende la utilización de materiales cuya composición genética le confiere al cultivo o producto agrícola cierto grado de tolerancia o resistencia al ataque de organismos dañinos (Bahena, 2008).

2.6.6.1. Resistencia varietal.

Se utiliza en los programas de Manejo Integrado de Plagas (MIP), la cual consiste en utilizar híbridos y variedades resistentes o tolerantes al ataque de plagas y enfermedades, situación que reduce el número de aplicaciones de plaguicidas (Vallejo y Estrada, 2002). Existen alternativas prometedoras para el control de plagas de almacén, pero no se utilizan de manera adecuadas, tal como lo reporta Salas (1984) que las variedades de maíz con hojas largas y fuertes, son resistentes al ataque de gorgojos en campo, en comparación con variedades con endospermo suave, las cuales son más susceptibles.

2.6.6.2. Tipos de resistencia

La resistencia vegetal es la capacidad de una planta para reducir el crecimiento y desarrollo de un patógeno o parásito, antes o después de haberse establecido (Niks *et al.*, 1993). La resistencia puede ser poligénica o monogénica (Smith *et al.*, 1988), la poligénica, se conoce como no específica, cuantitativa u horizontal, de difícil manejo, ya que participan un alto número de genes, se caracteriza por su estabilidad y durabilidad, por el efecto amortiguador del sistema poligénico (Paliwal, 2001). En 1984, Vanderplank reportó que la resistencia horizontal y vertical puede prevalecer en una misma planta o que el efecto se atribuye a una combinación de ambos mecanismos. La resistencia monogénica u oligogénica, también se conoce como específica, cualitativa o vertical, se utiliza por la facilidad que existe para transferir este tipo de resistencia entre un material y otro. La

desventaja es que la resistencia se puede romper fácilmente, de manera rápida con la mutación del gen o los genes involucrados que le confieren tal característica (Granados y Paliwal, 2001).

2.6.6.3. Mecanismos de resistencia

En 1951, Painter delimitó tres categorías o mecanismos de defensa de la planta ante el ataque de una plaga, estas son la antixenosis, antibiosis y tolerancia. Antibiosis: es el mecanismo que representa las características físicas o químicas de las plantas, que afectan la biología del insecto y puede provocar efectos letales o subletales. La secreción de metabolitos secundarios y la presencia de tricomas en hojas y tallos que afectan el desarrollo y reproducción de los insectos, es ejemplo de este tipo de mecanismo (Painter, 1951). Tolerancia: se refiere a las características genéticas presentes en las plantas que permiten que estas soporten una población de insectos que normalmente afecta a una variedad susceptible sin disminuir los rendimientos (Painter, 1951; Granados y Paliwal, 2001). Antixenosis: incorpora aquellas características que provocan que las plantas no sean preferidas por el insecto (Painter, 1951).

2.6.7. Control químico

El uso de insecticidas organoclorados, organofosforados y piretroides, se utilizan para el control de plagas de almacén (Mejía, 2003). El tamaño de las bodegas o almacenes usados para el resguardo de grandes volúmenes de granos, dificulta la aspersion y espolvoreo de insecticida, situación que incrementa las aplicaciones de malathión, fosfuro de aluminio y bromuro de metilo (Nava *et al.*, 2010), ya que son efectivos bajo ciertas condiciones, pero se debe evitar su uso, para disminuir la intoxicación humana, animal y contaminación ambiental (Medrano, 2000).

2.6.7.1. Malathión

Es un organofosforado con propiedades insecticida y acaricida de contacto con un amplio espectro de acción insecticida (Cremlyn, 1995). En

1958, se utilizó por primera vez en EE.UU. para el control de plagas de productos almacenados, suceso que dio paso a una era de combate efectivo contra este tipo de plagas (Haslicak *et al.*, 1983). Este insecticida es el más utilizado en el control de plagas postcosecha, pero está comprobado que los insectos han desarrollado resistencia a este producto (Georghiou *et al.*, 1991).

2.6.7.2. Fosfuro de aluminio

Los fumigantes son productos químicos activos en estado gaseoso y actúan a concentraciones extremadamente tóxicas. El fosfuro de aluminio o fosfamina, se utiliza en tratamientos preventivos y curativos en el manejo de plagas de granos almacenados, este producto se comercializa en pastillas, es muy efectivo y ocupa un periodo de 24 a 48 horas para liberar la mayor parte de su ingrediente activo (Durana, 2002). Es importante mencionar que este producto afecta a las personas que lo usan, en caso de inhalación irrita las membranas mucosas en pulmones y vías respiratorias, con la ingestión en bajas dosis se tienen efectos irritantes y corrosivos en intestino, hígado y riñones o la muerte en pocas horas, y si la concentración es muy elevada puede ocasionar la muerte de manera inmediata (Durana, 2002).

2.6.7.3. Bromuro de metilo

Es un fumigante de amplio espectro y alta efectividad en el control de plagas de productos en etapa de poscosecha y estructuras para su resguardo (bodegas, molinos) (Pizano, 2014). Las consecuencias, es por su alta toxicidad porque libera de 50 a 95% emisiones gaseosas a la estratosfera, donde se libera bromo, compuesto que reacciona con el ozono y otras moléculas que contienen cloro, provocando una reacción en cadena, cuyo resultado es la disminución de la capa de ozono. Lo anterior incrementa la emisión de rayos UV, que ocasiona riesgos para la salud humana y medio ambiente (Thomas, 1997). El uso de bromuro de metilo debe ser eliminado, ya que en la 10ª Reunión del Protocolo de Montreal se estableció, para los países desarrollados, un programa en el que se acordó la reducción de su

uso en la agricultura para alcanzar la eliminación total para el año 2005 y para países del Artículo 5º su eliminación en el año 2015 (Bello *et al.*, 2002).

2.6.8. Control biológico

Es un método de control de plagas que consiste en la utilización de insectos para eliminar otros insectos, es decir, es la represión de una plaga mediante la introducción de enemigos biológicos, tales como parasitoides, depredadores y entomopatógenos (Cañedo *et al.* 2011).

2.6.8.1. Enemigos naturales

Los parasitoides son avispas, que viven dentro de su hospedero (insecto plaga) alimentándose paulatinamente de este hasta ocasionarle la muerte. Los depredadores, son insectos voraces, que se alimentan activamente de especies plaga (presa) hasta matarlo y los entomopatógenos son microorganismos que regulan las poblaciones de plagas causandoles enfermedades, estos incluyen a hongos, bacterias, virus y nematodos (Cañedo *et al.*, 2011). Para el caso de la fauna benéfica asociada a *Sitophilus zeamais*, se ha reportado por Brower (1996) especies depredadoras de esta plaga, que pertenecen a las familias Carabidae, Staphylinidae, Histeridae y Anthocoridae, aunque en México sólo se han reportado tres especies: *Cephalonomia torsalis*, *Teretriosa nigrescens* y *Xylocoris faviceps* (Ramírez *et al.*, 1993). Respecto a los parasitoides, se ha registrado a avisas de la familia Pteromalidae como *Anisopteromalus calandrae* Howard, *Chaetospila elegans* Westwood y *Lariphagus distinguendus* Forester, aunque se reportó que no ejercen un control satisfactorio por la falta de sincronía en los ciclos biológicos y por su baja capacidad reproductiva (Brower, 1996).

2.6.8.2. Tipos de control biológico.

El control biológico posee tres variantes principales:

- a) Clásico o introducción: consiste en la importación e inoculación de parasitoides o depredadores para regular las poblaciones de plaga exóticas

o nativas, es decir, se introduce un organismo que no se encuentra presente antes de la inoculación.

- b) Por aumento: hace referencia a constante cría y liberación de controladores biológicos naturales en grandes cantidades (inundación) o de pocos especímenes que sobrevivirán por varias generaciones subsecuentes (inoculación). Se diferencia del control biológico clásico porque no necesariamente requiere de una importación de organismos, sino más bien, un incremento de los ya existentes, para que pueda darse una regulación en las poblaciones del insecto plaga a atacar.
- c) Por conservación: consiste en el aumento y/o preservación de los enemigos naturales presentes en el agroecosistemas mediante la implementación de prácticas que disminuyan los riesgos y tiendan a favorecer la presencia de estos individuos en el ambiente. Algunas prácticas, suelen ser el uso de agroquímicos menos agresivos con la fauna benéfica, respeto por las fechas de siembra normadas, métodos de cultivo, etc. (Stehr, 1975).

2.7. Alternativas sustentables para el control de plagas

La sustentabilidad la definió la Comisión Mundial para el Medio Ambiente y el Desarrollo (CMMAD-ONU) en 1983, como el “desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer las capacidades que tienen las futuras generaciones para satisfacer sus propias necesidades” (Estrella y González, 2017), por lo tanto, el uso indiscriminado de plaguicidas es una amenaza para el desarrollo sustentable, además, el mercado de los productos agropecuarios es exigente por parte de los consumidores que desean adquirir alimentos totalmente sanos e inoos, situación que obliga a los productores a reducir los pesticidas, e implementar el uso de alternativas sustentables para el manejo de insectos dañinos, con bajo impacto para el ambiente y la salud (Franco *et al.*, 2017). En México, existen diversas estrategias para el manejo de insectos que afectan a los cultivos y productos agrícolas, entre ellas destacan los virus, rickettsias, hongos, bacterias, nematodos entomopatógenos e insecticidas botánicos (Nava *et al.*, 2012).

2.7.1. Hongos entomopatógenos

Se reconocen como el grupo de mayor importancia para el control biológico de plagas por su potencial (Ramírez *et al.*, 2014), está integrado por 750 especies ubicadas en 100 géneros (Hegedus y Khachatourians, 1995), los cuales se encuentran en medio natural y algunos de ellos han sido formulados a gran escala con fines comerciales (Wraight *et al.*, 1998).

Los hongos entomopatógenos son reconocidos como el grupo de mayor importancia para el control biológico de plagas por su gran potencial (Ramírez *et al.*, 2014), y está integrado de casi 750 especies que se encuentran ubicadas en 100 géneros (Hegedus y Khachatourians, 1995), los cuales se encuentran comúnmente en el medio natural y algunos de ellos han sido formulados a gran escala con fines comerciales (Wraight *et al.*, 1998).

2.7.1.1. Géneros de importancia

Los hongos con mayor potencial y uso en el manejo de insectos plaga, se ubican en los géneros *Metarhizium*, *Beauveria*, *Aschersonia*, *Entomophthora*, *Zoophthora*, *Erynia*, *Eryniopsis*, *Akanthomyces*, *Fusarium*, *Hirsutella*, *Hymenostilbe*, *Paecilomyces* y *Verticillium* (López *et al.*, 2001).

2.7.1.2. Especies de mayor importancia

Los hongos entomopatógenos más importantes y utilizados para reducir las poblaciones de insectos dañinos para la agricultura son *Beauveria bassiana*, *Lecanicillium lecanii*, *Metarhizium anisopliae*, *Isaria fumosorosea* e *Hirsutella thompsonii*, los cuales pertenecen a la familia Moniliacea (Ramírez, 2014).

2.7.1.3. *Metarhizium anisopliae*

2.7.1.3.1. Descripción

El género *Metarhizium* se conoce en su forma conidial asexual, los conidios son cilíndricos, verdes, en forma de cadena, pueden formar una

capa compacta (Zimmerman, 1993), se identifica por la producción de la “muscardina verde”, debido al color verde olivo de las esporas sobre los insectos infectados. Se estima que *Metarhizium anisopliae* puede atacar hasta 300 especies de insectos de diferentes órdenes, algunos de ellos considerados plagas agrícolas (Monzón, 2001).

2.7.1.3.2. Mecanismo de acción

Según Alean (2003), el mecanismo de acción se divide en tres fases: (1) adhesión y germinación de la espora sobre la cutícula del insecto, (2) penetración en el hemocele y (3) desarrollo del hongo.

