

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE PARASITOLOGÍA



Polvos Vegetales como Alternativa de Control del Gorgojo del Maíz *Sitophilus zeamais* (Motschulsky) en Maíz Almacenado

Por:

JOSÉ IVER VELASCO PÉREZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO PARASITÓLOGO

Saltillo, Coahuila, México

Febrero, 2023

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE PARASITOLOGÍA

Polvos Vegetales como Alternativa de Control del Gorgojo del Maíz *Sitophilus zeamais* (Motschulsky) en Maíz Almacenado

Por:

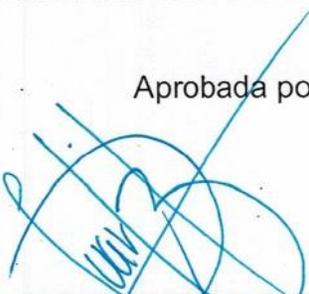
JOSÉ IVER VELASCO PÉREZ

TESIS

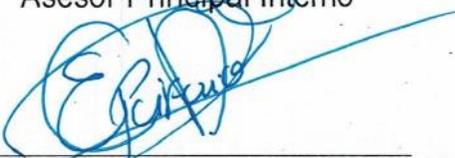
Presentada como requisito parcial para obtener el título de

INGENIERO AGRÓNOMO PARASITÓLOGO

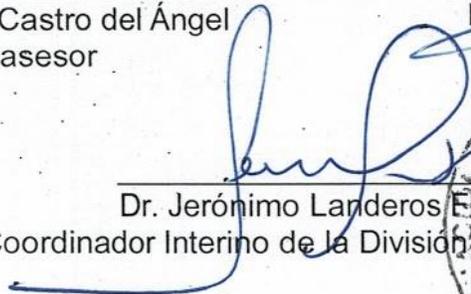
Aprobada por el Comité de Asesoría


Dr. Agustín Hernández Juárez
Asesor Principal Interno


Dra. Miriam Sánchez Vega
Asesor Principal Externo


Dr. Epifanio Castro del Ángel
Coasesor


M.C. Aída González Ruíz
Coasesor


Dr. Jerónimo Landeros Flores
Coordinador Interino de la División de Agronomía



Saltillo, Coahuila, México

Febrero, 2023

Declaración de no plagio

El autor quien es el responsable directo, jura bajo protesta de decir verdad que no se incurrió en plagio o conducta académica incorrecta en los siguientes aspectos:

Reproducción de fragmentos o textos sin citar la fuente o autor original (corta y pega); reproducir un texto propio publicado anteriormente sin hacer referencia al documento original (auto plagio); comprar, robar o pedir prestados los datos o la tesis para presentarla como propia; omitir referencias bibliográficas o citar textualmente sin usar comillas; utilizar ideas o razonamientos de un autor sin citarlo; utilizar material digital como imágenes, videos, ilustraciones, gráficas, mapas o datos sin citar al autor original y/o fuente, así mismo tengo conocimiento de que cualquier uso distinto de estos materiales como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por las autoridades correspondientes.

Por lo anterior me responsabilizo de las consecuencias de cualquier tipo de plagio en caso de existir y declaro que este trabajo es original.

Pasante



José Iver Velasco Pérez

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por haberme dado la dicha vivir esta vida y haberme acompañado y guiado a lo largo de mi carrera, por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad y por brindarme una vida llena de aprendizajes, experiencias y sobre todo por permitirme realizar uno de mis más grandes sueños.

A mi Alma Terra Mater, la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, por abrirme las puertas y formarme profesionalmente, por darme las herramientas para poder concluir con mi carrera profesional.

A mi asesor principal, Dr. Agustín Hernández Juárez por todo el tiempo de amistad y buenos consejos y por el apoyo incondicional durante la realización de esta investigación, apoyando con el material, haciendo revisiones, aconsejándome y por confiar en mí como su tesista.

A la **Dra. Miriam Sánchez Vega, Dr. Epifanio Castro del Ángel y M.C. Aideé González Ruíz** por ser partícipe en la redacción de este documento y por el apoyo mostrado.

A mis maestros del Departamento de Parasitología y demás áreas por otorgarme los conocimientos que he adquirido en mi formación como Ing. Agrónomo Parasitólogo.

A todos mis compañeros y amigos de licenciatura con quienes pase buenos momentos y llevo guardados bonitos recuerdos, en especial a Librado Castillo Rodríguez, Juan Manuel Juárez Ozuna, Ricardo Zayit Luviano Jaimes, María Elena Hernández Araiza y Alonso Villatoro Ventura quienes me brindaron su apoyo y amistad incondicionalmente durante mi estancia en esta institución

A mis Compañeros y Amigos de cuarto Eric Javier Santiago López, Alan de Jesús López Hernández por su recibimiento, consejos y apoyo por salir adelante en la carrera.

DEDICATORIAS

A mis padres, Ysmael Velasco López y Flor de María Pérez García, por ser los primordiales promotores de mis sueños y quienes siempre me mostraron su apoyo, cariño, me dieron consejos y me brindaron la oportunidad de estudiar una carrera, porque gracias a sus consejos me han convertido en un hombre de bien.

A mis hermanos, Ronely Velasco Pérez y Karen Guadalupe Velasco Pérez, por compartir grandes momentos de felicidad en mi vida, darme su apoyo incondicional, confiar en mí y por esa buena relación.

A mi cuñada, Guadalupe Pérez Hernández, gracias por cada consejo y por todas sus enseñanzas, por el apoyo moral y por su cariño.

A mis abuelos, por su cariño, palabras de fortaleza y aliento para no desistir en el cumplimiento de esta meta.

A mi familia Pérez, por los ánimos y el apoyo brindado.

ÍNDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS.....	III
DEDICATORIAS.....	IV
ÍNDICE DE CONTENIDO	V
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VIII
ÍNDICE DE CUADROS.....	IX
RESUMEN	X
INTRODUCCIÓN	1
Justificación.....	3
Objetivos	3
Objetivo General.....	3
Objetivos Específicos	3
Hipótesis	4
REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
Generalidades del Cultivo del Maíz	5
Origen del maíz	5
Importancia del maíz	5
Clasificación taxonómica	6
Producción del maíz	6
Características agronómicas	7
Raíz.....	7
Tallo.....	7
Hojas	8
Inflorescencia	8
Métodos de Almacenamiento de Granos y Semillas en México.....	9
Almacenamiento a granel	10
Almacenamiento en sacos.....	10
Almacenamiento hermético	10
Principales Enemigos de los Granos y Semillas en Almacén	10
Tipos de plagas para el maíz en almacén.....	11
Gorgojo del Maíz <i>Sitophilus zeamais</i>	12
Origen y distribución.....	12
Daños.....	13

Clasificación taxonómica	13
Descripción Morfológica de <i>S. zeamais</i>	14
Huevo	14
Larva	14
Pupa.....	15
Adulto	16
Ciclo de vida.....	17
Métodos de Control para Combatir las Plagas de Almacén.....	18
Control biológico.....	18
Prácticas culturales	19
Control físico	19
Control químico	19
Polvos vegetales como insecticidas	20
Distribución.....	20
Propiedades de la gobernadora.....	20
Clasificación taxonómica	21
Pirul <i>Schinus molle</i> Carlos L., 1753	22
Distribución.....	22
Propiedades del pirul	22
Clasificación taxonómica	24
Pimienta <i>Piper nigrum</i> Carlos L., 1753	24
Distribución.....	25
Propiedades de la pimienta	25
Clasificación taxonómica	26
MATERIALES Y MÉTODOS	27
Localización del Experimento.....	27
Recolecta de Material Vegetal y Organismos Plaga	27
Material vegetal	27
Organismos plaga	27
Preparación de Polvos Vegetales.....	28
Establecimiento de Bioensayos.....	28
Condiciones de trabajo.....	28
Bioensayos para la evaluación de repelencia de los polvos vegetales	28
Bioensayos para la evaluación de control de los polvos vegetales y efecto en la calidad de la semilla.	29

Parámetros a evaluar	30
Análisis estadístico de los datos	32
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	33
Repelencia de Polvos Vegetales sobre el Gorgojo del Maíz <i>Sitophilus zeamais</i> Motschulsky (Coleoptera: Curculionidae)	33
Evaluación de Polvos Vegetales para el Control del Gorgojo del Maíz <i>Sitophilus zeamais</i> Motschulsky (Coleoptera: Curculionidae)	34
Mortalidad por efecto de gobernadora	34
Mortalidad por efecto de pirul	35
Mortalidad por efecto de pimienta.....	37
Evaluación de Polvos Vegetales en la Calidad de la Semilla de Maíz	38
CONCLUSIONES	50
LITERATURA CITADA.....	52

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Partes de la planta de maíz (Agroecología, 2019)	9
Figura 2. Huevos del gorgojo del maíz (Antunes <i>et al.</i> , 2010).....	14
Figura 3. Larva del gorgojo del maíz (Antunes <i>et al.</i> , 2010).....	15
Figura 4. Pupa del gorgojo del maíz (Antunes <i>et al.</i> , 2010)	15
Figura 5. Gorgojo del maíz (Plantwise, 2011)	16
Figura 6. Diferencia del rostro del macho (A) y de la hembra (B) del gorgojo del maíz (Antunes <i>et al.</i> , 2010)	16
Figura 7. Ciclo de vida de <i>Sitophilus zeamais</i> (CSIRO, 2004)	17