- (1) Adhesión y germinación de la espora sobre la cutícula del insecto. El proceso infectivo de los hongos entomopatógenos sobre los insectos hospederos (susceptibles) inicia cuando las esporas del hongo entran en contacto y se adhieren sobre el integumento de la plaga, mientras encuentran un espacio para el establecimiento de una asociación directa patógeno-hospedero (Jones, 1994), para posteriormente formar túbulos germinales y en ocasiones el apresorio para favorecer la invasión del hongo (Hajek, 1997; Barranco *et al.*, 2002).
- (2) Penetración en el hemocele. Durante la penetración del hongo desde la cutícula del insecto hasta el hemocele, la hifa queda inmersa en proteínas, quitina, lípidos, melanina, difenoles y carbohidratos; algunas de estas sustancias son nutrimentos para el hongo y otros son inhibidores de crecimiento, debido a la activación de su sistema inmunológico por parte del hospedero (St. Leger y Roberts, 1997).
- (3) Desarrollo del hongo. Posterior a la penetración cuticular, comienza la proliferación dentro del insecto, iniciando el crecimiento micelial a través de sus cuerpos hifales, que invaden diversas estructuras, como tejidos musculares, cuerpos grasos, tubos de Malpighi, mitocondrias, hemocitos, retículo endoplásmico y membrana nuclear (Pucheta *et al.*, 2006). Por último, las hifas penetran la cutícula desde el interior del cuerpo del insecto y emergen a la superficie, iniciando la formación de

esporas, las cuales son diseminadas a otros insectos, siempre y cuando persistan las condiciones óptimas de humedad relativa y temperatura para su desarrollo (Gillespie *et al.*, 1989). El proceso generalmente resulta en la muerte del insecto (Alean, 2003).

2.7.1.3.3. Especies plaga que controla

M. anisopliae es un hongo de distribución mundial, de fácil adaptabilidad, y tiene el potencial para utilizarse en diversos de cultivos, como hortalizas, frutales, cítricos, pastizales, caña de azúcar, cultivos básicos e industriales, y en ellos reducir las poblaciones de insectos fitófagos que se ubican en los órdenes coleóptera, homóptera, hemíptera, lepidóptera, ortóptera, etc. (Gallegos *et al.*, 2003). Algunas de las plagas de importancia económica como la broca del café (*Hypothenemus hampei*), palomilla dorso diamante (*Plutella xylostella*), chinche del arroz (*Oebalus insularis*), salivazo (*Aeneolamia* sp.), gallina ciega (*Phyllophaga* sp.), picudo del algodón (*Anthonomus grandis*) y del plátano (*Cosmopolites sordidus*) se controlan con *Metarhizium anisopliae* (Monzón, 2001). De igual manera, se ha evaluado la efectividad de *Metarhizium* en plagas de granos almacenados, Archuleta *et al.* (2012) reportaron mortalidad del 80% de *Sitophilus zeamais* en laboratorio, además, observaron un efecto antialimentario desde el primer día del experimento y crecimiento micelial visible sobre el insecto.

2.7.2. Extractos vegetales

2.7.2.1. Higuierilla (*Ricinus communis* L.)

La higuierilla, es una planta exótica de la familia Euphorbiaceae y se considera una maleza en el país, aunque en algunas regiones se tiene presencia de higuierilla cultivada (Martínez, 1979).

2.7.2.1.1. Descripción botánica

Ricinus comunis es una planta herbácea de porte alto, puede medir hasta 6 m de alto, en ocasiones es arbustiva y su color va de verde claro a azul-grisáceo, también puede ser rojiza. Las hojas tienen forma de lámina

casi orbiculada, de 10-60 cm de diámetro, sus flores masculinas poseen un perianto de 6-12 mm y las femeninas de 4-8 mm. Los frutos tienen forma de cápsula y miden de 1.5-2.5 cm de largo, posee espinas cortas y gruesas, mientras que las semillas son elipsoidales, poco aplanadas de 10-17 mm, lisas, brillantes y frecuentemente jaspeadas de café y gris (Rzedowski y Rzedowski, 2001)

2.5.2.1.2. Origen y distribución

Es originaria de África y actualmente se encuentra distribuida en los trópicos de ambos hemisferios (CONABIO, 2009). En México, se encuentra en los estados de Chiapas, Chihuahua, Coahuila, Colima, Distrito Federal, Guanajuato, Guerrero, Jalisco, Estado de México, Michoacán, Morelos, Nayarit, Oaxaca, Sinaloa, Sonora, Tabasco, Tamaulipas, Tlaxcala, Veracruz y Yucatán (Villaseñor y Espinoza, 1998).

2.5.2.1.3. Usos e importancia económica

Ricinus communis tiene una amplia variedad de usos, aun cuando los tallos se usan para la fabricación de papel, las semillas, son la estructura de la planta con mayor importancia económica, porque de ellas se extrae aceite de ricino, con propiedades medicinales e industriales, en la elaboración de lubricantes técnicos, jabones y tinturas. Otras variedades de coloración rojo oscuro son utilizadas como plantas de ornato (Rzedowski y Rzedowski, 2001).

2.7.2.1.4. Actividad biológica

Se ha evaluado la eficiencia de la higuerrilla para el control de plagas agrícolas y de almacén, en cuanto a estas últimas, Gómez (2012) demostró que los polvos vegetales de *R. communis* tienen efectos de mortalidad en *Sitophilus zeamais* a partir del 4% y de repelencia al 3 y 5% bajo condiciones de laboratorio, sin afectar el poder germinativo de las semillas de maíz. En dosis altas y asperjado, la higuerrilla resulta perjudicial cuando el grano es destinado para semilla, Mendoza *et al.*, (2016) reportaron que el extracto de

semilla de higuierilla ocasionó una mortalidad del 100% en adultos de *Sitophilus zeamais* en 24 horas, pero redujo la calidad fisiológica de la semilla de los tres cultivares de maíz utilizados durante el experimento.

2.7.2.2. Epazote *Chenopodium ambrosioides* L.

El epazote, también conocido como ipazote, paico y paico macho, es una planta de la familia Chenopodiaceae ampliamente utilizada en la gastronomía mexicana, generalmente se presenta como planta ruderal, aunque en ocasiones suele comportarse como arvense (CONABIO, 2009^b).

2.7.2.2.1. Descripción botánica

Chenopodium ambrosioides es una planta que mide .4-1.0 m, es de porte erguido o ascendente y es glandulosa. Respecto a su morfología, el tallo es simple o ramificado; las hojas miden de 3-10 cm de largo y 1-5 cm de ancho, son pecioladas y oblongas; la inflorescencia está conformada por una espiga que se compone de numerosas flores dispuestas en panícula piramidal: los frutos son circulares de aproximadamente 1 mm de ancho, rodeados por el perianto, pericarpio de fácil desprendimiento y glanduloso y las semillas tienen 0.7 mm de diámetro, pueden ser de tipo horizontal o vertical, son de color negro, brillantes y lisas (Espinosa y Sarukhán, 1997).

2.7.2.2.2. Origen y distribución

Esta planta es originaria del continente americano y naturalizada en zonas cálidas y templadas del viejo mundo (CONABIO, 2009). En México, se distribuye en Aguascalientes, Baja California Norte, Baja California Sur, Chiapas, Chihuahua, Coahuila, Colima, Distrito Federal, Durango, Guerrero, Hidalgo, Jalisco, Estado de México, Michoacán, Morelos, Nayarit, Nuevo León, Oaxaca, Puebla, Querétaro, San Luis Potosí, Sinaloa, Sonora, Tabasco, Tamaulipas, Tlaxcala, Veracruz y Yucatán (Villaseñor y Espinoza, 1998).

2.7.2.2.3. Usos e importancia económica

Nascimento *et al.* (2006) indican que *Chenopodium ambrosioides* es una planta utilizada en la cocina como condimento y en la medicina tradicional de poblaciones nativas de América Latina y el Caribe, en donde se procesan y utilizan hojas, raíces e inflorescencias, mediante la infusión y cocción de dichas estructuras. Por su parte Gibson *et al.*, (1965) y Quinlan *et al.*, (1965) reportan que el aceite esencial se utilizó como antihermético en animales domésticos, caballos y cerdos, aunque su utilización disminuyó por la aparición de alternativas menos tóxicas en 1940. El epazote provoca pérdidas importantes al afectar cultivos de importancia económica, como el algodón (*Gossypium hirsutum*), café (*Coffea arabica*), frijol (*Phaseolus vulgaris*), garbanzo (*Cicer arietinum*), maíz (*Zea mays*), tomate (*Solanum lycopersum*) y uva (*Vitis vinífera*) (Villaseñor y Espinoza, 1998).

2.7.2.2.4. Actividad biológica

Diversos investigadores reportaron la eficacia de los extractos vegetales de *Chenopodium ambrosioides*; Salgado (2008), menciona que el extracto acuoso de epazote redujo en 60.5% la mortandad de huevos de mosca blanca y de 76.9% en estadio ninfal. Por su parte Pérez *et al.*, (2017) reportaron la efectividad de los polvos vegetales de epazote al 2%, 5% y 7% relación p/p, al encontrar una mortalidad de *Sitophilus zeamais* de 97, 97 y 100% respectivamente para cada dosis utilizada a los 8 días después de la aplicación. Orozco (2016) indican que el aceite esencial de *C. ambrosioides* silvestre tiene un efecto fumigante, tóxico y antixenótico sobre *Sitophilus zeamais*, ya que ocasionó entre 60 y 80% de mortalidad en las diferentes concentraciones (5 y 20 µl en volúmenes de 0.15 y 6 L, respectivamente).

2.7.2.3. Eucalipto (*Eucalyptus globulus* Labill.)

Eucalyptus globulus se recolectó en 1792 y fue descrita en 1799 por Jaques Huilien Houtton de Labillardiere. Esta planta se conoce como eucalipto común o eucalipto azul, pertenece a la familia Myrtaceae, misma

que comprende más de 700 especies de eucaliptos (La Billardiére, 1799; Fernández, 1982).

2.7.2.3.1. Descripción botánica

Eucalyptus globulus es un árbol esbelto, que mide hasta 75 m de altura y 2 m de diámetro de tronco en condiciones naturales, su corteza es blanquecina, gris-azulada o verdosa y es fácil desprenderla. Presenta dimorfismo foliar, las hojas juveniles son ovadas-lanceoladas, sésiles, de tonos verdes y glaucos, las hojas adultas son lanceolado-falciformes con largos peciolo con una tonalidad verde oscura. Los frutos tienen forma de cápsula con 4 caras, a modo de pirámide invertida, se presentan de forma aislada y sin pedúnculo (La Billardiére, 1799; Paiva, 1997).

2.7.2.3.2. Origen y distribución

El origen del eucalipto se ubica en la región comprendida por Tasmania y Australia. El primer registro de este árbol en la Península Ibérica se remonta al año de 1929 en Portugal. Actualmente se reconoce la presencia del eucalipto en más de 90 países, en zonas tropicales principalmente, en menor medida en zonas subtropicales y templadas (Eldridge *et al.*, 1993). Según Pardos (2007), en los dos últimos siglos se ha ido extendiendo su establecimiento, llegando a Sudamérica (Chile, Argentina y Uruguay), Asia (China e India), África (Sudáfrica) y Europa (España y Portugal), esta dispersión se encuentra asociada a la alta capacidad de la especie para sobrevivir en condiciones ecológicas adversas (ENCE, 2006).

2.7.2.3.3. Usos e importancia económica

El eucalipto se establece en plantaciones forestales para obtener madera, ya que esta es importante por la densidad, proporción de pulpa, longitud de las fibras y su contenido de lignina y celulosa que la convierten en una materia prima indispensable para la fabricación de pasta de papel (Raymond, 2002; FAO, 2011). La madera se utiliza a nivel mundial, pero se prevé que en el futuro las plantaciones de diversas especies de importancia

forestal no serán suficientes para satisfacer la demanda total de la población, por lo que además de incrementar su superficie de plantación, debe buscarse un rendimiento mayor (Laclau, 2009). Por su parte, Harwood (2011) reporta que la superficie establecida con plantaciones de eucalipto se ha incrementado a 14 millones de ha de 1990 a la actualidad.

2.7.2.3.4. Actividad biológica

El eucalipto ha sido evaluado en distintas investigaciones para determinar su eficacia en el control de plagas mediante alternativas menos dañinas para el medio ambiente, obteniendo buenos resultados, como Reyes *et al.*, (2012) quienes evaluaron la aplicación de vapores de aceites de *Eucalyptus globulus* y *E. camaldulensis* a volúmenes de 5, 10 y 15 μL contra el barrenador menor de los granos *Rhyzopertha dominica* (F.) en trigo almacenado, encontrando que *E. globulus* tiene un efecto insecticida sobre esta plaga de almacén de hasta el 100% con la dosis alta (15 μl). En otro estudio, González *et al.*, (2016) demostraron que la aplicación de aceites esenciales de *E. globulus* al 4% y 8% no demostró un efecto insecticida de contacto contundente, aunque como fumigante ocasionaron el 70% de mortalidad, además, indujeron un efecto repelente contra el gorgojo del maíz, así como también disminuyó en más de un 50% la emergencia de la F1 del insecto.

2.7.2.4. Copalquin (*Hintonia latiflora* Bullock)

Hintonia, como género agrupa 3 especies: *H. lunana*, *H. octomera* y *H. latiflora*, siendo esta última especie de importancia medicinal, económica y comercial en México (Mata *et al.*, 2009). *Hintonia latiflora* se conoce como copalquin, cáscara sagrada, copalchi, palo amargo, quina y quina amarilla (Ocampo, 1994).

2.7.2.4.1. Descripción botánica

El copalquin es un arbusto que puede medir hasta 7 metros de altura, sus hojas son opuestas ovadas u ovaladas de 4-12 cm, flores de color

blanco y acampanada, aromáticas y miden entre 5 y 7 cm, el fruto es una cápsula oval, son angulosos, sus semillas pequeñas y aladas (Martínez, 1989).

2.7.2.4.2. Origen y distribución

Las tres especies de *Hintonia* se distribuyen de manera importante en las regiones tropicales y subtropicales de América (Delprete, 2004). Específicamente, *H. latiflora* es originaria del trópico seco mexicano y se distribuye desde el noroeste de México a Centroamérica (Beltrán *et al.*, 2015).

2.7.2.4.3. Usos e importancia económica

En la actualidad, la corteza del árbol de copalquin es la más utilizada, se han reportado 36 usos en México, casi todos de tipo medicinal, principalmente como antidiabético y febrífugo (Anaya, 1991; BDMTM, 2009).

2.7.2.4.4. Actividad biológica

Hintonia latiflora tiene actividad antipalúdica, antiperiódico, febrífugo, antiséptico, tranquilizante e hipogluceminate (Díaz, 1976; Bye, 1986), según Mata *et al.*, (2009), la corteza de este arbusto tiene alto valor por la presencia de sus principios activos, ya que esta fracción de la planta contiene aceite fijo, caucho, resinas, materia colorante, taninos, compuestos amargos, alcaloides, cucurbitacinas, flavonoides, fenilcumarinas y glucocurbitacinas (Camacho, 1990; Cristians *et al.*, 2009). Mientras que Harborne (1993) y Gross (2008) mencionan que los metabolitos secundarios de esta planta constituyen la defensa química para *Hintonia latiflora*, reportándose efectos alelopáticos, fungicidas y sabores desagradables para herbívoros. Estos últimos sugieren, que los extractos a base de *H. latiflora* pueden tener un efecto repelente o insecticida, aunque todavía no se han realizado trabajos para evaluar la efectividad de sus compuestos contra plagas.

III. HIPÓTESIS

1. Cuando menos uno de los tratamientos inducirán al menos el 50% de mortalidad del picudo del maíz (*Sitophilus zeamais*).
2. Cuando menos uno de los tratamientos tendrá un efecto positivo sobre las variables de porcentaje de emergencia, el daño y pérdida de peso del grano.

IV. OBJETIVOS

4.1 Objetivo general

Evaluar el potencial de los extractos etanólicos de higuera *Ricinus communis* L., epazote *Chenopodium ambrosioides*, eucalipto *Eucalyptus globulus* y copalquin *Hintonia latiflora* Bullock; así como el del hongo entomopatógeno *Metarhizium anisopliae* (Metschnikoff) en el manejo del picudo del maíz *Sitophilus zeamais* (Motschulsky) bajo condiciones de laboratorio.

4.2. Objetivos específicos

1. Determinar el porcentaje de mortalidad, grano dañado, pérdida de peso y emergencia inducido por los extractos etanólicos de semilla de higuera, de hoja de eucalipto y epazote y de cáscara de copalquin sobre adultos de *Sitophilus zeamais*.
2. Determinar el porcentaje de mortalidad, grano dañado, pérdida de peso y emergencia inducido por la aplicación del hongo entomopatógeno *Metarhizium anisopliae* sobre adultos de *Sitophilus zeamais*.
3. Detectar la presencia de fitoquímicos con propiedades insecticidas en los extractos vegetales.

V. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Material biológico

5.1.1. Colecta e identificación taxonómica del material vegetal

El material botánico para la elaboración de los extractos vegetales, se recolectó siguiendo el protocolo para plantas vasculares. Los sitios de recolecta se ubican en las localidades de San Blas y Juan José Ríos, municipios de El Fuerte y Guasave, Sinaloa, México. El material se recolectó por triplicado, se prensó y se trasladó al Herbario "Charles Darwin" de la Facultad de Agricultura del Valle del Fuerte de la Universidad Autónoma de Sinaloa (FAVF-UAS), donde se sometieron a un proceso de secado y preservación para su determinación taxonómica. La identidad taxonómica de las muestras se determinó con el apoyo de claves taxonómicas de floras regionales y monografías disponibles (Shreve y Wiggins, 1964; McVaugh, 1987), con confirmación mediante cotejo de muestras con el Herbario Nacional de la Universidad Nacional Autónoma de México (MEXU).

5.1.2. Cría de *Sitophilus zeamais* Motchulsky

Se recolectaron adultos del picudo del maíz en parcelas experimentales de maíz establecidas en el campo experimental del Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR-IPN). Se utilizó un aspirador entomológico para evitar en la medida de lo posible la manipulación directa de los insectos. Posteriormente se identificaron taxonómicamente, colocando los individuos en refrigeración por 30 segundos, para inmovilizarlos y observar sus características morfológicas. Posteriormente se transfirieron a frascos de plástico de 1 L esterilizados con maíz sin daño (figura 3), para su multiplicación. Los frascos se colocaron en una incubadora a una temperatura de $30\pm 2^{\circ}\text{C}$ y humedad relativa de 70-75%.



Figura 3. Cámara de cría de *Sitophilus zeamais* en condiciones de laboratorio.

5.2. Preparación de los tratamientos

5.2.1. Extractos vegetales

Los extractos utilizados se trituraron hasta pulverizarse licuadora industrial, después se tamizó en una malla antiáfidos. En higuierilla se trituró la semilla, en epazote y eucalipto fue la hoja y en copalquin se pulverizó la corteza. En una balanza analítica digital, se pesaron 20 g de cada extracto, se vertió el polvo en un vaso de precipitado, se le adicionó 80 ml de alcohol al 70%, para obtener una solución del extracto al 20% p/v. El producto obtenido fue agitado durante 10 s en una parrilla con agitador magnético, para la homogenización de sus componentes. Enseguida, se taparon los vasos de precipitado con papel aluminio y cinta canela, se etiquetaron y dejaron en reposo, por 48 h, en un lugar oscuro, seco y a temperatura ambiente. Pasado el tiempo indicado, se resuspendió el extracto por agitación y el contenido se filtró al vacío utilizando papel Watman No.3 y una bomba de vacío, mediante la cual se separaron las fases sólida y líquida de la mezcla. Después, la fase líquida fue transferida a vasos de precipitado previamente desinfectados y etiquetados (Figura 5). Por último, se almacenaron los vasos de precipitado con los extractos en el horno de secado (marca Biossa, mod. H-41) durante 24 horas, para evaporar el

alcohol presente. Al término de ese tiempo, los extractos estuvieron listos para ser usados en los bioensayos. El procedimiento se repitió para las dos fases del experimento.

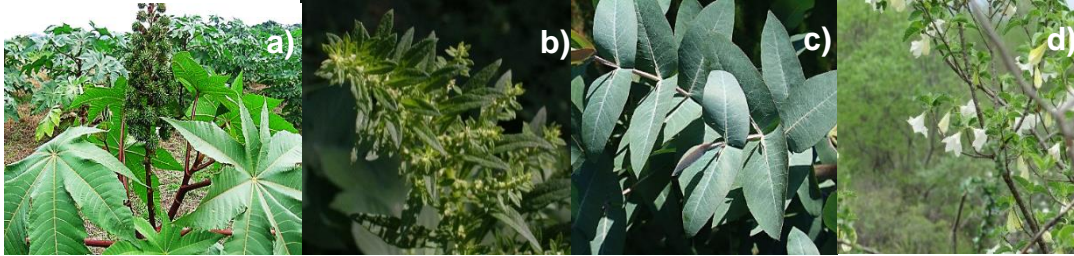


Figura 4. Plantas utilizadas para la elaboración de los extractos vegetales: a) Higuerrilla (*Ricinus communis* L.); b) Epazote (*Chenopodium ambrosioides* L.); c) Eucalipto (*Eucalyptus globulus* Labill.) y d) Copalquin *Hintonia latiflora* (Sessé & Moc. ex DC.).

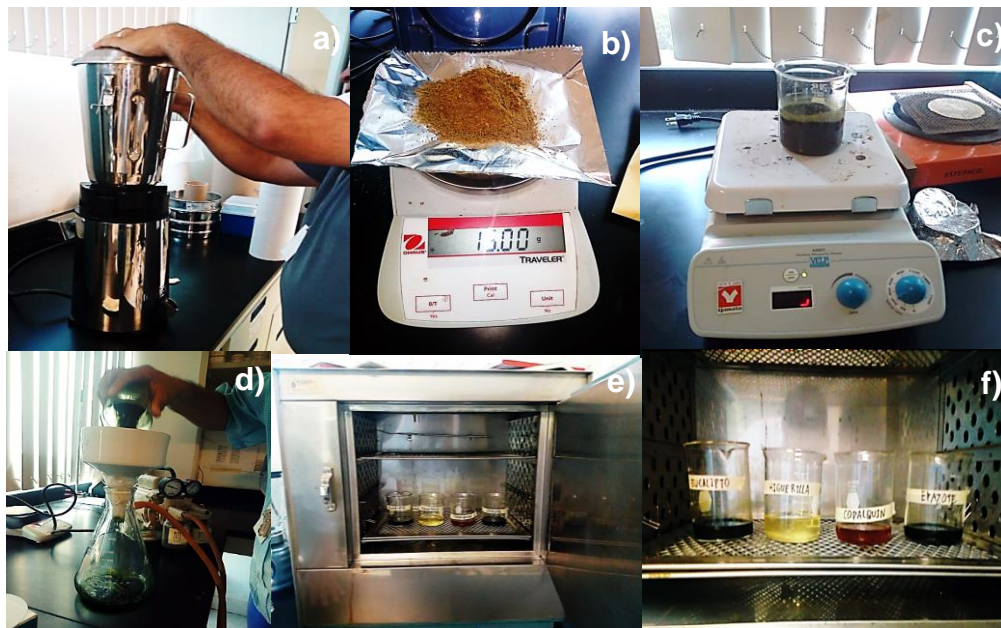


Figura 5. Elaboración de los extractos vegetales: a) molienda del material vegetal; b) pesaje del material a utilizar; c) suspensión del tratamiento con una parrilla de agitación magnética; d) separación de las fases mediante bomba de succión; e) vasos de precipitados con los extractos, etiquetados en el horno de secado; f) extractos vegetales listos para ser usados.

5.2.1.1 Perfil fitoquímico

Se determinó la presencia o ausencia de los siguientes compuestos activos en los extractos vegetales: alcaloides, glucósidos cardiacos, flavonoides, fenoles, flobataninos, proteínas, saponinas, taninos, quinona y oxalato, con la metodología propuesta por Ugoshukwu *et al.* (2013), esto con la finalidad de encontrar la relación entre su existencia y la actividad insecticida que manifiesta cada tratamiento.

5.2.2. Formulación comercial de *Metarhizium anisopliae* (Metschnikoff)

Para la preparación de *Metarhizium anisopliae*, se añadieron 2 g de polvo del producto comercial a una probeta, después se agregaron 100 mL de agua destilada y 2 mL de tween. La solución se agitó y quedó lista para ser usada.



Figura 6. Preparación del tratamiento de *Metarhizium anisopliae*.

5.3. Diseño experimental

La efectividad de los biorracionales sobre el picudo del maíz se avaluó con un bioensayo en un diseño completamente al azar con seis tratamientos y cuatro repeticiones, los cuales consistieron en: T1= Control (alcohol 70°), T2= *Metarhizium anisopliae* (fórmula comercial), T3= *Ricinus communis* (20% p/v), T4= *Eucalyptus globulus* (20% p/v), T5= *Chenopodium*

ambrosioides (20% p/v) y T6= *Hintonia latiflora* (20% p/v). A cada unidad experimental de 100 semillas de maíz esterilizadas, se les aplicó con un atomizador 2 ml (cuatro aspersiones) del extracto o hongo a evaluar, posteriormente las semillas se mezclaron para homogenizar la aplicación del producto y se depositaron en un frasco de plástico, donde se agregaron 10 parejas de picudos, después se selló con taparosca y se les hicieron 12 perforaciones con una aguja de disección de ≈ 1 mm de diámetro. Las unidades experimentales (cada frasco) se almacenaron en un sitio oscuro bajo temperatura de $27 \pm 2^\circ\text{C}$.