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Índice de repelencia del gorgojo del maíz <i>Sitophilus zeamais</i> en maíz tratado con tres polvos vegetales.....	33
Cuadro 2. Mortalidad de gorgojo del maíz <i>Sitophilus zeamais</i> en maíz tratado con polvo de <i>Larrea tridentata</i>	34
Cuadro 3. Mortalidad de gorgojo del maíz <i>Sitophilus zeamais</i> en maíz tratado con polvo de <i>Schinus molle</i>	36
Cuadro 4. Mortalidad de gorgojo del maíz <i>Sitophilus zeamais</i> en maíz tratado con polvo de <i>Piper nigrum</i>	37
Cuadro 5. Daño en grano por <i>Sitophilus zeamais</i> en maíz tratado con polvo de <i>Larrea tridentata</i>	38
Cuadro 6. Daño en grano por <i>Sitophilus zeamais</i> en maíz tratado con polvo de <i>Schinus molle</i>	39
Cuadro 7. Daño en grano por <i>Sitophilus zeamais</i> en maíz tratado con polvo de <i>Piper nigrum</i>	40
Cuadro 8. Efecto del polvo de <i>Larrea tridentata</i> sobre la germinación de la semilla de maíz tratada para el control de <i>Sitophilus zeamais</i>	40
Cuadro 9. Efecto del polvo de <i>Schinus molle</i> sobre la germinación de semilla de maíz tratada para el control de <i>Sitophilus zeamais</i>	41
Cuadro 10. Efecto del polvo de <i>Piper nigrum</i> sobre la germinación de semilla de maíz tratada para el control de <i>Sitophilus zeamais</i>	41
Cuadro 11. Crecimiento de raíz y tallo de maíz tratado con polvo de <i>Larrea tridentata</i> para el control de <i>Sitophilus zeamais</i>	42
Cuadro 12. Crecimiento de raíz y tallo de maíz tratado con polvo de <i>Schinus molle</i> para el control de <i>Sitophilus zeamais</i>	43
Cuadro 13. Crecimiento de raíz y tallo de maíz tratado con polvo de <i>Piper nigrum</i> para el control de <i>Sitophilus zeamais</i>	44
Cuadro 14. Emergencia de la F1 de <i>Sitophilus zeamais</i> de semilla de maíz tratada con polvos de <i>Larrea tridentata</i> , <i>Schinus molle</i> y <i>Piper nigrum</i>	44

RESUMEN

Los granos de maíz y sus productos son una fuente de nutrientes necesarios para el hombre. Los granos sufren pérdidas debido a diferentes factores, de los cuales destacan los insectos, como el gorgojo del maíz *Sitophilus zeamais*; considerada una plaga primaria en maíz almacenado. En esta investigación se evaluaron bajo condiciones de laboratorio los polvos botánicos de gobernadora *Larrea tridentata*, pirul *Schinus molle* y pimienta *Piper nigrum* para el control de *S. zeamais*. Los polvos se mezclaron con los granos de maíz blanco en concentraciones de 0.25, 0.50 y 1.00 g de polvo por cada 50 g de maíz, y se incluyó un testigo absoluto (0.00 g), todos estos, con 50 insectos adultos de la misma edad. Se evaluaron, el efecto sobre la mortalidad a los 8 y 15 días, el efecto de repelencia y hasta los 55 días el porcentaje de emergencia de adultos nuevos de la siguiente generación (F1) y su efecto sobre la calidad de la semilla mediante el porcentaje de granos con daño, la germinación y longitud de la radícula y plúmula. Los polvos vegetales que presentaron mayor mortalidad fueron el pirul con 68.98% y la gobernadora con 48.63%, así como mayor efecto de repelencia contra el gorgojo. El polvo de pimienta negra presentó niveles más bajos de mortalidad con 35% y un efecto atrayente para el gorgojo. En cuanto a viabilidad de la semilla, el pirul y gobernadora protegieron el grano hasta en un 93% sin afectar la germinación, en consecuencia, estos polvos no afectaron los parámetros longitud de radícula y plúmula. En general el polvo de pimienta negra presento menor protección, sin afectar la germinación con excepción de la concentración de 1.00 g con 50% de inhibición de la germinación, mientras que los parámetros crecimiento de radícula y plúmula si fueron afectados. Los tres polvos redujeron el número de descendientes (F1), hasta un 50%. Los polvos pueden ser una alternativa sustentable para los pequeños agricultores ya que son potencialmente rentables y sostenibles para contrarrestar los daños ocasionados por *S. zeamais* durante el almacenamiento del maíz, obteniendo así beneficios económicos, sociales y ambientales.

Palabras clave: Control biorracional, granos almacenados, *Larrea tridentata*, polvos botánicos, *Schinus molle*, *Sitophilus zeamais*.

INTRODUCCIÓN

El maíz *Zea mays* L. (Poaceae) es una planta originaria de América, considerado el cereal de los pueblos y culturas del continente americano, desde los olmecas y teotihuacanos en Mesoamérica, hasta los incas y quechuas en la región andina de Sudamérica (Serratos, 2012).

El hombre necesita almacenar los granos que utiliza como alimento, por lo cual utiliza diversos medios y tecnologías, algunas de ellas muy simples y otras más sofisticadas. Una de las principales preocupaciones es que, durante el almacenamiento, existen factores que deterioran y destruyen los granos almacenados. Para evitarlo, se han desarrollado teorías, conocimientos, metodologías y tecnologías que hacen del almacenamiento un campo cada vez más complejo y especializado (Dell'Orto y Arias, 1985).

De los factores que ocasionan el deterioro del grano del maíz almacenado, los insectos ocupan un lugar muy importante: su tamaño, capacidad de reproducción y su gran facilidad de adaptación a los diferentes medios, determinan que los métodos para su control rara vez tengan el éxito deseado y causen mayores pérdidas (Rodríguez y Herrera, 2003), siendo la especie más importante *Sitophilus zeamais* Motschulsky (Coleoptera: Curculionidae) (Rees, 1996).

En México, la incidencia por *S. zeamais* supera el 80% en regiones húmedas y es la primera que causa el daño en postcosecha (García *et al.*, 2003).

El gorgojo del maíz *S. zeamais* es un insecto de aproximadamente 5.0 mm de largo, de color pardo negruzco; cuya cabeza se proyecta en forma de pico y su tórax es alargado y cónico, con manchas ovales en el dorso, los daños se presentan cuando el adulto agujera el grano para ovipositar, posteriormente las larvas se alimentan del endospermo hasta que llegan a un estadio de pupa, y cuando se transforman

en adultos perforan el grano y salen al medio ambiente, para iniciar de nuevo la infestación (Bergvinson *et al.*, 2007).

Para el control de estas plagas, el método predominante es el químico, principalmente los insecticidas sintéticos como la fosfina y el bromuro de metilo. Sin embargo, en los últimos años, el uso indiscriminado de estos compuestos originó el surgimiento de resistencia por parte de insectos plaga, contaminación ambiental, desaparición de organismos benéficos y riesgos para la salud humana, entre otras dificultades (Villalba, 2016).

Debido a las desventajas de los productos químicos, se analizan alternativas, como la búsqueda de polvos botánicos, particularmente los ricos en compuestos orgánicos bioactivos, con actividad insecticida, inhibidora de crecimiento y repelencia, entre otros, que resguarden la calidad de los productos almacenados ante los ataques externos (Almeida *et al.*, 2005).

Justificación

El gorgojo del maíz *S. zeamais* es la principal plaga en maíz almacenado, siendo el control químico la principal herramienta para controlarlo. Actualmente se busca reemplazar a los insecticidas sintéticos por sustancias menos tóxicas al medio ambiente, económicas y biodegradables. Por ello, los polvos botánicos representan una alternativa de control y protección para los granos, con actividad insecticida y efecto de repelencia.

Objetivos

Objetivo General

Evaluar el efecto insecticida de tres polvos vegetales sobre el gorgojo del maíz *Sitophilus zeamais* y su efecto en la calidad de la semilla.

Objetivos Específicos

Evaluar el efecto insecticida del polvo de *Larrea tridentata* sobre el gorgojo del maíz *Sitophilus zeamais* en maíz almacenado.

Evaluar el efecto insecticida del polvo de *Schinus molle* sobre el gorgojo del maíz *Sitophilus zeamais* en maíz almacenado.

Evaluar el efecto insecticida del polvo de *Piper nigrum* sobre el gorgojo del maíz *Sitophilus zeamais* en maíz almacenado.

Evaluar el efecto de tres polvos vegetales sobre la calidad de la semilla de maíz.

Hipótesis

Al menos uno de los polvos botánicos presentará mortalidad sobre el gorgojo de maíz *S. zeamais* y no afectarán las características fisiológicas de la semilla.

REVISIÓN DE LITERATURA

Generalidades del Cultivo del Maíz

Origen del maíz

El maíz es un cereal procedente de América, cuyo centro de origen y domesticación fue Mesoamérica, desde entonces se difundió hacia todo el continente. No hay acuerdo sobre cuándo se empezó a domesticar el maíz, pero los indígenas mexicanos dicen que esta planta representa, para ellos, diez mil años de cultura (Riveiro, 2004). Se cree que el maíz es un producto que surgió de la hibridación del teocintle (una especie parecida al maíz), con otro pasto (Serratos, 2012).

La teoría de teocintle domesticado ha sido la que más prestigio ha tenido en el ámbito científico, ya que se basa en la existencia de selección natural y de mutaciones en ciertos *loci* importantes en las formas antiguas del teocintle. Se asume ampliamente que el teocintle es el antecesor silvestre del maíz y que ha dado origen al maíz cultivado (Paliwal, 2001).

Importancia del maíz

El maíz goza de gran importancia económica a nivel mundial ya sea como alimento humano, como alimento para el ganado o como fuente de un gran número de productos industriales (Calderon *et al.*, 2017).

El maíz blanco contribuye a la seguridad alimentaria, pues su principal destino es el consumo humano, el cual se transforma para la elaboración de insumos para alimento, ya sea a través de la nixtamalización para generar masa o bien por medio de la deshidratación y molienda para obtener harina, y consiguiente todos sus derivados. Por otro lado, el destino principal del maíz amarillo se va para la alimentación animal y uso industrial para la generación de otros bienes, de la cual

las importaciones garantizan la producción nacional de la industria almidonera, alimentos balanceados para el ganado, de frituras y hojuelas (SAGARPA, 2017).

Clasificación taxonómica

Su clasificación taxonómica está bien estudiada (GBIF, 2017a).

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta.

Clase: Liliopsida

Orden: Poales

Familia: Poaceae.

Género: *Zea*

Especie: *Zea mays* L.

Producción del maíz

El maíz es el segundo cultivo del mundo por su producción, después del trigo, mientras que el arroz ocupa el tercer lugar. Es el primer cereal en rendimiento de grano por hectárea y el segundo, después del trigo, en producción total. En México se produce un promedio anual de 23.5 millones de toneladas de maíz en una superficie de 7.5 millones de hectáreas. Se producen principalmente dos variedades de maíz: blanco y amarillo. El maíz blanco se produce exclusivamente para el consumo humano, en virtud de su alto contenido nutricional. Por otra parte, el maíz amarillo se destina al procesamiento industrial y a la alimentación animal (SAGARPA, 2017).

De acuerdo con el SIAP (2017), la superficie sembrada de maíz en temporal fue de 5, 968,998 hectáreas, de las cuales se registró la pérdida total (por afectación de fenómenos climáticos y daños por plagas y enfermedades) de 211,954 hectáreas de la superficie sembrada en el ciclo agrícola, y un total de 4, 131,707 hectáreas

cosechadas. La producción promedio alcanzada en temporal fue de 9, 105,362 toneladas con un rendimiento de 2.204 ton·ha⁻¹. La superficie sembrada de maíz en condiciones de riego fue de 1, 598,019 hectáreas, de las cuales se registró la pérdida total (por afectación de fenómenos climáticos y daños por plagas y enfermedades) de 2, 723 hectáreas de la superficie sembrada en el ciclo agrícola, y un total de 1, 477,704 hectáreas cosechadas. La producción promedio alcanzada en condiciones de riego fue de 12, 440,269 toneladas con un rendimiento mayor que en condiciones de temporal de 8.419 ton·ha⁻¹,

Características agronómicas

La planta del maíz es de porte robusto de fácil desarrollo y de producción anual (Ortas, 2008).

Raíz

Sus raíces son fasciculadas y robustas y su función es la de aportar alimento y un perfecto anclaje a la planta, que se refuerza con la presencia de raíces adventicias (Fig. 1; Ortas, 2008).

Tallo

El tallo tiene aspecto de caña, con los entrenudos rellenos de una médula esponjosa, erecto, sin ramificaciones y de elevada longitud pudiendo alcanzar los 4.0 m de altura. El maíz tiene escasa capacidad de ahijamiento, de hecho, la aparición de algún hijo es un efecto no deseado que perjudica la capacidad productiva (Fig. 1; Ortas, 2008).

Hojas

Las hojas son alternas, paralelinervias y provistas de vaina que nace de cada nudo. Los extremos de las hojas son muy afilados y cortantes. El número de hojas depende de la variedad y del ciclo, de la época de siembra, etc., aunque podrían llegar hasta 30, lo normal es que haya un máximo de 15 hojas (Fig. 1; Ortas, 2008).

Inflorescencia

El maíz es una planta de inflorescencia monoica, tiene inflorescencia masculina e inflorescencia femenina separadas, pero en la misma planta. La inflorescencia masculina tiene forma de panícula (vulgarmente denominadas espigón, espiga o penacho) de coloración amarilla que posee una cantidad muy elevada de polen, en cada florecilla que compone la panícula se presentan tres estambres donde se desarrolla el polen y está situada en la parte superior de la planta (Fig. 1; Ortas, 2008).

La inflorescencia femenina, la futura mazorca marca un menor contenido en granos de polen, y se forman en unas estructuras vegetativas denominadas espádices que se disponen de forma lateral, se sitúa a media altura de la planta. El número de granos y de filas de la mazorca dependerá de la variedad y del vigor del maíz (Fig. 1; Ortas, 2008).

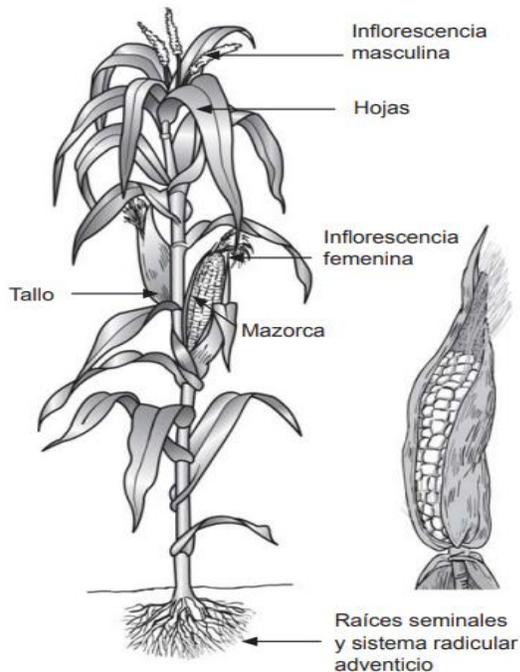


Figura 1. Partes de la planta de maíz (Agroecología, 2019)

Métodos de Almacenamiento de Granos y Semillas en México

El almacenamiento se refiere a concentrar la producción en lugares seleccionados; en tanto que la conservación implica proporcionar a los productos almacenados las condiciones necesarias para que no sufran daños y así evitar la disminución de su calidad y volumen. La conservación apropiada de granos y semillas en un almacén depende de las condiciones ecológicas, del tipo de bodega o almacén disponible, así como el tipo grano y el tiempo de almacenamiento (Montejo, 2016). Existen diferentes métodos de almacenamiento de productos, pero en todos ellos es imprescindible el empleo de lugares secos, limpios y libres de plagas, esto permitirá la conservación de granos y semillas enteras, sanas y sin impurezas (Hernández y Carballo, 2017).

El principio de un buen almacenamiento es guardar los granos secos, sanos y limpios. Para esto, independientemente del tipo de almacén o de recipiente que se utilice, es la de mantener los granos vivos, con el menor daño posible (Casini, 2007).

En México, Hernández y Carballo (2017) mencionan algunos de los métodos de almacenamiento de mayor uso, los cuales son:

Almacenamiento a granel

Es una práctica común, este método es mecanizable y la manipulación de granos y semillas es rápida, la posibilidad de ataque por roedores aumenta y hay poca protección contra la reinfestación.

Almacenamiento en sacos

Los sacos se hacen de yute, henequén, fibras locales y sintéticas. Son relativamente costosos, tienen poca duración, su manipulación es lenta y no proporcionan buena protección contra la humedad, insectos y roedores. Su rotura ocasiona pérdidas del producto almacenado y facilita la infestación por plagas.

Almacenamiento hermético

Consiste en almacenar el producto en recipientes que evitan la entrada de aire y humedad al producto. En estas condiciones, la respiración de la semilla y de los insectos (cuando los hay) agota el oxígeno existente, provocando la muerte de estos últimos y la reducción de la actividad de la semilla, por lo que el almacenamiento puede durar mucho tiempo sin que exista deterioro. El nivel de humedad de los granos o semillas por almacenar debe ser menor del 9%.

Principales Enemigos de los Granos y Semillas en Almacén

Existen varias especies de gorgojos y palomillas que atacan a los granos y semillas almacenados; de los gorgojos el principal género es *Sitophilus* Schoenherr, con

varias especies, por ser altamente destructivo y por encontrarse ampliamente distribuido por el mundo (Ortega *et al.*, 2001).

Por otro lado, en el campo o en el almacén, los hongos pueden abundar dentro de los almacenes, bajo condiciones apropiadas de temperatura y humedad, esta red de hifas puede unir fuertemente a los granos, como si fuera cemento; el resultado puede ser el desarrollo de grandes bloques o pilas de grano inservible, de varios centímetros de diámetro, que pueden ser difícil de separar (Agrios, 2005). Estos atacan el grano y pueden causar un grave deterioro al grano utilizado como semilla, ya que el ataque de estos microorganismos puede matar el embrión (Rodríguez y Herrera, 2003).

Los hongos también producen sustancias llamadas micotoxinas, de las especies más comunes en almacén son del género *Penicillium* sp., *Aspergillus* sp. y *Fusarium* sp., las cuales pueden resultar altamente tóxicas para organismos de sangre caliente, incluyendo desde luego el hombre (Rodríguez y Herrera, 2003).

Los roedores también provocan pérdidas cuantiosas en granos y semillas almacenados, no sólo porque los consumen en grandes cantidades, sino también por contaminar con sus pelos y excreciones (heces fecales y orina) (SANEAGRO, 2016).

Tipos de plagas para el maíz en almacén

Las plagas varían de acuerdo con la región, estación del año y periodo de almacenamiento (Bergvinson *et al.*, 2007).

De acuerdo con el daño que provocan se consideran plagas primarias donde atacan a los granos sanos e inician una nueva generación para la búsqueda de nuevos granos. Son las más importantes durante el almacenamiento y mueren cuando sus fuentes de alimentación se agotan o las poblaciones alcanzan altos niveles. Los

daños generalmente comienzan en campo, por lo que el manejo debe iniciar antes del almacenamiento (Martínez *et al.*, 2009). En este grupo se encuentran el gorgojo del maíz *S. zeamais*, el barrenador grande del grano *Prostephanus truncatus* Horn (Coleoptera: Bostrichidae) y la palomilla de los granos *Sitotroga cerealella* Olivier (Lepidoptera: Gelechiidae) como las más importantes (Rodríguez y De León, 2008).

Las plagas secundarias son aquellos que utilizan los granos con daños ocasionados por las plagas primarias, o granos que han sufrido daño físico, esto se debe a que no pueden penetrar la protección del grano (Martínez *et al.*, 2009). De las más importantes en este grupo están la polilla bandeada *Plodia interpunctella* (Hübner), el escarabajo castaño *Tribolium castaneum* Herbst (Coleoptera: Tenebrionidae) y el barrenillo de los granos (*Rhyzopertha dominica* (F.) (Coleoptera: Bostrichidae) (Rodríguez y De León, 2008).