Figura 7. Experimento: a) tratamientos; b) homegenización de tratamientos; c) experimento montado; d) unidad experimental.

5.4. Parámetros a evaluar

5.4.1. Mortalidad

La evaluación del porcentaje de mortalidad se realizó cada 24 h. Para ello, se registró el número de insectos vivos y muertos durante un lapso de 15 días.

Se consideraron efectivos, los tratamientos que manifestaron un porcentaje mayor al 30% con respecto al testigo.

5.4.2. Grano dañado (%)

Esta variable fue evaluada el décimo quinto día después de la aplicación de los tratamientos y se realizó mediante el conteo de granos dañados (presentan agujeros y masticaduras) y sanos, datos a los cuales se les aplicó la siguiente fórmula (Ec. 1):

$$\%G D= \frac{n}{N} \times 100 \quad \text{Ec. 1}$$

Donde;

% G D= Porcentaje de grano dañado

n= Número de granos dañados

N= Número de granos utilizados por tratamiento

5.4.3. Pérdida de peso del grano (%)

Se estimó el peso inicial (35 g) de los granos con una balanza analítica al inicio del experimento (día 0) y el peso final (g) al término del mismo (día 15). La pérdida de peso (%) se determinó mediante la siguiente fórmula (Ec.2):

$$\text{PPG} = 100 - \frac{(\text{PF}) (100)}{\text{PI}} \quad \text{Ec. 2}$$

Donde:

PPG= Pérdida de peso del grano (%)

PI= Peso inicial (g)

PF= Peso final (g)

5.4.4. Emergencia (%)

Después de transcurridos los 7 días, con los frascos sin los gorgojos adultos, se colocaron estos de nuevo en la incubadora, con la finalidad de determinar el porcentaje de emergencia corregido de la primera generación filial (F1), a los 35 días de la infestación. Se consideraron buenos, aquellos tratamientos que manifestaran un porcentaje de emergencia \leq al 50% respecto al testigo. La ecuación de Abbott (1925) utilizada fue la siguiente (Ec. 3):

$$EC = (X/Y) (100) \quad \text{Ec. 3}$$

Donde;

EC= Emergencia corregida

X= Número de insectos emergidos en el tratamiento

Y= Número de insectos emergidos en el control

5.4. Análisis de datos

El análisis de supervivencia para la variable mortalidad se realizó con el procedimiento LIFETEST del software estadístico SAS versión 9.4 (SAS Institute, 2016). Este programa analiza los tiempos de supervivencia entre los factores de prueba y permite censurar individuos que mueren por otras causas distintas a los tratamientos o sobreviven al final del experimento. Se dispone de tres técnicas estadísticas de rango lineal para comparar las curvas de supervivencia de cada estrato o tratamiento: Log Rank, Wilcoxon y -2Log(LR) . Los valores de significancia (p) se corrigieron con la técnica de Bonferroni para comparaciones múltiples. Las variables grano dañado y pérdida de peso del grano se sometieron a un análisis de varianza con el procedimiento MIXED, el cual sigue un método de estimación por máxima verosimilitud restringida (REML). La comparación de medias utilizada fue la diferencia de mínimos cuadrados (valores menores a 0.05 son

significativos). Se usaron las opciones por defecto para los grados de libertad y la estructura de covarianzas.

La variable emergencia se analizó cualitativamente porque las respuestas a los tratamientos fueron valores extremos de 0 y 100 %.

VI. RESULTADOS

6.1. Fitoquímicos detectados

Se determinó la presencia de algunos compuestos activos con actividad insecticida en los tratamientos (Cuadro 1):

Cuadro 1. Fitoquímicos detectados en los extractos vegetales mediante la metodología propuesta por Ugoshukwu *et al.* (2013).

Fitoquímico	<i>Ricinus communis</i>	<i>Chenopodium ambrosioides</i>	<i>Eucalyptus globulus</i>	<i>Hintonia latiflora</i>
Alcaloides	+	-	+	+
Glucósidos cardíacos	+	-	-	+
Flavonoides	-	+	-	+
Fenoles	-	-	+	+
Flobataninos	-	-	+	+
Proteínas	+	-	-	-
Saponinas	+	-	+	-
Taninos	-	+	+	+
Quinonas	+	+	-	-
Oxalato	+	-	-	+

+= presente, -= ausente

6.2. Porcentaje de mortalidad

De 480 picudos del maíz utilizados en el experimento, el 48% murió a los 15 días de evaluación, el resto sobrevivió (censurados). La rapidez con la que trabajaron los tratamientos fue en diferente tiempo, esto por el 30% mínimo de mortalidad, excepto el control que se considera para demostrar la efectividad de un producto orgánico. En *Ricinus communis* el 30% se registró al tercer día después de la aplicación del tratamiento, para *Eucalyptus globulus* fue al día

siete, *Metarhizium anisopliae* al día ocho, *Hintonia latiflora* al día 11 y *Chenopodium ambrosioides* al día 14.

En la figura 8 se muestra el comportamiento de la mortalidad inducida por los tratamientos al término de los 15 días, siendo, en *R. communis* de 100%, *M. anisopliae* 67.5%, *E. globulus* 45%, *H. latiflora* 38.75%, *C. ambrosioides* 32.5%, mientras que en el control fue de 2.5%

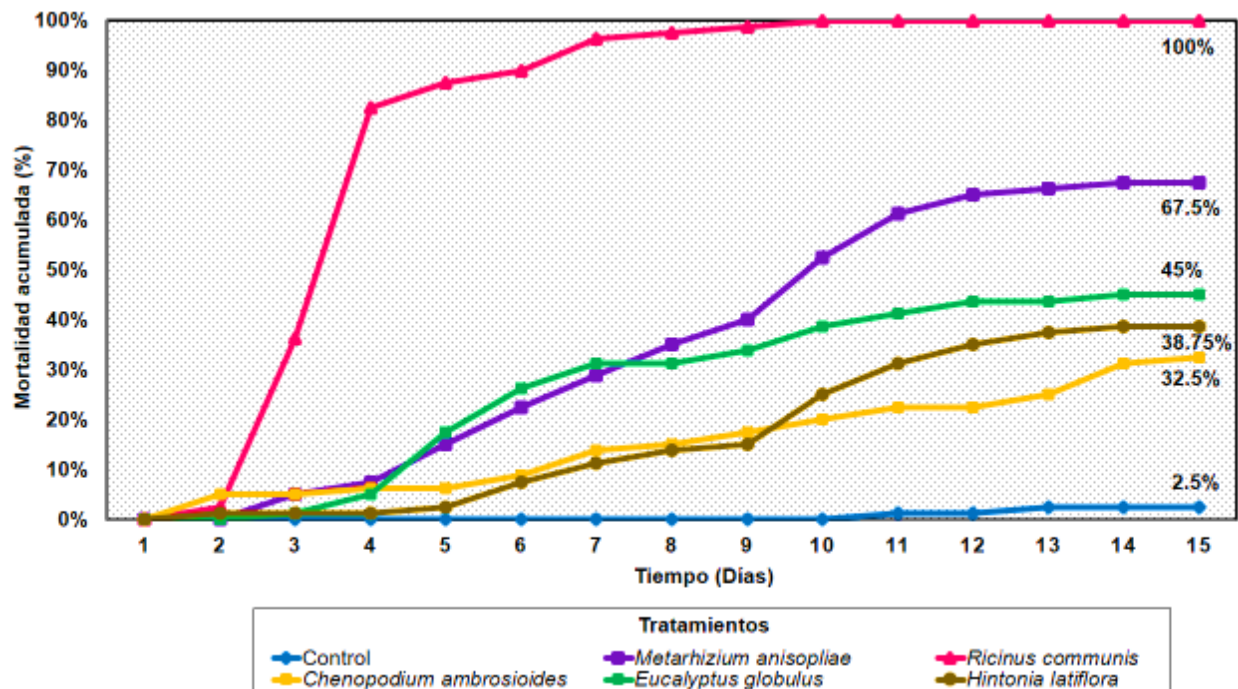


Figura 8. La mortalidad acumulada del picudo del maíz *Sitophilus zeamais* Motchulsky inducida por la aplicación de productos biorracionales.

Las curvas de supervivencia de todos los productos difieren significativamente del control ($p < 0.0001$), se determinó que el extracto de *Ricinus communis* es el más prometedor al culminar con 0% de supervivencia (Figura 9), le sigue *Metarhizium anisopliae* y la planta de *Eucalyptus globulus*, aunque este último, es estadísticamente igual al efecto provocado por *Hintonia latiflora* y *Chenopodium ambrosioides*, mientras que el control mostró 97.5% de individuos vivos.

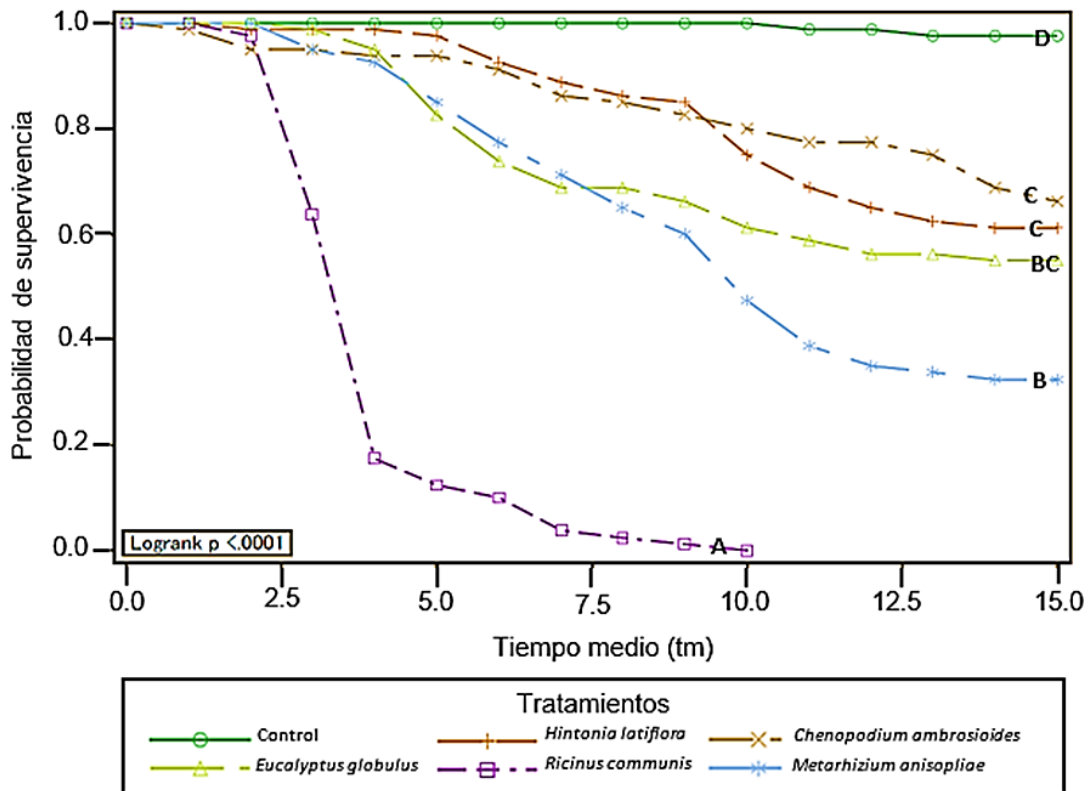


Figura 9. Supervivencia de *Sitophilus zeamais* Motschulsky en respuesta a la aplicación de productos biorracionales.

6.2. Grano dañado

El porcentaje de grano dañado en cada tratamientos osciló entre el 3 y 10%, siendo el tratamiento de extracto de *Ricinus communis* y *Hintonia latiflora* los que indujeron el menor daño (3% y 3.25%, respectivamente) y el control con el mayor (10%), *Metarhizium anisopliae* presentó 4.25% y *Chenopodium ambrosioides* y *Eucalyptus globulus* registraron el 4.75%. Los efectos de tratamientos en el porcentaje de grano dañado fueron significativos ($F= 25.63$, $p < 0.0001$). La comparación de medias de mínimos cuadrados indica que todos los tratamientos mostraron diferencia con respecto al control (Figura 10). Los extractos de *R. communis*, *H. latiflora* y *M. anisopliae* son los tratamientos que disminuyeron en mayor medida el porcentaje de grano dañado y no muestran diferencias entre sí ($p > 0.10$). El efecto de este último se considera estadísticamente igual al inducido por *C. ambrosioides* y *E. globulus*.