Las plagas terciarias, se desarrollan después de que los insectos primarios y secundarios han efectuado su daño, se alimentan de impurezas, granos quebrados, residuos dejados por los otros insectos y algunos se alimentan de los hongos desarrollados en el grano que se ha deteriorado (Bergvinson *et al.*, 2007).

Gorgojo del Maíz *Sitophilus zeamais*

Origen y distribución

Existe confusión sobre el origen de este insecto, se deduce que es originario de la India, lugar de donde fue distribuido a todo el mundo, convirtiéndose en insecto cosmopolita (Metcalf y Flint, 1982).

Su distribución es mundial, afectando principalmente a las zonas tropicales y subtropicales húmedas, así como en zonas templadas. En el Estado de México se localiza en las zonas sur y noroeste (Bergvinson *et al.*, 2007).

Daños

Se considera una plaga primaria porque los adultos son capaces de perforar los granos. Las larvas se desarrollan en el interior del grano (Dell'Orto y Arias, 1985).

En América Latina, entre 30 y 40% de la producción de maíz se pierde durante su almacenamiento (Lagunes, 1994). De todas las plagas asociadas a los granos almacenados, *S. zeamais* se considera la que más daño puede provocar (Arienilmar *et al.*, 2005).

Clasificación taxonómica

Borror *et al.* (1979) ubicó a *Sitophilus zeamais* como a continuación se describe:

Reino: Animal

Phyllum: Artropoda

Clase: Insecta

Subclase: Pterigota

Orden: Coleoptera

Suborden: Pollyphaga

Super familia: Curculionoidea

Familia: Curculionidae

Subfamilia: Rhynchophorinae

Género: *Sitophilus*

Especie: *Sitophilus zeamais* Motschulsky

Descripción Morfológica de *S. zeamais*

Huevo

El huevecillo es de color blanco aperlados llegando hasta café claro, son de forma ovalada (Fig. 2) y son ovipositados en huecos que la hembra hace en el grano, los cuales sella con una secreción para la protección de estos (Gutiérrez, 1990).



Figura 2. Huevos del gorgojo del maíz (Antunes *et al.*, 2010)

Larva

La larva es un gusano pequeño de 2.50 a 2.75 mm de largo, del tipo curculioniforme, suaves y de color blanco aperlado; de cuerpo grueso y apodo, con cabeza pequeña de color café claro (Fig. 3). Pasa por cuatro estadios larvales (Carvalho, 2015).



Figura 3. Larva del gorgojo del maíz (Antunes *et al.*, 2010)

Pupa

La pupa es de color blanco pálido al inicio hasta tornarse a color café claro al final, mide de 2.75 a 3.0 mm, presenta proboscis larga dirigida hacia la parte anterior y las patas dobladas hacia el cuerpo, consideradas como larvas apodas (Fig. 4; Gutiérrez, 1990).



Figura 4. Pupa del gorgojo del maíz (Antunes *et al.*, 2010)

Adulto

Los adultos miden de 2.5 a 5.0 mm de largo y son de color café a negruzco, con cuatro manchas rojizas en los élitros (alas anteriores), claramente visibles después de la emergencia (Fig.5). Presenta un rostrum característico y antena en forma de codo, peculiar de los curculiónidos, y sus cabezas se proyectan en la parte delantera, en forma de pico (Carvalho, 2015).



Figura 5. Gorgojo del maíz (Plantwise, 2011)

En los machos, la cara es más corta y gruesa, en las hembras es más larga y cónica (Fig. 6; Carvalho, 2015).



Figura 6. Diferencia del rostro del macho (A) y de la hembra (B) del gorgojo del maíz (Antunes *et al.*, 2010)

Ciclo de vida

La especie *S. zeamais* tiene un alto potencial de multiplicación. El ciclo de vida inicia cuando la hembra después de aparearse y localizar un grano, abre un pequeño agujero en el surco medio del grano y, con la ayuda del oviscapto, introducen el huevo dentro del grano, al mismo tiempo que secretan un líquido mucilaginoso que cubre el orificio y mantiene el huevo en su lugar. Esta especie presenta cuatro estadios larvales, los cuales se desarrollan dentro del grano. El huevo eclosiona después de seis días e inmediatamente después de que la larva emerge, se inicia el primer instar y la larva consume el alimento que le rodea dentro del grano, al final del cuarto instar la larva utiliza una mezcla de secreciones para desplazarse y cerrar la madriguera e iniciar la forma pupal. La larva entonces asume la forma de pre-pupa y en un período corto de tiempo se convierte en pupa. Cuando el adulto se ha desarrollado, este permanece en el grano por varios días antes de emerger (Fig. 7). La extensión de este periodo depende de la temperatura. El ciclo de vida completo comprende de entre 36.3 y 40.3 días a 27 y 25°C respectivamente (García, 2004; Ramírez, 1990).

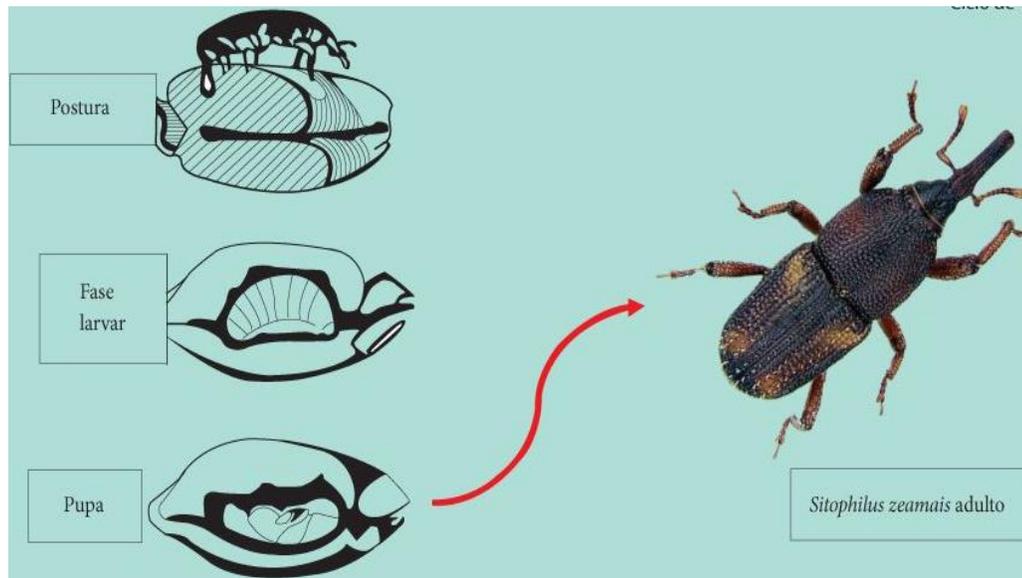


Figura 7. Ciclo de vida de *Sitophilus zeamais* (CSIRO, 2004)

Métodos de Control para Combatir las Plagas de Almacén

Uno de los factores más importantes a considerar para obtener una buena sanidad en los espacios cerrados de almacenamiento de granos, son las labores de inspección o manejo cultural en estos almacenes y en campo. Una inspección consiste en observar en forma minuciosa las instalaciones, edificios, vehículos, equipos de almacenamientos, sanidad y traslado al momento de la cosecha. Las indicaciones para tomar en cuenta son las siguientes (Martínez *et al.*, 2009):

- 1) Evitar daños en el campo por gusano elotero y pájaros, ya que retarda la entrada del gorgojo del maíz.
- 2) Las cosechas tempranas disminuyen el tiempo de exposición al ataque del gorgojo del maíz.
- 3) Los lugares de almacenamiento deben estar libres de gorgojos y derrama de granos antes de almacenar el producto.
- 4) Evite poner los sacos directamente en el piso, por lo que se recomienda usar tarimas.
- 5) Evite almacenar en sacos viejos y rotos, y almacenar los granos sin apilar.

Control biológico

El parasitoide *Anisopteromalus calandrae* (Pteromalidae) es considerado un enemigo natural del gorgojo, es una avispa que comúnmente se encuentra en el maíz almacenado junto con *S. zeamais*. Se le identifica fácilmente porque es pequeña y tiene una tonalidad verde metálico (González *et al.*, 2009).

Prácticas culturales

Para el gorgojo del maíz se recomienda aplicar mezclas de agentes protectores (cal, tierra diatomea o tizate) entre capa y capa de grano. En pruebas de laboratorio y campo se ha demostrado que evitan el libre movimiento de los insectos, ya que las sustancias se adhieren a su cutícula, provocándoles serios daños y en algunos casos hasta la muerte. Se recomienda además el uso de las siguientes plantas como agentes repelentes: epazote común, harina de chícharo, hojas de eucalipto, hojas del árbol Neem u hoja de maravilla que pueden reducir hasta en un 25% la presencia del gorgojo (Vallejos, 2020; Bergvinson *et al.*, 2007).

Control físico

Dentro de la agricultura tradicional una práctica común es la exposición del grano al sol, debido a que los insectos no toleran las elevadas temperaturas. Un ejemplo del uso de las bajas temperaturas se da al exponer la semilla en lugares de otoños e inviernos fríos debido a que las bajas temperaturas reducen la tasa de desarrollo, la alimentación, fecundidad y porcentaje de supervivencia de los insectos (Fields y Muir, 1996).

Control químico

Los fumigantes bromuro de metilo y fosfuro de aluminio son los más usados en el control de plagas de almacén donde la fosfina es la que ofrece la mayor ventaja debido a su fácil aplicación, ya que no se requiere de un equipo de fumigación; debido a su presentación en forma de tabletas las cuales se colocan sobre la superficie de las estibas o por debajo de las parrillas que soportan a las estibas, o bien colocarlas sobre charolas (Pérez, 1993).

Polvos vegetales como insecticidas

Gobernadora *Larrea tridentata* (Sessé & Moc. Ex DC) Coville, 1893.

La gobernadora (Zygophyllaceae) es un arbusto siempre verde con olor fuerte característico, de 1.0 a 3.0 metros de alto. Los tallos de la planta llevan hojas resinosas, verdes oscuros, con dos folíolos unidos en la base, la planta entera exhibe un olor característico de creosota, del cual deriva el nombre común (INIFAP, 2003).

Distribución

En la República Mexicana, la gobernadora se ha registrado en parte del Desierto Sonorense, en Aguascalientes, Baja California, Baja California Sur, Chihuahua, Coahuila, Durango, Guanajuato, Hidalgo, Nuevo León, Querétaro, San Luis Potosí, Sonora, Tamaulipas y Zacatecas (Villaseñor y Espinosa, 1998).

Propiedades de la gobernadora

La gobernadora *L. tridentata* tiene constituyentes fitoquímicos en la resina; de los principales compuestos destacan por su mayor contenido en base al peso seco del follaje los lignanos fenólicos, seguidos por las saponinas, flavonoides, aminoácidos y minerales (Lira, 2003). Las hojas y los tallos verdes de gobernadora contienen aproximadamente 12% de resina, siendo un constituyente de ella un compuesto fenólico tóxico llamada ácido nordihidroguaiarético (NDGA) (García *et al.*, 2005).

Uno de los primeros trabajos sobre el efecto fungicida de la resina de gobernadora reporta que, al utilizar extractos crudos de cloroformo y etanol, los hongos *Rhizoctonia solani* Kühn, *Pythium* sp. Pringsh. *Rhizopus nigricans* Ehrenb., fueron controlados *in vitro*, tanto con el extracto metanólico como con el clorofórmico; no

fue el caso de *Fusarium oxysporum* Schlechtend., ya que, con 1,000 ppm de cada extracto, sólo se controló en un 76 y 93%, respectivamente (Fernández *et al.*, 1979).

Cortez *et al.* (1993) encontraron la acción insecticida de *L. tridentata* contra el ataque de los insectos en granos, consignaron que la gobernadora provoca repelencia en insectos, ya que el gorgojo del frijol *Zabrotes subfasciatus* Bohemann fue significativamente menos atraído a granos de frijol tipo pinto que se mantuvieron almacenados y que previamente fueron tratados con polvo de hojas y flores de *L. tridentata*.

Numerosos estudios han demostrado que los extractos de gobernadora tienen acción antifúngica bajo condiciones *in vitro* en al menos 17 hongos fitopatógenos de importancia económica; de igual manera, extractos y material vegetativo molido en polvo e incorporado al suelo han confirmado inhibir o controlar *in vivo* seis hongos en cultivos agrícolas. Algunos trabajos también han consignado el efecto nematicida o nematostático de *L. tridentata* contra nueve géneros de nematodos y repelencia en un insecto. Por otro lado, bioensayos con microorganismos que atacan a humanos han indicado que más de 45 bacterias son susceptibles a la resina de *L. tridentata* o sus constituyentes, así como 10 levaduras, nueve hongos y tres parásitos intestinales. El efecto antiviral de la gobernadora también se ha documentado, indicando que los flavonoides de la resina son activos contra virus que afectan el RNA, y que ocasionan graves enfermedades como polio, sida y herpes (Lira, 2003).

Clasificación taxonómica

Con base en CONABIO (2019a) la gobernadora tiene la siguiente clasificación:

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Orden: Zygophyllales

Familia: Zygophyllaceae

Género: *Larrea*

Especie: *Larrea tridentata* (Sessé & Moc. Ex DC) Coville

Pirul *Schinus molle* Carlos L., 1753

El pirul *Schinus molle* L. (Anacardiaceae), es llamado árbol de pimienta de California, es un árbol que llega a medir entre los 6.0 a los 15 metros de altura, sus hojas son pinnadas y miden entre 8.0 a 25 cm de largo y entre 4.0 a 9.0 cm de ancho y perennes. Es originario de la región andina de Sudamérica, principalmente Perú, aunque se extiende de Ecuador a Chile y Bolivia, por tanto nativo del trópico americano (Ablan, 2019).

Distribución

Esta ampliamente distribuido en México, en Centroamérica y en el sur de California y oeste de Texas, en Estados Unidos (CONABIO, 2019b).

En la república mexicana se ha registrado en Aguascalientes, Chiapas, Coahuila, Distrito Federal, Durango, Guanajuato, Guerrero, Hidalgo, Estado de México, Jalisco, Michoacán, Morelos, Nuevo León, Oaxaca, Puebla, Querétaro, San Luís Potosí, Sinaloa, Tlaxcala, Veracruz y Zacatecas (Rzedowski, 2001).

Propiedades del pirul

La composición de sus hojas y frutos del pirul explica muchas de sus atribuciones en medicina tradicional. Entre estos compuestos se encuentran taninos, alcaloides, flavonoides, saponinas, esteroides, terpenos, gomas, resinas y aceites esenciales (Ablan, 2019).

El pirul es un producto natural con propiedades insecticidas, el aceite esencial se usa en preparados antipolillas y como repelente de insectos (Ablan, 2019).

Los extractos de hexano de las hojas y los frutos del pirul tienen propiedades repelentes e insecticidas contra *Triatoma infestans*, este insecto es el vector más importante del *Tripanosoma cruzi*, parásito causante de la enfermedad de chagas. También se realizó actividades con extractos de etanol y éter de petróleo de hojas y frutos de *S. molle* contra los adultos de *Blattella germanica* los cuales fueron examinados mediante prueba de repelencia y aplicación tópica (Ferrero *et al.*, 2007a).

El aceite esencial de las hojas frescas posee actividad antibacterial, antiviral, antifúngica y antimicrobial. Bacterias y hongos exhiben una sensibilidad significativa al aceite. Entre las bacterias, se encuentran: *Klebsiella pneumoniae* (Enterobacteriaceae), *Pseudomonas aeruginosa* (Pseudomonadaceae), *Enterobacter aerogenes* (Enterobacteriaceae); y de hongos, se citan a: *Aspergillus ochraceus* (Moniliaceae), *Aspergillus parasiticus* (Moniliaceae) y *Alternaria alternata* (Dematiaceae) (Ablan, 2019).

El follaje de *S. molle*, se usa tradicionalmente en Etiopía para repeler moscas domésticas *Musca domestica* L. Se ha considerado de gran valor para cuentos etnobotánicos y se utiliza como purgante, diurético, parasiticida y vulnerario (Duke, 1985). También se ha reportado actividad con extractos de etanol y éter de petróleo de hojas y frutos de *S. molle* contra los adultos de *Blattella germánica*, los cuales fueron examinados mediante prueba de repelencia y aplicación tópica (Ferrero *et al.*, 2007b).

Clasificación taxonómica

Según CONABIO (2019) el pirul tiene la siguiente clasificación:

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Orden: Sapindales

Familia: Anacardiaceae

Género: *Schinus*

Especie: *Schinus molle* L.

Pimienta *Piper nigrum* Carlos L., 1753

Piper nigrum (Piperaceae), es una liana originaria de la India donde se utiliza en medicina tradicional desde hace muchos siglos. El tallo de la planta es leñoso y las ramas que salen del mismo, llevan unas raicillas como zarcillos para poderse fijar sobre un soporte, sus flores van dispuestas en espigas y los frutos que se emplean secos como especia, son bayas pequeñas, sésiles, de color inicialmente verde que va pasando a amarillo y finalmente a rojo cuando maduran. Comercialmente se diferencia entre pimienta negra, blanca y verde. Las tres corresponden al fruto de la misma especie botánica encontrándose la diferencia entre ellas, en el momento de su recolección y la forma de preparación, por lo que la pimienta negra se recolecta cuando los frutos no están aún maduros y las espigas se dejan secar hasta que la superficie de los frutos se pone negra y muy rugosa (Toruño y Villafuerte, 1998; Molina, 2001).

Distribución

Esta ampliamente diverso en varios países del mundo, sobre todo de clima tropical, como la India, Brasil, Indonesia, Malasia, Sri Lanka, entre otros (Toruño y Villafuerte, 1998).

Propiedades de la pimienta

Los frutos de pimienta contienen un aceite esencial (aproximadamente 3%), responsable de su aroma. Está constituido por más de 100 componentes distintos, principalmente hidrocarburos terpénicos: 50-74% de monoterpenos (beta-pineno, limoneno) y 20-35% de sesquiterpenos (beta-cariofileno) y además una proporción mucho menor de terpenoides oxigenados (13%) (Herráiz, 2009).

Durante la molienda y almacenamiento de la pimienta se producen algunos cambios en la composición del aceite esencial así como una disminución del contenido total del mismo, aunque la parte empleada como especia son los frutos y se encuentran publicaciones científicas sobre los mismos y sus extractos, también existen publicaciones sobre otras partes de la planta como por ejemplo las hojas, pero sobre todo, la mayor parte de los trabajos se han llevado a cabo para conocer la actividad de su principio activo aislado, la piperina. Este alcaloide administrado de forma continua estimula las enzimas digestivas pancreáticas (lipasas, amilasas y proteasas) e intestinales (lipasas), mejorando la digestión. Ha demostrado también poseer actividad antimetastásica, antitumoral, antidepresiva, antiinflamatoria, antitiroidea, protectora hepática e inmunoestimulante, entre otras y ser capaz de prevenir el estrés oxidativo (Accame, 2009).

Sighamony *et al.* (1984) probaron en la India el efecto repelente de *P. nigrum* contra adultos de *Tribolium castaneum*, concluyendo que el extracto de *P. nigrum* a la concentración más alta evaluada (10,38 mg·cm⁻³) tenía un mayor efecto repelente que a su concentración más baja (2,59 mg·cm⁻³).