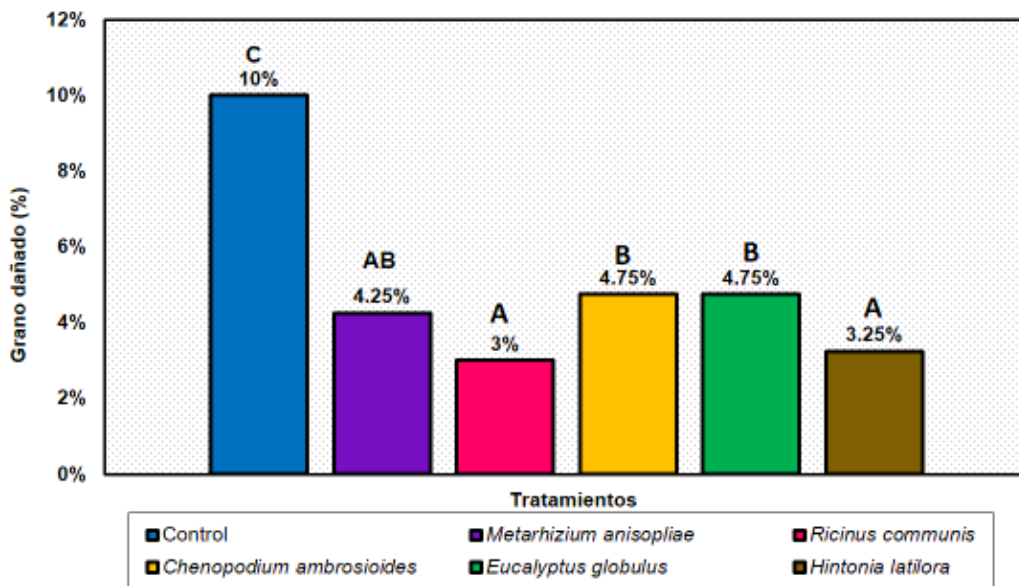


Figura 10. Porcentaje de grano dañado en maíz ocasionado por *Sitophilus zeamais* Motschulsky en respuesta a la aplicación de productos biorracionales.

6.3. Pérdida de peso del grano

El porcentaje de pérdida de peso del grano en el experimento osciló entre el 0.75 y 5.54% para los tratamientos. El extracto de *Ricinus communis* y el control indujeron la menor y la mayor pérdida respectivamente (Figura 11).

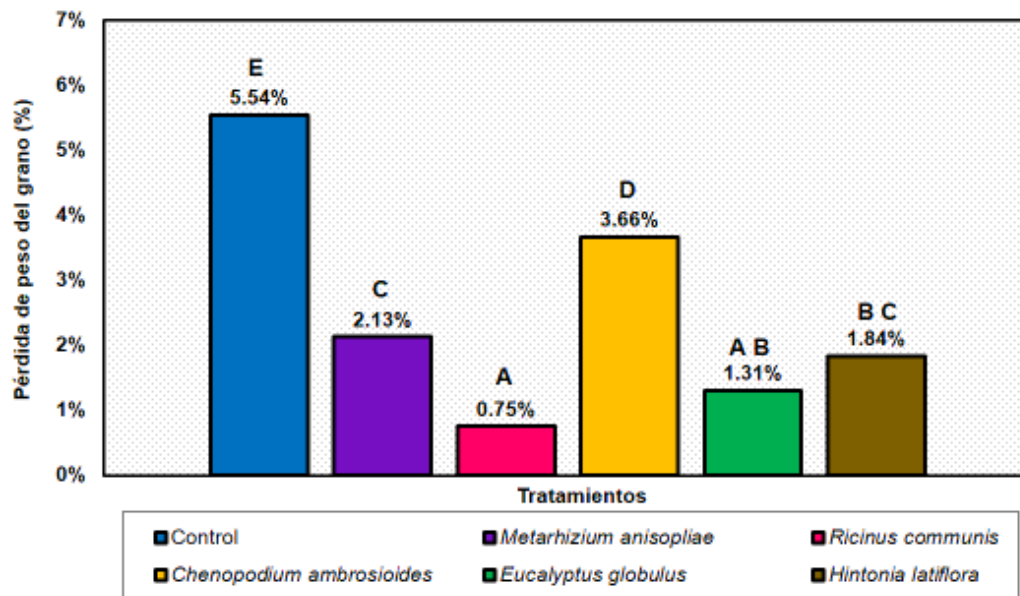


Figura 11. Reducción en el porcentaje de pérdida de peso del grano de maíz ocasionado por *Sitophilus zeamais* Motschulsky inducido por la aplicación de productos biorracionales.

Los tratamientos *Eucalyptus globulus*, *Hintonia latiflora*, *Metarhizium anisopliae* y *Chenopodium ambrosioides* fueron intermedios con 1.31, 1.84, 2.66 y 3.86% respectivamente. Los efectos de tratamientos en el porcentaje de pérdida de peso de grano fueron significativos ($F= 77.15$, $p < 0.0001$). La comparación de medias de mínimos cuadrados indica que todos los tratamientos mostraron diferencia con respecto al control. Los extractos de *R. communis* y *E. globulus* son los tratamientos que provocaron la menor pérdida del grano y no muestran diferencia entre sí ($p > 0.07$), aunque cabe mencionar que este último se le asocia con un efecto similar al de *H. latiflora*, el cual a su vez se comporta de manera similar a *M. anisopliae*, y los tratamientos de *C. ambrosioides* y el control se ubican en el penúltimo y último lugar, debido al gran porcentaje de pérdida de peso permitido en los granos de maíz con la aplicación de dichos productos (Cuadro 2).

Cuadro 2. Medias de grano dañado y pérdida de peso del grano (%) inducidas por la acción de *Sitophilus zeamais* Motschulsky sobre granos tratados con productos biorracionales.

Tratamientos	Grano dañado (%)	Pérdida de peso del grano (%)
Control	10.0 C	5.54 E
<i>Metarhizium anisopliae</i>	4.25 AB	2.13 C
<i>Ricinus communis</i>	3.0 A	0.75 A
<i>Eucalyptus globulus</i>	4.75 B	1.31 AB
<i>Chenopodium ambrosioides</i>	4.75 B	3.66 D
<i>Hintonia latiflora</i>	3.25 A	1.84 BC

Valores con la misma letra son estadísticamente iguales

6.4. Emergencia

El porcentaje de emergencia en los tratamientos fue contrastante, el control presentó un 100%, mientras que en *Chenopodium ambrosioides*, *Metarhizium anisopliae*, *Eucalyptus globulus*, *Ricinus communis* y *Hintonia latiflora*, se registró el 0% al término del experimento. Debido a la contundencia de los datos, fue imposible aplicar algún análisis estadístico, por lo que se debe

resaltar la alta eficacia de todos los tratamientos, sin distinción alguna sobre los efectos ocasionados por el control, en cuanto al manejo de esta variable.

VII. DISCUSIÓN

Los insectos plaga disminuyen la producción agrícola debido a que los daños por estos insectos afecta de manera directa los granos almacenados ocasionando pérdidas de grandes cantidades de estos, o disminuyen su calidad para el consumo humano o animal. Ante tal situación, se requiere buscar alternativas para su manejo, específicamente en maíz almacenado donde hay registros de pérdidas del 20% inducidas por el daño de *Sitophilus zeamais* (Pérez, 1993; Medina, 2001, García-Lara *et al.* 2003). Por estos antecedentes se estudiaron diversos biorracionales, estos tratamientos se evaluaron en las 4 variables teniendo como resultado que son significativamente diferentes del control, de igual manera todos alcanzaron el mínimo porcentaje de mortalidad requerido (>30%), mínimo porcentaje de emergencia (<50%) y un porcentaje de grano dañado y pérdida de peso muy inferior al que se presentó en el testigo, lo anterior indica que estos tratamientos reducen las poblaciones de picudo del maíz en condiciones de almacenamiento así como su nivel de daño. *Metarhizium anisopliae* ocasionó mortalidad del 67.5%, resultado que coincide con los estudios realizados por Archuleta *et al.*, (2012), en donde dos cepas de este hongo causaron la muerte del picudo del maíz en un 53-80%. Además, el efecto de la aplicación de este producto disminuyó el 50% de grano dañado y su pérdida de peso, por tal situación se infiere que los insectos se infectan y comen menores cantidades de grano, lo que repercute de manera positiva en la inhibición de la emergencia del insecto (100%).

En otros estudios, Kassa *et al.*, (2002) obtuvieron entre el 92-100% de mortalidad por *M. anisopliae* sobre *S. zeamais*, pero ellos aplicaron el producto con una técnica distinta: la inmersión, lo que permite un contacto directo del hongo con el insecto y a su vez supone una mayor posibilidad de infección, caso contrario a la metodología del presente trabajo, en el cual los granos se inocularon y se expusieron a los insectos para reflejar lo que sucede en campo.

La mortalidad del 100% por *R. communis* coincide con los resultados obtenidos por Mendoza *et al.*, (2016) donde ellos registraron un control del 100% sobre *S. zeamais* en condiciones de laboratorio con la aplicación de los metabolitos secundarios obtenidos a partir de su semilla, pero en un periodo menor de tiempo (92 h), posiblemente por el diferente método de obtención del extracto. Otro estudio hecho por Wale y Assegie (2015) sostiene que la aplicación de 2 ml de aceite de *R. communis* indujo una mortalidad del 85%, una hora después de la aplicación, aunque a pesar del buen resultado, este producto se recomienda cuando la finalidad del grano es consumo humano o animal ya que disminuye el porcentaje de germinación entre el 16 y el 49%, así como también una reduce el vigor según las concentraciones utilizadas, por lo tanto, no recomienda para la protección de grano almacenado destinado para semilla. También se ha evaluado el efecto insecticida de *R. communis* en polvo molido a base de semillas y hojas de esta planta y se obtuvieron resultados favorables, por ejemplo, Moo (2011) registro una mortalidad del 90% a dosis de 1 g por cada 300g de maíz a los 28 días de la aplicación, lo anterior, significa que esta opción es viable para su uso por pequeños productores, ya que su preparación requiere de menos equipo y por tanto, de menos inversión.

Aros *et al.*, (2019) registraron que los extractos etanólicos *C. ambrosioides* no superaron el 30% de mortalidad en adultos de picudo del maíz. En lo que respecta a este trabajo se encontró que la dosis más alta probada de este extracto (4%) alcanzó un 41.3% de reducción en la emergencia de la F1, situación que contrasta con los resultados que se reportan en este trabajo, en el cual se obtuvieron resultados del 100%, aunque cabe aclarar que se utilizó una concentración del extracto al 20%. Según investigaciones de Chu *et al.*, (2011), la acción insecticida del aceite de *C. ambrosioides* mostrada en el presente estudio y otros, se debe principalmente a la acción de 5 compuestos que esta planta posee, estos son el (2- carene, p-cymene, isoascaridole, α – terpinene y (Z)- ascaridole, siendo este último el más efectivo para el control de *S. zeamais*.

En cuanto al extracto de copalquin (*H. latiflora*), según Mata *et al.*, (2009), la corteza de este arbusto posee alto valor debido a la presencia de sus principios activos como aceite fijo, caucho, resinas, materia colorante, taninos, compuestos amargos, alcaloides, cucurbitacinas, flavonoides, fenilcumarinas y glucocurbitacinas (Camacho, 1990; Cristians *et al.*, 2009). Mientras que Harborne (1993) y Gross (2008) mencionan que los metabolitos secundarios de esta planta constituyen la defensa química para *H. latiflora*, reportándose efectos alelopáticos, fungicidas y sabores desagradables para herbívoros. Por tal motivo, se probó el extracto de cáscara, el cual indujo una mortalidad del 38.75% de los individuos de *S. zeamais*, reportando así su actividad insecticida contra plagas agrícolas, también destacó, que cuando la mortalidad no fue muy alta, el producto disminuyó el porcentaje de grano dañado (3.25 %) y pérdida de peso (1.84 %), lo que supone un efecto antialimentario inducido por las sustancias contenidas en el extracto, además, inhibió en su totalidad la emergencia de *S. zeamais*. Otro aspecto que es importante señalar es el efecto repelente que mostró aun cuando no fue evaluado, pero cuando se realizaron las evaluaciones de mortalidad se observó que los insectos permanecían alejados del grano, pero debido a las nulas investigaciones que se han realizado para evaluar las propiedades insecticidas de este producto, es necesario que este extracto se evalúe en diferentes dosis como polvo molido, sólo o en mezcla con carbonato de calcio para el control de plagas de almacén, ya que Silva *et al.*, (2003) determinó que la adición de esta sustancia potencializa el efecto del producto.

El extracto de eucalipto (*E. globulus*) ha sido ampliamente estudiado, en lo referente a la mortalidad alcanzó el 32.5%, pero fue el segundo mejor tratamiento en cuanto a la reducción de la pérdida de peso del grano, lo tanto, es un extracto prometedor. Para este extracto se han realizado pruebas para registrar si disminuye el porcentaje de germinación, por ejemplo, González *et al.*, (2016) evaluaron la aplicación del producto al 4 y 8% y determinaron que no influye su uso en el deterioro de la semilla dejando intacto su poder germinativo, lo que lo convierte en una mejor opción que *R. communis* para el control de la

plaga si el grano será utilizado para semilla. Por su parte Mossi *et al.*, (2011) concluyeron que el aceite de *E. globulus* posee un alto potencial como repelente, lo que coincide con los resultados manifestados en nuestro trabajo, que si bien no se evaluó este parámetro, este presentó en un menor porcentaje de grano dañado y pérdida de peso.

VIII. CONCLUSIONES

Todos los tratamientos son efectivos al inducir un porcentaje de mortalidad mayor al 30%, emergencia menor al 50% y una disminución un porcentaje de pérdida de peso y grano dañado considerablemente menor al provocado por el testigo.

El tratamiento más efectivo es el extracto de semilla *Ricinus communis*, que indujo el mayor porcentaje de mortalidad (100%), menor porcentaje de grano dañado (3%) y pérdida de peso (0.75%), así como también el 0% de emergencia. Este criterio es válido cuando la finalidad del grano almacenado sea el consumo humano o pecuario.

El extracto de hoja de *Eucalyptus. globulus* es el mejor tratamiento si la finalidad del maíz almacenado es para su uso como semilla, ya que indujo el 45% de mortalidad, redujo el porcentaje de grano dañado y de pérdida de peso a 4.25 y 1.38% respectivamente, y provocó una inhibición total de la F1 (0%).

El tratamiento de cáscara de *Hintonia latiflora* no fue el más efectivo de todos, pero si constituye una herramienta novedosa para el manejo de esta plaga.

IX. LITERATURA CITADA

- Abbott, W. S. S. 1925. A method of computing the effectiveness of an insecticide. J. Econ. Entomol. Cap. 18. 265-267 pp.
- Alean, C. I. (2003). Evaluación de la patogenicidad de diferentes hongos entomopatógenos para el control de la mosca blanca de la yuca *Aleurotrachelus* sociales Bondar (Homoptera: Aleyrodidae) bajo condiciones de invernadero. 2003. 107f. Trabajo de grado (Microbióloga Agrícola y Veterinaria) - Facultad de Ciencias Basicas, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá.
- Anaya, D.G.M. (1991). Estudio etnobotánico del complejo Quina en México. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F. 164 pp.
- Anderson, J. A., y Alcock, A. W. (1954). Storage of cereal grains and their products. *Storage of cereal grains and their products*.
- Ando, T.; Inomata, S.I.; Yamamoto, M. (2004). Lepidopteran sex pheromones. Topics on Current Chemistry. 239; 51-96.
- Annis, P.C. 1986. Towards rational controlled atmosphere dosage schedules: a review of current knowledge. Proc.4th work conf. Stored Product Protection, Tel Aviv, Israel.
- Archuleta, T.A., García, G.C., Ruelas, R.D., Gaxiola, C.L.A., López, M.A. (2012). Aislamiento de *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae* con medio selectivo y pruebas de toxicidad contra el gorgojo del maíz *Sitophilus zeamais*. Sociedad Mexicana de Entomología, Control biológico. 266-269.

- Arias, V. C. (1983) Distribución e importancia de los insectos que dañan granos y productos almacenados en Chile. FAO. Santiago de Chile.
- Arias, J., Silva, G., Figueroa, I., Fischer, S., Robles-Bermúdez, A., Rodríguez-Macié, J. C., & Lagunes, T. A. (2017). Actividad insecticida, repelente y antialimentaria del polvo y aceite esencial de frutos de *Schinus molle* L. Para el control de *Sitophilus zeamais* (motschulsky). *Chilean journal of agricultural & animal sciences*, 33(2), 93-104.
- Aros, J., Silva, A. G., Fischer, S., Figueroa, I., Rodríguez, M. J. C., Lagunes, T. A. y Aguilar, M. L. (2019). Actividad insecticida del aceite esencial del paico *Chenopodium ambrosioides* L. sobre *Sitophilus zeamais* Motschulsky. *Chilean journal of agricultural & animal sciences*, (ahead), 0-0.
- ASERCA (2009). “El manejo de los granos básicos” *Boletín ASERCA Regional Peninsular*. Núm. 21/09. Apoyos y Servicios a la Comercialización Agropecuaria (ASERCA), marzo.
- ASERCA. (2012). Síntesis Informativa nacional sobre los principales cultivos. Dirección de Estudios y Análisis de Mercados. Dirección General de Operaciones Financieras. <http://www.aserca.gob.mx/sicsa/boletineszip/sintesisNal.pdf>.
- Bahena, J. F. (2008). Enemigos Naturales de las Plagas Agrícolas. Del maíz y otros cultivos. Libro Técnico Núm. 5. SAGARPA – INIFAP. Uruapan, Michoacán, México. 180 p.
- Barranco F.E., Alatorre, R.R., Gutiérrez, R.M., Viniestra, G.G., Saucedo, C.G. (2002) Criteria for the selection of strains of entomopathogenic fungi *Verticillium lecanii* for solid state cultivation. *Enz. Microb. Technol.* 30: 910-915.

- Beltrán, R., L., Romero, M. A., Luna, C. M., Vibrans, H., Manzo, R. F., Cuevas, S. J., & García, M. E. (2015). Historia natural y cosecha de corteza de quina amarilla *Hintonia latiflora* (Rubiaceae). *Botanical sciences*, 93(2), 261-272.
- BDMTM. (2009). Biblioteca Digital de la Medicina Tradicional Mexicana. Universidad Nacional Autónoma de México. Consultado en: [www.medicinatradicionalmexicana.unam.mx/monografia.php?l=3&t=Copa lquin&id=7361](http://www.medicinatradicionalmexicana.unam.mx/monografia.php?l=3&t=Copa%20lquin&id=7361) en julio de 2019.
- Bello, A., Tello, J., López, P.J.A., García, A. A. (2002). Los sistemas agrarios mediterráneos como modelo agroecológico. En: Labrador, J., Porcuna, J. L., y Bello, A. (Eds). *Agricultura y Ganadería Ecológica*. SEAE, Mundi-Prensa. Madrid, España. p. 35-52.
- Birch, M. C. (1974). *Pheromones*. American Elsevier New York, p 495.
- Blanco Metzler, H. (2004). Las feromonas y sus usos en el manejo integrado de plagas. *Manejo Integrado de Plagas y Agroecología (CATIE) (no. 71) p. 112-118*.
- Bond, E.J. (1986). *Manual de fumigación para insectos*. FAO. Roma, Italia.
- Borror, D.J., De Long, D. and C. Triplehom. (1979). *A introduction to the study of insects*. Fifth edition. Saunders College Publishing. Philadelphia, New York, Chicago, San Francisco. 827 p.
- Brower, J., Smith, L., Vail, P., Flinn, P. (1996). *Biological Control* In: Subramanyam, B y D. Hagstrum (Eds). *Integrated Management of insects in Stored Products*. Marcel Dekker, Inc. New York. USA. p 223-286.

- Bye, R.A. (1986). Medicinal plants of the Sierra Madre: Comparative study of Tarahumara and Mexican market plants. *Economic Botany* 40:103-124.
- Camacho, C.M.R. (1990). Nuevos metabolitos secundarios de *Hintonia latiflora* (Sessé & Moc. ex DC.) Bullock, y aislamiento de compuestos bioactivos del *Teloxys graveolens* (Willd.) W.A. Weber. Tesis de Maestría en Ciencias Químicas, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F. 205 pp.
- Cañedo V, Alfaro A, Kroschel J. (2011). Manejo integrado de plagas de insectos en hortalizas. Principios y referencias técnicas para la Sierra Central de Perú. Centro Internacional de la Papa (CIP), Lima, Perú. 48 p.
- Carpaneto, B., Abadía, r., Bartosik, R. (2013). "Control integrado de plagas en granos almacenados y subproductos". Editorial: INTA. EEA Balcarce, Bs. As.
- Chu, S. S., Feng Hu, J., & Liu, Z. L. (2011). Composition of essential oil of Chinese *Chenopodium ambrosioides* and insecticidal activity against maize weevil, *Sitophilus zeamais*. *Pest Management Science*, 67(6), 714-718.
- Cisneros, V., F. H. (1980). Principios del control de las plagas Agrícolas. Editorial Gráfica Pacífic Press, El Surquillo, Perú 189 p.
- Cisneros, F. (1995). Control de plagas agrícolas. Lima. Perú.
- Coats, J. R. (1994). Risks from natural versus synthetic insecticides. *Annual Revision Entomology* 39, 489- 515
- CONABIO. (2009). Higuierilla: *Ricinus communis*. Malezas de México. Consultado en: <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/euphorbiaceae/ricinus->

communis/fichas/ficha.htm#2.%20Origen%20y%20distribuci%C3%B3n%20geogr%C3%A1fica en julio de 2019.

CONABIO. (2009). Epazote: *Chenopodium ambrosioides*. Malezas de México. Consultado en: <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/chenopodiaceae/chenopodium-ambrosioides/fichas/ficha.htm> en julio de 2019.

Cremlyn, R. (1995). Plaguicidas modernos y su acción bioquímica. Editorial Limusa. México, D.F. 335 p.

Cristians S., Guerrero, A. J.A., Pérez-Vásquez A., Palacios, E. F., Ciangherotti C., Bye R. y Mata R. (2009). Hypoglycemic activity of extracts and compounds from the leaves of *Hintonia standleyana* and *H. latiflora*: Potential alternatives to the use of the stem bark of these species. *Journal of Natural Products* **72**:408-413.

Cubillos, P. A. (1983). Estudio de evaluación de pérdidas de granos básicos postcosecha. Estación Experimental La Platina. Chile. Consultado en línea: <http://www.fao.org/3/X5030S/x5030S01.htm> en julio de 2019.

Curiel, R. (2013). MasAgro por la seguridad alimentaria y el desarrollo agrícola sustentable en México. *Claridades Agropecuarias (México)*. 237:9-18.

Del Palacio Montiel, C. (2009). Una mirada a la historia de la prensa en México desde las regiones: Un estudio comparativo (1792-1950). *Hib: Revista de Historia Iberoamericana*, 2(1), 80-97.

- Dell ' Orto, T. H., C. Arias V. (1985). Insectos que dañan granos y productos almacenados. Of, Reg. De la FAO para América Latina y el Caribe, Santiago de Chile.
- Delprete P.G. (2004). Rubiaceae. En: Smith N.P., Heald S.V., Henderson A., Mori S.A. y Stevenson D.W. Eds. *Flowering Plant Families of the American Tropics*, pp. 328-333, New York Botanical Garden Press, Princeton University Press, Nueva York.
- Díaz, J.L. (1976). Índice y sinonimia de las plantas medicinales de México. Monografías científicas I. IMEPLAN. México, D.F.
- Dietz, F.J., van der Ploeg, F., van der Straaten, J. 1991. Environment policy and the economy. Elsevier. 331 p.
- Domínguez U., J.E.; Marrero Artabe, L. (2010). Catálogo de la entomofauna asociada a almacenes de alimentos en la Provincia de Matanzas. Fitosanidad, v.14, n.2, p. 75-82.
- Durana, F. G. (2002). Riesgos laborales y uso responsable de plaguicidas en el acopio de granos. Tesis de licenciatura. Universidad Nacional de La Plata. Buenos Aires, Argentina. 92 p.
- El-Sayed, A. M., Suckling, D. M., Wearing, C. H., & Byers, J. A. (2006). Potential of mass trapping for long-term pest management and eradication of invasive species. *J. Econ. Entomol.* 99: 1550-1564.
- Eldridge, K.G., Davidson, J., Harwood, C., Wyk, G.V. (1993). *Eucalypt domestication and breeding*. Claredon Press.