De Assis *et al.* (1999) encontraron que el extracto de *P. nigrum* es altamente tóxico para *Sitophilus sp.*, y Awoyinka *et al.* (2006) atribuyen esta toxicidad a que los frutos de esta planta tienen una concentración cercana al 4% de alcaloides como piperina, piperetina y tricostacina entre otros.

Clasificación taxonómica

Su clasificación taxonómica está bien estudiada (GBIF, 2017b).

Reino: Plantae

Subreino: Tracheophyta

Filo: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Orden: Piperales

Familia: Piperaceae

Género: *Piper*

Especie: *Piper nigrum* L.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del Experimento

El estudio se llevó a cabo en el área de cámaras bioclimáticas y laboratorios del Departamento de Parasitología de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN) en Buenavista, Saltillo, Coahuila, México (25° 22" LN y 101° 02" LO; 1742 msnm).

Recolecta de Material Vegetal y Organismos Plaga

Material vegetal

La recolección y muestreo de especies vegetales se realizó en los alrededores de la UAAAN, en la región de la sierra de Arteaga y en los alrededores de los municipios de General Cepeda y Saltillo, Coahuila. Se usaron en su mayoría plantas propias de la región, de las cuales no se les conoce usos útiles o de poco uso, con potencial plaguicida, además de otras ya conocidas con conocimiento de uso en el control de plagas, las cuales se enlistan a continuación:

Se utilizaron follaje de gobernadora *L. tridentata* obtenidas del municipio de General Cepeda, Coahuila y pimienta *P. nigrum* y pirul *S. molle* obtenidas del municipio de Mapastepec en el estado de Chiapas.

Organismos plaga

El gorgojo del maíz *S. zeamais* se obtuvo de una colonia preestablecida en una cámara bioclimática del Laboratorio de Entomología Molecular del Departamento de Parasitología, mantenida bajo condiciones controladas en semilla de maíz.

Preparación de Polvos Vegetales

La elaboración de polvos del material vegetal recolectado, se inició con el secado del mismo a medio ambiente y en una estufa a 35°C hasta que el peso del material fue constante y ya no descendía más (dependiendo de cada especie, aproximadamente de 7-15 días), posteriormente el tejido vegetal se molió en un molino eléctrico (Oster®) y el producto se filtró en un tamiz con malla de número 325 (0.044 mm) y el producto de la molienda se envaso en frascos de plástico de 2.0 L de capacidad, recubierto de papel aluminio y papel de estraza a temperatura ambiente a una humedad relativa menor a 45% y bajo condiciones de obscuridad, hasta su uso.

Establecimiento de Bioensayos

Condiciones de trabajo

El área de laboratorio se mantuvo a una temperatura promedio de 25 ± 2 °C, $50 \pm 10\%$ de humedad relativa y 12:12 h luz: obscuridad de fotoperiodo.

Bioensayos para la evaluación de repelencia de los polvos vegetales

Se basó en el trabajo de González *et al.* (2009) con modificaciones. Para los bioensayos se utilizó maíz previamente desinfectado en agua con hipoclorito de sodio al 2% y posteriormente agua destilada; en ambos casos por algunos segundos y se guardó en refrigeración por 48 horas.

Para la evaluación del polvo vegetal se tomaron como referencia la dosis diagnóstica de 1 g de polvo·50 g⁻¹ de maíz, para lo cual se mezclaron manualmente hasta distribuirlo uniformemente sobre la semilla.

La evaluación de la repelencia se llevó a cabo en recipientes adaptados de acrílico de acrílico de 40 cm altura por 20 cm de largo y ancho, cubiertos en la boca de este

con una pequeña sección con tela tipo organza para permitir ventilación y el paso de oxígeno/bióxido de carbono. Se preparó un arreglo de cinco recipientes en forma de "X"; el recipiente central se conectó con los demás mediante tubos del mismo material de 10 cm de longitud, dispuestos diagonalmente. Cada recipiente se diseñó para contener 50 g de maíz. En dos recipientes se colocó el maíz con el polvo vegetal y en dos recipientes el maíz sin polvo vegetal; distribuido simétricamente opuesto y el recipiente central se dejaron sin maíz. Inmediatamente en el recipiente central se liberaron 50 insectos adultos de *S. zeamais*. Cada una de estas se realizó por triplicado.

La evaluación se llevó a cabo a las 24 horas; contabilizando el número de insectos presentes en cada tratamiento. Con los datos se obtuvo el índice de repelencia y/o atracción por los polvos vegetales con la ecuación siguiente:

$$\text{Índice de repelencia (IR)}=2G/(G+P);$$

Dónde: G=Porcentaje de insectos en el tratamiento y P=Porcentaje de insectos en el testigo. Se utilizó como referencia: (IR=1) Neutro; (IR>1) Atrayente; (IR<1) Repelente.

La investigación se llevó a cabo bajo un diseño de cuatro tratamientos con tres repeticiones y 50 unidades experimentales (insectos).

Bioensayos para la evaluación de control de los polvos vegetales y efecto en la calidad de la semilla.

Para la evaluación del polvo vegetal; se usó como referencia la dosis diagnóstica de 1 g·100 g⁻¹ de maíz, para lo cual además se agregó una dosis alta y otra baja, quedando los tratamientos siguientes: 0.00 (testigo), 0.25, 0.5 y 1.0 g de polvo por cada 50 g de maíz.

Para el bioensayo se utilizó maíz de color blanco, el cual primero se desinfecto con un lavado en agua con hipoclorito de sodio al 2% y posteriormente agua destilada, en ambos casos por unos segundos y se guardaron en refrigeración por un periodo de 48 horas.

Para el desarrollo del bioensayo se colocaron 50 g de maíz en frascos de vidrio de 120 mL, y en este se colocaron cada uno de los tratamientos a evaluar y se mezclaron manualmente hasta distribuirlo uniformemente sobre la semilla. En cada frasco con el tratamiento, incluido el testigo, se colocaron 50 adultos del insecto (sin sexar) de 5 días de edad aproximadamente y el frasco se recubrió con tela tipo organza. Esta evaluación se mantuvo en una cámara bioclimática a una temperatura promedio de 25 ± 2 °C, $40 \pm 10\%$ de humedad relativa y 24 h oscuridad.

Se estableció un diseño experimental, completamente al azar , el cual consistió en tres polvos vegetales, incluido un testigo sin polvo vegetal, cada uno con tres dosis, como tratamientos y cada dosis con 6 repeticiones. La evaluación se basó en el trabajo de González *et al.* (2009).

Parámetros a evaluar

Mortalidad: para la evaluación, primero se retiraron todos los adultos del frasco con maíz y se registró el número de vivos y muertos. Se realizaron dos tomas de datos, la primera a los ocho días de haber aplicado los tratamientos y una segunda a los 15 días.

Daño en grano: esta evaluación se realizó a los 8 y 15 días después de haber aplicado los tratamientos; se contabilizaron el número de granos dañados (picados, perforados, roídos por acción de los insectos) y los granos sanos y se determinó el porcentaje de daño en grano (DG) con la siguiente formula:

$$DG (\%) = \left[\frac{\text{Número de granos dañados}}{\text{Número de granos totales}} \right] * 100$$

Calidad de la semilla: se evaluó la viabilidad de la semilla, mediante la germinación de esta. Para este ensayo se seleccionaron 10 semillas en cada repetición de cada tratamiento y se colocaron sobre una caja de Petri con papel filtro y agua destilada para su imbibición, con el embrión hacia abajo. El ensayo se mantuvo bajo condiciones controladas en el área de cámaras bioclimáticas. Siete días después, se determinó el número de semillas germinadas y no germinadas y se obtuvo el porcentaje de germinación (G) e Inhibición (I) con las siguientes formulas:

$$G (\%) = \left[\frac{\text{Semillas germinadas}}{\text{Semillas totales}} \right] * 100$$

$$I (\%) = \left[\frac{\text{Semillas no germinadas}}{\text{Semillas totales}} \right] * 100$$

Radícula y plúmula: en el ensayo de viabilidad, se evaluaron el tamaño de plúmula (da lugar al brote terminal formado por tallo y hojas) y radícula (parte subterránea que da lugar a raíz) durante el tiempo que duro el ensayo de viabilidad y se determinó la longitud promedio de crecimiento, con respecto al testigo.

Evaluación de la F1: después de los ensayos de calidad, la semilla restante se regresó a cada frasco sin la presencia de gorgojos. Y se resguardaron por 55 días para evaluar el porcentaje de emergencia de adultos nuevos de la siguiente generación (F1), tomando como base el 100% la emergencia (E) de los adultos en el testigo y se calculó con la siguiente formula:

$$E (\%) = \left[\frac{\text{Emergencia en el tratamiento}}{\text{Emergencia en el testigo}} \right] * 100$$

Análisis estadístico de los datos

Los datos de mortalidad se evaluaron con un análisis Probit para estimar el valor de la CL₅₀, CL₉₅ y el margen de fiabilidad (límite fiducial) al 95% de significancia. En caso de mortalidad en el testigo, esta se corrigió (MC) mediante la fórmula de Abbott (1925), con una mortalidad aceptada del 15%.

$$\text{MC Abbott(\%)} = \left[\frac{\text{Mortalidad en el tratamiento} - \text{Mortalidad en el testigo}}{100 - \text{Mortalidad en el testigo}} \right] * 100$$

Los datos que se obtuvieron de la prueba de repelencia y los diferentes parámetros que se evaluaron, se sometieron a un análisis de varianza bajo un diseño completamente al azar y comparación entre medias con una prueba de rango múltiple de Tukey ($P \leq 0.05$). En ambos análisis se utilizó el software estadístico SAS/STAT 9.0 (SAS, Institute 2002).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Repelencia de Polvos Vegetales sobre el Gorgojo del Maíz *Sitophilus zeamais* Motschulsky (Coleoptera: Curculionidae)

Los resultados obtenidos a 24 horas de exposición indican que los polvos vegetales de gobernadora y pirul presentan efecto repelente y la pimienta efecto atrayente (Cuadro 1), se observó que el *S. zeamais* presenta preferencia por las semillas de maíz no tratadas con relación a las semillas tratadas con los polvos de gobernadora y de pirul. Con gobernadora, Rendón (2007) encontró resultados similares a la presente investigación utilizando el polvo de gobernadora y usando como modelo de estudio insectos de *Z. subfasciatus* (gorgojo pinto) en frijol *Phaseolus vulgaris* L., dicho tratamiento evito que los gorgojos invadieran al frijol, encontrando que ocasionaba repelencia sobre el insecto e indica que el mayor problema del almacenaje de granos es la pérdida que se produce por hongos, bacterias, roedores e insectos, que deterioran y destruyen los alimentos. Este problema es importante para los agricultores de subsistencia, ya que el maíz almacenado es parte de los alimentos básicos consumidos durante el año. Por otro lado, Ferrero *et al.* (2007) encontraron que los extractos de hexano de las hojas y los frutos del pirul tienen propiedades repelentes e insecticidas contra *T. infestans*.