ENCE, Grupo empresarial (2006) La gestión forestal sostenible y el eucalipto. Madrid, España. Consultado en: es.slideshare.net/.../la-gestin-forestal-sostenible-y-el-eucalipto-web en julio de 2019

Espinosa, F. J. y J. Sarukhán, (1997). Manual de Malezas del Valle de México. Claves, descripciones e ilustraciones. Universidad Nacional Autónoma de México. Fondo de Cultura Económica. México, D. F.

Estrella, S. M. V., y González Vázquez, A. (2017). *Desarrollo sustentable: un nuevo mañana*. Grupo Editorial Patria. 309 p.

FAO (2006). El maíz en la nutrición humana, Colección FAO-Alimentación y nutrición, N° 25. - Maíz y Nutrición, Informe sobre los usos y las propiedades nutricionales del maíz para la alimentación humana y animal, Recopilación de ILSI Argentina, octubre de 2006.

FAO. (2011). State of the world's forests. Food and Agriculture Organization of the United Nations.

FAO (2019). Insectos que dañan los productos almacenados. Consultado en línea:

<http://www.fao.org/3/x5053s/x5053s05.htm#Familia%20curculionidae> en julio de 2019.

FAOSTAT (2020) Food and Agriculture Organization of United Nations (FAO), Statistics Division, Roma. En: <http://www.fao.org/faostat/en/> . Consultado en mayo de 2020.

Fernández, L. A. B. (1982). Evaluación del crecimiento y productividad del monte bajo de *Eucalyptus globulus* en rotaciones sucesivas. Premio Excma. Diputación Pontevedra, 70 p.

- Fernández, S. R., Morales Chávez, L. A., & Gálvez Mariscal, A. (2013). Importancia de los maíces nativos de México en la dieta nacional: Una revisión indispensable. *Revista fitotecnia mexicana*, 36, 275-283.
- Franco, M.O., Castañeda V.A., Sánchez, P. J. R. (2017). Manejo sustentable de plagas de algunos cultivos de importancia económica en el Estado de México. Universidad Autónoma del Estado de México. p. 231-246.
- Gallegos, M.G., Cepeda, S.M., y Olayo, P.R. (2003). Entomopatógenos, Editorial Trillas, México, D.F. p. 59-75.
- García, J. L. M., Báez, J. R. C., & Mondaca, E. C. (1994). Manejo integrado de plagas en granos almacenados. *Tecnologías de Granos y Semillas*, 109.
- García, R. I. (1992). Susceptibilidad de *Sitophilus zeamais* Motsch (Coleoptera: Curculionidae) e insecticidas de diferentes grupos toxicológicos de tres áreas de Veracruz. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila. Instituto de ciencia y cultura. 54 p.
- García, S., & Bergvinson, D. (2007). Programa integral para reducir pérdidas postcosecha de maíz. *Agricultura técnica en México*.
- García, L. S.; Burt, A. J.; Serratos J. A.; Díaz-Pontones, D. M.; Arnason, J. T. and Bergvinson, D. (2003). Defensas naturales en el grano de maíz al ataque de *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae): mecanismos y bases de la resistencia. *Rev. Educ. Bioquímica*. 22:138-145.
- García, L. S., Espinosa Carrillo, C., & Bergvinson, D. J. (2007). *Manual de plagas en granos almacenados y tecnologías alternativas para su manejo y control*. CIMMYT.

- Georghiou, G. P. (1991). Insecticides Resistance and Prospects for its management. *Residue Reviews*, Vol. 76. Pp.136.
- Gibson, T. E. (1965). *Veterinary Anthelmintic Medication*, St. Albans, Herts., Technical Communication #33 of the Commonwealth Bureau of Helminthology.
- Gillespie, A. T., Claydon, N. (1989). The use of entomogenous fungi for pest control and the role of toxins in pathogenesis. *Pesticide Sci*, v. 27, p. 203-215. <http://dx.doi.org/10.1002/ps.2780270210>
- Gómez, B., & Jones, R. W. (2002). Manual de métodos de colecta, preservación y conservación de insectos. *Chiapas: El Colegio de la Frontera Sur*.
- Gómez, H. H. A., González, M. O., & González, C. J. C. (2018). Vegetales pulverizados para el manejo de *Sitophilus zeamais* Motschulsky en almacenamiento. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 9(4), 787-798.
- González, R., Silva, G., Urbina, A., & Gerding, M. (2016). Aceite esencial de *Eucalyptus globulus* Labill Y *Eucalyptus nitens* H. Deane & Maiden (Myrtacea) para el control de *Sitophilus zeamais* Motschulsky. *Chilean Journal of Agricultural & Animal Sciences*, 32(3), 204-216.
- Granados, G.; Paliwal, R. (2001). Mejoramiento para resistencia a los insectos. Consultado en línea: <https://curlacavunah.files.wordpress.com/2010/04/el-maiz-en-los-tropicos.pdf> en julio de 2019.
- Gross, G.G. (2008). From lignin to tannins: Forty years of enzyme studies on the biosynthesis of phenolic compounds. *Phytochemistry* 69:3018-3031.

- Guédez, C., Castillo, C., Cañizales, L., & Olivar, R. (2008). Control biológico: una herramienta para el desarrollo sustentable y sostenible. *Academia*, 7(13), 50-74.
- Gutiérrez, D. L. J. (1990). Insectos que infestan los granos y productos almacenados (listado de especies reportadas a nivel mundial). Soc. Mex. Ent. Ed. Mex. Postcosecha. 46 p.
- Hajek AE (1997) Ecology of terrestrial fungal entomopathogens. *Adv. Microb. Ecol.* 15: 193-249.
- Haliscak, J. P., Beeman, R.W. (1983). Status of malathion resistance in five genera of beetles infesting farm-stored corn, wheat, and oats in the United States. *J. Econ. Entomol.* 76: 717-722.
- Halstead, D. G. H. (1963). External sex differences in stored-products Coleoptera. *Bulletin of Entomological Research*, 54 (01): 119-134.
- Harborne, J.B. (1993). Introduction to ecological biochemistry. London, Acad. Press.
- Harborne J.B. (1993). *The Flavonoids: Advances in Research Since 1986*. Chapman & Hall, Londres.
- Hegedus D., Khachatourians G. (1995) The impact of biotechnology on hyphomycetous fungal insect biocontrol agents. *Biotechnol. Adv.* 13: 455-490.
- Hinton, H. E. and Corbet, A.S. (1995). Common Insect Pest of Stored Products, a Guide to their Identification. Ed. British Museum (Natural History). Economic Series 5. London, England.

Harwood, C., (2011). Introductions: Doing it Right. In 'Developing a Eucalypt Resource: Learning from Australia and Elsewhere'. (Ed. J Walker) pp. 43-54. (Wood Technology Research Centre, University of Canterbury: Christchurch, New Zealand). Consultado en: <http://www.crcforestry.com.au/newsletters/downloads/Harwood-paper-NZConference-2011-final.pdf> julio de 2019.

Jian, F. y Jayas, D. S. (2012) "The Ecosystem Approach to Grain Storage". *Agricultural Research*, vol. 1, no. 2. pp. 148-156, ISSN 2249-720X, 2249-7218, DOI 10.1007/s40003-012-0017-7.

Jones, R.L. (1994) Role of field studies in assessing environmental behavior of herbicides. Proc. Brighton crop protection conference. Weeds. Vol. 3. Brighton, RU. pp. 1275-1282.

Karlson, P., Butenandt, A. (1959). Pheromones (Ectohormones) in insects. *Annual Reviews of Entomology*, 4: 39- 58.

Kassa, A., Zimmermann, G., Stephan, D., & Vidal, S. (2002). Susceptibility of *Sitophilus zeamais* (Motsch.)(Coleoptera: Curculionidae) and *Prostephanus truncatus* (Horn)(Coleoptera: Bostrichidae) to entomopathogenic fungi from Ethiopia. *Biocontrol Science and Technology*, 12(6), 727-736.

La Billardiére, J.H. (1799). Relation du voyage a la recherche de La Pérouse, 1791-1794, vol. 2. París, *Imprimeries de La Sorbonne*.

Laclau, J.P., Almeida J.C., Alves, J.L., Saint, A. L., Ventura, M., Ranger, J., Moreira, R.M., & Nouvellon, Y. (2009). Influence of nitrogen and potassium

fertilization on leaf life and allocation of above-ground growth in *Eucalyptus* plantations. *Tree Physiology* 29: 111-124.

Lindblad, C., & Druben, L. C. (1986). *Almacenamiento de granos*. CONCEPTO, 331 p.

Longstaff, C. (1981). Biology of the grain pest, species of the genus *Sitophilus* (Coleóptera: Curculionidae) a critical review. *Protection Ecol.* 2:83-130.

López, L.I.L.V.; Hans, B. J. (2011) Biodiversidad del suelo: control biológico de nematodos fitopatógenos por hongos nematófagos. *Cuaderno de Biodiversidad*, v. 3, n. 6, p. 12 – 15.

McVaugh, R., (1987). Leguminosae. En: W. R. Anderson (ed.). *Flora Novo-Galiciana. A descriptive account of the vascular plants of Western Mexico*, Vol. 5. The University of Michigan Press, Ann Arbor, Michigan. Martínez, M.P. (1979). *Catálogo de nombres vulgares y científicos de plantas mexicanas*. Fondo de Cultura Económica. México, D.F.

Martínez, M.P. (1989). *Las plantas medicinales de México*. Ed. Botas. México.

Mata R., Navarrete A., Cristians S., Hersch P. y Bye R. (2009). *Plantas Medicinales de México. Monografía Científica. Pruebas de Control de Calidad (Identificación y Composición), Eficacia y Seguridad. Copalchi-Hintonia latiflora (Sessé et Mociño ex DC.) Bullock (Rubiaceae)*. Sentido Giratorio Ediciones, México, D.F.

Matute, D., R. Trabanino. (1999). *Manejo integrado de plagas invertebradas en Honduras. Sección 1. Reconocimiento y manejo de las principales plagas*. Zamorano Academia Press. Honduras.

- Medrano, G. M. I. (2000). Evaluación de tres productos orgánicos para el control del gorgojo del maíz *Sitophilus zeamais* M, en granos almacenados en el municipio de Chiquimula, Departamento de Chiquimula. Tesis de licenciatura. Universidad de San Carlos de Guatemala. Chiquimila, Guatemala. 40 p.
- Mejía. O.R. (2003). Estudio de efectividad biológica de insecticidas en las siguientes plagas de granos almacenados: *Sitophilus granarius* (L), *Prostephanus truncatus* (Horn) y *Tribolium confusum* (Duval). Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN). Saltillo, Coahuila. 68p.
- Mendoza Elos, M., Rodríguez Perez, G., Guevara Acevedo, L. P., Andrio Enríquez, E., Rangel Lucio, J. A., Rivera Reyes, J. G., & Cervantes Ortiz, F. (2016). Bioinsecticidas para el control de plagas de almacén y su relación con la calidad fisiológica de la semilla. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 7(7), 1599-1611.
- Mestries, F. (2009). La crisis de la tortilla en los albores del sexenio de Felipe Calderón. ¿Libre mercado o ley de los monopolios?. *El cotidiano*, (155), 87-93.
- Metcalf y Flint. (1982) Insectos destructivos e insectos útiles. Sus costumbres y control. CECSA, 1208 p.
- Monzón, A. (2001) Producción, uso y control de calidad de hongos entomopatógenos en Nicaragua. Manejo Integrado de Plagas. (CATIE, Costa Rica) 63: 95-103.

- Moo, M. (2011). Evaluación de diferentes polvos vegetales para el control del gorgojo del maíz (*Sitophilus zeamais* Motschulsky). Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Coahuila, México. 58 p.
- Morales, H., Ramírez, P., Liere, H., Rodas, S., & López, J. C. (2010). Revalorando viejas prácticas mayas de manejo de plagas del maíz almacenado para la agricultura del futuro. *Agroecología*, 5, 63-71.
- Mossi, A. J., Astolfi, V., Kubiak, G., Lerin, L., Zanella, C., Toniazzo, G. y Restello, R. (2011). Insecticidal and repellency activity of essential oil of *Eucalyptus* sp. against *Sitophilus zeamais* Motschulsky (Coleoptera, Curculionidae). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 91(2), 273-277.
- Motta D. P. A., & Murcia-Ordoñez, B. (2011). Hongos entomopatógenos como alternativa para el control biológico de plagas. *Ambiente & Agua-An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, 6(2), 77-90.
- Moya, O., Aldana, R., & Bustillo, A. (2015). Eficacia de trampas para capturar *Rhynchophorus palmarum* (Coleoptera: Dryphthoridae) en plantaciones de palma de aceite. *Revista Colombiana de Entomología*, 41(1), 18-23.
- Mummert, G. (Ed.). (1987). *Almacenamiento de productos agropecuarios en México*. El Colegio de Michoacán AC. 363 p.
- Nascimento, F. R. F., Cruz, G.V.B., Pereira, P.V.S., Maciel, M.C.G., Silva, L.A., Azevedo, A.P.S., Barroqueiro, E.S.B., Guerra, N.M. (2006). Ascitic and solid Ehrlich tumor inhibition by *Chenopodium ambrosioides* L. treatment. *Life Sci.*, 78(22):2650- 2653.