Cuadro 1. Índice de repelencia del gorgojo del maíz *Sitophilus zeamais* en maíz tratado con tres polvos vegetales.

Tratamientos	Repeticiones						Total	IR	Referencia	
	1	2	3	4	5	6				
Gobernadora	24	18	30	29	11	12	124	44.93	0.899	Repelente
Testigo	18	26	20	17	39	32	152	55.07		
Pirul	20	15	20	24	21	32	132	46.64	0.933	Repelente
Testigo	26	31	26	28	29	11	151	53.36		
Pimienta	38	25	20	29	44	15	171	56.25	1.125	Atrayente
Testigo	12	21	29	24	12	35	133	43.75		

%=Porcentaje del total de cada tratamiento con su testigo. ^{IR}=Índice de repelencia. (IR=1) Neutro; (IR>1) Atrayente; (IR<1) Repelente.

En este estudio la pimienta no presentó efecto repelente, difiriendo a lo registrado por De Assis *et al.* (2014), al evaluar el polvo de *P. nigrum* a dosis de 3.0 g en semillas de maíz contra *S. zeamais* encontrando una repelencia del 79.25%. Si bien los valores obtenidos por De Assis *et al.* (2014) no se pueden comparar completamente con los datos registrados en la presente investigación, debido a que, en la presente investigación se utilizó 1.0 g, queda como referencia, ya que dicho porcentaje de repelencia pudo haberse debido a la dosis que se utilizó.

Evaluación de Polvos Vegetales para el Control del Gorgojo del Maíz *Sitophilus zeamais* Motschulsky (Coleoptera: Curculionidae)

Mortalidad por efecto de gobernadora

A 8 días de evaluación, a nivel general se obtuvieron porcentajes de mortalidad bajos con el polvo de *L. tridentata* en sus diferentes concentraciones (Cuadro 2), con mayor mortalidad en la concentración de 1.00 g con 14.77%. No se encontró diferencia significativa entre el testigo y la concentración de 0.25 g. Al realizar la comparación de medias se observó que las concentraciones de 0.50 y 1.00 g presentan diferencias significativas. A los 15 días, ya con un mayor tiempo de exposición de *S. zeamais* al polvo de *L. tridentata*, la mortalidad de los adultos aumentó, principalmente en la concentración de 1.00 g con 48.63% de control y una CL_{50} de 1.16 g polvo. Con respecto a la concentración de 0.25 y 0.50 g no presentaron diferencia significativa entre sí; pero sí, diferencias significativas con el testigo y la concentración de 1.00 g (Cuadro 2).

Cuadro 2. Mortalidad de gorgojo del maíz *Sitophilus zeamais* en maíz tratado con polvo de *Larrea tridentata*.

Concentración (g)	Mortalidad (%) ¹	
	8 días	15 días
0.00	3.41 c	4.14 c
0.25	5.03 c	14.37 b
0.50	9.07 b	23.86 b
1.00	14.77 a	48.63 a
GL	3,23	3,23
F	25.24	57.83
Pr> F	<0.0001***	<0.0001***
R ²	0.84	0.92
&CL ₅₀ (§LC, 95%)	6.13 (2.34-1049)	1.16 (0.91-1.80)
&CL ₉₅ (§LC, 95%)	78.50 (10.76-4201921)	7.97 (3.97-32.72)

¹Medias entre tratamientos con la misma letra no son significativamente diferentes (Tukey; $p < 0.05$).
 ***Indica diferencias altamente significativas contraste valor F a $p < 0.001$. &Concentración letal= g^{-1} polvo, §Límites de confianza.

Los resultados de esta investigación son menores a los reportados por Mendoza *et al.* (2016), quienes al evaluar el polvo de hojas y tallos de *L. tridentata* observaron un control de 95.25% en gorgojos de maíz a 114 h (4.75 días) de exposición. Porcentajes inferiores a los observados en este estudio son reportados por Moo (2011) quien evaluó el polvo de *L. tridentata* en adultos de *S. zeamais* a una concentración de 1.0 g a 28 días de evaluación presentó una mortalidad del 35%.

Mortalidad por efecto de pirul

En el Cuadro 3, se observa que a los 8 días de haberse establecido los bioensayos, en la evaluación de los tratamientos con el polvo de pirul se presentó baja mortalidad de *S. zeamais* con un rango entre 5.65 a 20.99%, no alcanzando al 50% de la mortalidad total. Por otro lado a los 15 días, la mortalidad aumento un 67.17 % en promedio para las tres concentraciones evaluadas, el valor menor fue en la concentración más baja (0.25 g) con el 20.93%, pero con un incremento entre los 8 a los 15 días del 73%, en esta variable, seguido por la concentración media (0.50 g), pero solo se tuvo un incremento en ésta del 59.5%, y en el caso de la concentración más alta (1.0 g), como era de esperarse se obtuvo el valor más alto

de la mortalidad de los insectos con más del 50% de mortalidad (68.98%) y el incremento fue de 69%, superando al promedio, estos resultados corroboran las diferencias altamente significativas, obtenidas en estos resultados. Murray *et al.* (2012) mencionan que el género *Schinus* contiene muchos metabolitos secundarios con actividades biológicas significativas, componentes bioactivos que incluyen monoterpenos, sesquiterpenos, triterpenos, esteroides, flavonoides y aceites esenciales, y la presencia de estos compuestos ha originado usos significativos a esta planta, como: insecticida, antifúngico, analgésico, antioxidante y antitumoral. En el caso de los testigos (0.0 g), la mortalidad expresada pudo deberse a las condiciones de manejo y adaptación de los insectos, por lo que solo se recurrió a la corrección de datos.

Cuadro 3. Mortalidad de gorgojo del maíz *Sitophilus zeamais* en maíz tratado con polvo de *Schinus molle*.

Concentración (g)	Mortalidad (%) ¹	
	8 días	15 días
0.00	3.41 c	4.14 c
0.25	5.65 c	20.93 b
0.50	12.73 b	31.46 b
1.00	20.99 a	68.98 a
GL	3,23	3,23
F	23.08	78.03
Pr> F	<0.0001***	<0.0001***
R ²	0.82	0.94
&CL ₅₀ (\$LC, 95%)	3.32 (1.78-23.75)	0.71 (NC)
&CL ₉₅ (\$LC, 95%)	31.46 (7.89-3008)	3.5041 (NC)

¹Medias entre tratamientos con la misma letra no son significativamente diferentes (Tukey; $p < 0.05$). ***Indica diferencias altamente significativas contraste valor F a $p < 0.001$. &Concentración letal=g⁻¹ polvo, \$Límites de confianza. N.C.=No calculado por el software.

Moo (2011) encontró resultados más bajos que los que se obtuvieron en la presente investigación, donde menciona que el polvo de *S. molle* mostró un valor de 25.1% de mortalidad en *S. zeamais* a 15 días de exposición. Sin embargo, éste autor en la misma investigación reporta que a los 21 y 28 días este polvo presento una mortalidad mayor a 50.3 y 67.8%, respectivamente. Por otra parte, Ferrero *et al.* (2007) mencionan que *S. molle* presenta una mortalidad de 20 a 53% en adultos de

Blattella germanica L. (Blattodea: Blattellidae), resultados inferiores a esta investigación.

Mortalidad por efecto de pimienta

A los 8 días de evaluación, en general se obtuvieron porcentajes de mortalidad bajos con el polvo de *P. nigrum* para las tres concentraciones (Cuadro 4). Además, se encontraron diferencias significativas entre el testigo y las tres concentraciones. A los 15 días, después de un mayor tiempo de exposición de *S. zeamais* con el polvo de *P. nigrum*, la mortalidad continuo-baja en las tres concentraciones, causando la mortalidad más alta la concentración de 1.0 g con 23.18% y con diferencias significativas entre las concentraciones de polvo.

Cuadro 4. Mortalidad de gorgojo del maíz *Sitophilus zeamais* en maíz tratado con polvo de *Piper nigrum*.

Concentración (g)	Mortalidad (%) ¹	
	8 días	15 días
0.00	3.41 c	4.14 c
0.25	8.05 c	12.17 b
0.50	11.49 b	16.68 ab
1.00	16.93 a	23.18 a
GL	3,23	3,23
F	69.17	41.78
Pr> F	<0.0001***	<0.0001***
R ²	0.94	0.90
&CL ₅₀ (§LC, 95%)	13.14 (2.93- 551E+10)	9.43 (2.45-90511365)
&CL ₉₅ (§LC, 95%)	656.80 (24.09- 2.79E+24)	726.72 (26.37-3.14E+20)

¹Medias entre tratamientos con la misma letra no son significativamente diferentes (Tukey; $p < 0.05$).
 ***Indica diferencias altamente significativas contraste valor F a $p < 0.001$. &Concentración letal= g^{-1} polvo, §Límites de confianza.