- Nava, P. E., García, G. C., Camacho-Báez, J. R., & Vázquez-Montoya, E. L. (2012). Bioplaguicidas: una opción para el control biológico de plagas. *Ra Ximhai*, 8(3), 17-29.
- Nava, P. E., Hurtado, P. G., Báez, J. R. C., Valdez-Torres, B., Ruiz, C. R. B., & Herrera-Flores, R. (2010). Utilización de extractos de plantas para el control de gorgojo pardo *Acanthoscelides obtectus* (Say) en frijol almacenado. *Ra Ximhai: revista científica de sociedad, cultura y desarrollo sostenible*, 6(1), 37-44.
- Niks, R.E., Ellis, P.R. & Parlevliet, J.E. (1993). Resistance to parasites. In M.D. Hayward, N.O. Bosermark & I. Romagosa, eds. Plant breeding: principles and prospects, p. 422-447. London, Chapman & Hall.
- Ocampo, R.A. (1994). *Domesticación de plantas medicinales en Centroamérica*. Informe técnico N° 245. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Turrialba.
- Orozco, P.M.I. (2016). Actividad insecticidas y antixenótica del aceite de *Chenopodium abrosioides* L. (Chenopodiaceae) silvestre sobre *Sitophilus zeamais* Motschulsky (Coleóptera, Curculionidae). Tesis de maestría. Universidad de Concepción. Concepción, Chile. 54 p.
- Ortega, A. (1987). *Insectos nocivos del maíz: una guía para su identificación en el campo*. Cimmyt.
- Ortiz, R. M. Á., Ramírez, A. O., González, E. J. M., & Velázquez, M. A. (2015). Almacenes de maíz en México: tipología y caracterización. *Estudios sociales (Hermosillo, Son.)*, 23(45), 163-184.

- Painter, R. (1951). *Insect Resistance in crop plants*. The University Press of Kanasa, USA. 520 p.
- Paiva, J. (1997). *Eucalyptus globulus* Labill. (Real Jardín Botánico) Castroviejo et al. (eds.), *Flora ibérica*. 8. 80 pp.
- Paliwal, R. L. (2001). d. Origen, evolución y difusión del maíz. *El maíz en los trópicos. Mejoramiento y producción. Colección FAO: Producción y Protección Vegetal*, 28, 5-9.
- Padilla Álvarez, O. E. (2015). *Metodologías de tratamiento del gorgojo Sitophilus zeamais en maíz almacenado, como un aporte al manejo agroecológico de plagas*. Tesis de maestría.
- Pardos, J. (2007). Perspectiva fisiológica en la producción y mejora del eucalipto (con énfasis en *Eucalyptus globulus* Labill.) *Boletín del CIDEU*, 3: 7-55.
- Perales R., Hugo R. (2009). Maíz, riqueza de México *Ciencias*, Núm. 92 – 93. Universidad Nacional Autónoma de México. México. Pp. 46-55.
- Pérez, J. M. (1993). Uso de polvos minerales y vegetales para el control de insectos de almacén. En *insectos de granos almacenados, biología, daños, detección y combate*. pp: 18-22.
- Pérez, M. J. (1988). Susceptibilidad a insecticidas en poblaciones del picudo del maíz *Sitophilus zeamais* Motschulsky (Coleoptera: Curculionidae) de varias localidades de México. Tesis de Maestría. Chapingo, México. Colegio de Postgraduados. 142 p.

- Pérez, S., J., Ángel, R. M. D., & Pérez-Ángel, E. I. (2017). Actividad insecticida de polvos vegetales contra gorgojo de maíz *Sitophilus zeamais* Motchulsky (Coleoptera: Curculionidae). *Entomología mexicana*, 4: 203–207.
- Pingali, P. L., Pandey, S. (2001). World maize needs meeting: Technological opportunities and priorities for the public sector. *In*: Pingali, P. L. (ed.). CIMMYT 1999-2000. World maize facts and trends. meeting world maize needs: Technological opportunities and priorities for the public sector. Centro Internacional para el Mejoramiento de Maíz y Trigo. El Batán, Estado de México, México.
- Pizano, M. (2014). Eliminación del bromuro de metilo en países en vías de desarrollo. *Una historia de éxito y sus retos. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. París.*
- Pucheta, D.M., Flores M. A., Rodriguez, N.S.; de la torre, M. (2006). Mecanismo de acción de los hongos entomopatógenos. *INCI*, v. 31, n. 12, p. 856-860.
- Quinlan, M. B., Quinlan, R.J., Nolan, J.M. (2002). Ethnophysiology and herbal treatments of intestinal worms in Dominica, West Indies. *J. Ethnopharmacol.*, 80(1):75-83.
- Ramírez, H. G., Granja, A. Z., Del Aguila, E. T., & Cantoral, M. T. (2014). Manual de producción y uso de hongos entomopatógenos. *Peru: Servicio Nacional de Sanidad Agraria*. 37 p.
- Ramírez G., M. (1974). Almacenamiento y conservación de granos y semillas. Ed. CECSA 2a. impresión. 1966. México, D. F., 300 p.
- Ramírez, M.M., González, J.J., Olmos, J.J. Y Márquez, J.M. (1993). Entomofauna en los sistemas de almacenamiento de maíz y sorgo en San Juan de los

Lagos, Jal. Memorias del XXVIII Congreso de Entomología. Sociedad Mexicana de Entomología. Cholula, Puebla. 366 p.

Raymond, C.A. (2002). Genetics of *Eucalyptus* wood properties. *Animals of Forest Science*, 59(5-6): 525-531.

Rees, D. (2004). Insects of Stored products. CSIRO. Australia. 181pp.

Reyes, G.R., Borboa, F. J., Cinco, M. F. J., Rosas, B. E. C., Osuna, A. P. S., Wong, C. F. J., León, L. J. D. (2012). Actividad insecticida de aceites esenciales de dos especies de *Eucalyptus* sobre *Rhyzopertha dominica* y su efecto en enzimas digestivas de progenies. *Revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente*, 18(3), 385-394.

Rzedowski, G. C. de y J. Rzedowski. (2001). Flora fanerogámica del Valle de México. 2a ed. Instituto de Ecología y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Pátzcuaro, Michoacán, México.

Riveros, H., Moran, L., Baquero, M., Blanco, M., Santacoloma, P., & Tartanac, F. (2006). Gestión de agronegocios en empresas asociativas rurales. *Curso de capacitación, módulo, 2*.

SAGARPA (2008) Comunicado No. 192/08. *La producción de alimentos aumentará por encima del crecimiento de la población: ACJ*. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (Sagarpa) México D. F., 2 de octubre.

Salas, J. (1984). Protección de semillas de Maíz contra el ataque de *Sitophilus orizae* a través del uso de aceites vegetales. Venezuela. *Agronomía Tropical* 35 (4-6): 13-18.

- Salgado, M. I. C. (2008). Uso de insecticidas naturales para el control de plagas. *Inventio, la génesis de la cultura universitaria en Morelos*, (7), 57-60.
- SAS Institute. (2016). The SAS System SAS Institute 2016 for Windows. Version 9.4.
- Schoonhoven, L.M. (1981). Chemical mediators between plants and phytophagous insects. In *Semiochemicals: their role in pest control*. Nordlung, DA; Jones, RL; Lewis, WJ. Eds. London, Wiley, p.31-50.
- SENASICA (2016). Acciones para mejorar el estatus fitosanitario del país. Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y calidad alimentaria.
- Shreve F, Wiggins I. (1964). *Vegetation and Flora of the Sonoran Desert*. Volume One. Stanford University Press, Stanford, California, 840 pp.
- SIAP (2020). Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera. Consultado en mayo de 2020.
- Silva, G.; Lagunes, A.; Rodríguez, J. C.; Rodríguez, D. (2002). Insecticidas vegetales; una vieja-nueva alternativa en el control de plagas. *Revista Manejo Integrado de Plagas (CATIE)*.
- Silva, G., Lagunes, A., & Rodríguez, J. (2003). Control de *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae) con polvos vegetales solos y en mezcla con carbonato de calcio en maíz almacenado. *Ciencia e Investigación Agraria*, 30(3), 153-160.

- Smith, M.E., Córdova, H.S. (1987). Selección y evaluación de resistencia a *Helminthosporium turcicum* en los pooles subtropicales de maíz del CIMMYT. In 33. Reunión Anual del PCCMCA, Guatemala, p. 6.
- Smith, R.F., Reynolds, H.T. (1966). Principles, definition and scope of integrated pest control. In: Proc. FAOS Symposium on integrated pest control, Rome, Italy pp. 1:11-17.
- Stehr, F. W. (1975). Parasitoids and predators in pest management. Cap. 5. En Introduction to insect pest management. Metcalf, R. L. & W. H. Luckmann, eds. John Wiley & Sons, Inc. New York, London, Sydney, Toronto. 587 p.
- St. Leger, R. J.; Roberts, D. W. (1997). Engineering improved mycoinsecticides. Trends Biotechnol., v. 15, p. 83-87, 1997. [http://dx.doi.org/10.1016/S0167-7799\(96\)10071-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0167-7799(96)10071-8).
- Tapia, R. (2000). Riesgos por el uso de agroquímicos y medicamentos en la producción de alimentos. In *Anales de la Universidad de Chile* (No. 11).
- Trujillo, F. A., Pérez, M. P. H., & Borrayo, Y. C. (2011). Intoxicación por fosfina en el personal sanitario. *Gaceta Médica de México*, 147(4), 350-354.
- Thomas, W. (1997). Impacto ambiental de bromuro de metilo. *Alternativas al Bromuro de Metilo en Agricultura* (Bello A, Gonzáles JA, Pérez Parra J, Tello J, eds.). Junta Andalucía, Sevilla, España, 13-18.
- Ugochukwu, S. C., Uche, A., & Ifeanyi, O. (2013). Preliminary phytochemical screening of different solvent extracts of stem bark and roots of *Dennetia tripetala* G. Baker. *Asian Journal of Plant Science and Research*, 3(3), 10-13.

- Vallejo, F.; Estrada, E. (2002). Mejoramiento genético de plantas. Universidad Nacional de Colombia. DIPAL. Palmira, Colombia. 404 p.
- Vanderplank, J.E. (1984). Disease resistance in plants, 2nd ed. Orlando, FL, USA, Academic Press.
- Villaseñor R., J. L. y F. J. Espinosa G. (1998). Catálogo de malezas de México. Universidad Nacional Autónoma de México. Consejo Nacional Consultivo Fitosanitario. Fondo de Cultura Económica. México, D.F.
- Wale, M., & Assegie, H. (2015). Efficacy of castor bean oil (*Ricinus communis* L.) against maize weevils (*Sitophilus zeamais* Mots.) in northwestern Ethiopia. *Journal of Stored Products Research*, 63, 38-41.
- Weatherston, I. (1990). Principles of design of controlled-release formulations. Behavior modifying chemicals for insect management applications of pheromone and other attractants. Edited by R.L. Ridgway, R.M. Silverstein, and M.N. Inscoe. Marcel Dekker Inc., New York. pp. 93–112.
- Wilkes, G. y M.M. Goodman. (1995). Mystery and missing links: the origin of maize. In: S. Taba (ed.), *Maize Genetic Resources*, p. 1-6. México: Centro Internacional para el Mejoramiento de Maíz y Trigo.
- Wood, W. F. (1983) *Journal of Chemical Education*, 60:7, 531
- Wright, S., Carruthers, R., Bradley, C., Jaronsky, S., Lacey, L., Wood, P., Galaini, W.S (1998) Pathogenicity of the entomopathogenic fungi *Paecilomyces* spp. and *Beauveria bassiana* against the silverleaf whitefly, *Bemisia argentifolii*. *Biol. Control* 17: 203-217.

Zimmermann, G. (1993). The entomopathogenic fungus *Metarhizium anisopliae* and its potential as a biocontrol agent. *Pesticide Science*, 37(4), 375-379.