Al respecto, Quiñones *et al.* (2017) evaluaron el polvo de pimienta sobre la mortalidad de adultos de *S. zeamais* en concentraciones de 1.0, 2.0 y 3.0 g en 300 g de maíz, expuestos por 15 días. Los autores mencionan que la mortalidad obtenida en concentraciones de 1.0 y 2.0 g fue menor al 50%, pero sin valores específicos de mortalidad, aunque también señalaron que obtuvieron los mejores

resultados de control en la concentración de 3.0 g a los 15 días de evaluación con una mortalidad de 68.84%. Por otro lado, Salvadores *et al.* (2007) evaluaron en concentraciones de 0.5, 1.0, 2.0 y 4.0% de polvo de *P. nigrum* sobre adultos de *S. zeamais* en granos de trigo, donde los mejores resultados se obtuvieron a partir de la concentración de 1.0%, la cual provocó una mortalidad superior al 80%; resultado superior a lo obtenido en la presente investigación.

Evaluación de Polvos Vegetales en la Calidad de la Semilla de Maíz

En el Cuadro 5, se observa que a los 8 días de exposición de *S. zeamais* al polvo botánico de *L. tridentata* se aprecian diferencias significativas en el daño en grano entre el testigo y las diferentes concentraciones (0.25, 0.50 y 1.00 g). El daño fue mayor en el testigo, debido a que este no fue protegido con el polvo botánico con un 20%. A los 15 días, se observa que el porcentaje de daño del testigo aumento hasta un 64.57%. Por otro lado, en las concentraciones de polvo se observó un daño máximo de 9.65%, a los 8 y 15 días sin diferencias significativas entre los polvos.

Cuadro 5. Daño en grano por *Sitophilus zeamais* en maíz tratado con polvo de *Larrea tridentata*.

Concentración (g)	Daño en grano (%) ^{1, 2}	
	8 días	15 días
0.00	20.36 a	64.57 a
0.25	9.65 b	9.65 b
0.50	6.84 b	6.84 b
1.00	4.94 b	4.94 b
GL	3,23	3,23
F	12.53	30.42
Pr> F	0.0002***	<0.0001***
R ²	0.73	0.87

¹Medias entre tratamientos con la misma letra no son significativamente diferentes (Tukey; $p < 0.05$).

²Datos transformados por arcoseno para su análisis. ***Indica diferencias altamente significativas contraste valor F a $p < 0.001$.

En el Cuadro 6, en la evaluación del polvo botánico de *S. molle*, se aprecia que a los 8 días hay diferencias significativas en el daño en grano entre el testigo y las diferentes concentraciones y el mayor daño se reflejó en el testigo con 20%.

A los 15 días, el porcentaje de daño en el testigo aumentó, alcanzando 64.57%. Por otro lado, en las concentraciones de polvo se observó un daño máximo de 10.44%, sin diferencias significativas entre las concentraciones de polvo.

Cuadro 6. Daño en grano por *Sitophilus zeamais* en maíz tratado con polvo de *Schinus molle*.

Concentración (g ⁻¹)	Daño en grano (%) ^{1,2}	
	8 días	15 días
0.00	20.36 a	64.57 a
0.25	10.44 b	10.44 b
0.50	8.74 b	8.74 b
1.00	6.80 b	6.80 b
GL	3,23	3,23
F	9.97	24.42
Pr> F	0.0007***	<0.0001***
R ²	0.71	0.84

¹Medias entre tratamientos con la misma letra no son significativamente diferentes (Tukey; $p < 0.05$).

²Datos transformados por arcoseno para su análisis. ***Indica diferencias altamente significativas contraste valor F a $p < 0.001$.

En el Cuadro 7 se observa que el daño en los granos a 8 días de exposición al polvo de *P. nigrum* no presentó diferencias significativas entre las tres concentraciones y con diferencias significativas con respecto al testigo el cual presento mayor daño alcanzando 20.36%. Se presentó mayor daño en los granos a los 15 días en el testigo y en las concentraciones bajas. Se observa diferencia significativa entre el testigo (64.57%) y en la concentración de 1.0 g (29.01%), mientras que entre las concentraciones de 0.25 y 0.50 g no hay diferencias significativas.

Cuadro 7. Daño en grano por *Sitophilus zeamais* en maíz tratado con polvo de *Piper nigrum*.

Concentración (g)	Daño en grano (%) ^{1, 2}	
	8 días	15 días
0.00	20.36 a	64.57 a
0.25	10.61 b	44.28 ab
0.50	10.26 b	41.26 ab
1.00	7.77 b	29.01 b
GL	3,23	3,23
F	7.62	3.89
Pr> F	0.0025**	0.0307*
R ²	0.66	0.51

¹Medias entre tratamientos con la misma letra no son significativamente diferentes (Tukey; $p < 0.05$).

²Datos transformados por arcoseno para su análisis. **Indican diferencias significativas contraste valor F a $p < 0.5$, 0.01, respectivamente.

El efecto de *L. tridentata* sobre la germinación (Cuadro 8) no se vio afectada por alguna de las concentraciones a prueba. En el testigo con y sin exponer al gorgojo y las concentraciones de polvo no presentaron diferencias significativas. Sin embargo, aunque no existen diferencias estadísticas, los datos muestran un porcentaje de inhibición del 13 al 20% entre las concentraciones de polvo.

Cuadro 8. Efecto del polvo de *Larrea tridentata* sobre la germinación de la semilla de maíz tratada para el control de *Sitophilus zeamais*.

Concentración (g)	Germinación (%) ^{3, 4}	Inhibición (%) ^{3, 4}
0.00 ¹	93.33 a	6.67 a
0.00 ²	80.00 a	20.00 a
0.25	83.33 a	16.67 a
0.50	78.33 a	21.67 a
1.00	86.67 a	13.33 a
GL	4,29	4,29
F	1.83	1.83
Pr> F	0.1634ns	0.1634ns
R ²	0.40	0.40

¹Testigo sin exponer al ataque de *S. zeamais*, ²Testigo expuesto al ataque de *S. zeamais*, ³Medias entre tratamientos con la misma letra no son significativamente diferentes (Tukey; $p < 0.05$). ⁴Datos transformados por arcoseno para su análisis. ^{ns}no significativo.

Sorprendentemente la inhibición no fue tan alta, dado que se reconoce que las hojas y tallos de la gobernadora contienen aproximadamente 12% de resina, cuyo constituyente principal es un compuesto fenólico tóxico llamada ácido

nordihidroguaiarético (NDGA) y que tiende a inhibir el desarrollo de otras plantas (García *et al.*, 2005).

En el Cuadro 9 se aprecia la germinación e inhibición en el maíz tratado con *S. molle*, donde no se observaron diferencias significativas entre las concentraciones del polvo de *S. molle* y el testigo con y sin exponer a *S. zeamais*.

Cuadro 9. Efecto del polvo de *Schinus molle* sobre la germinación de semilla de maíz tratada para el control de *Sitophilus zeamais*.

Concentración (g)	Germinación (%) ^{3,4}	Inhibición (%) ^{3,4}
0.00 ¹	93.33 a	6.67 a
0.00 ²	80.00 a	20.00 a
0.25	76.67 a	23.33 a
0.50	83.33 a	16.67 a
1.00	71.67 a	28.33 a
GL	4,29	4,29
F	0.80	0.80
Pr> F	0.5387ns	0.5387ns
R ²	0.20	0.20

¹Testigo sin exponer al ataque de *S. zeamais*, ²Testigo expuesto al ataque de *S. zeamais*, ³Medias entre tratamientos con la misma letra no son significativamente diferentes (Tukey; $p < 0.05$). ⁴Datos transformados por arcoseno para su análisis. ^{ns}no significativo.

En los maíces tratados con *P. nigrum* en la germinación/inhibición se observaron diferencias significativas entre los testigos y la concentración de 1.0 g, presentando una baja germinación de 50%. Por otro lado, aunque no existen diferencias estadísticas, las concentraciones de 0.25 y 0.50 g muestran diferencias de hasta un 20% de inhibición con respecto al testigo sin exponer al gorgojo.

Cuadro 10. Efecto del polvo de *Piper nigrum* sobre la germinación de semilla de maíz tratada para el control de *Sitophilus zeamais*.

Concentración (g)	Germinación (%) ^{3,4}	Inhibición (%) ^{3,4}
0.00 ¹	93.33 a	6.67 b
0.00 ²	80.00 ab	20.00 ab
0.25	71.67 ab	28.33 ab
0.50	70.30 ab	30.00 ab
1.00	51.67 b	48.33 a
GL	4,29	4,29
F	3.96	3.96
Pr> F	0.0158*	0.0158*

R ²	0.48	0.48
¹ Testigo sin exponer al ataque de <i>S. zeamais</i> , ² Testigo expuesto al ataque de <i>S. zeamais</i> , ³ Medias entre tratamientos con la misma letra no son significativamente diferentes (Tukey; $p < 0.05$). ⁴ Datos transformados por arcoseno para su análisis. *Indica diferencias significativas contraste valor F a $p < 0.05$ respectivamente.		

En la evaluación del crecimiento de radícula, en todas las concentraciones de *L. tridentata* se registró que este crecimiento no fue afectado significativamente por el polvo sin diferencias estadísticas entre las concentraciones del polvo y los testigos (Cuadro 11). Aunque no existen diferencias estadísticas, los datos muestran diferencias numéricas en el testigo sin exponer al ataque de *S. zeamais* con respecto al testigo expuesto al ataque de *S. zeamais* y las tres concentraciones.

En cuanto al crecimiento de plúmula si hay diferencias significativas entre los dos testigos. No hay diferencia significativa entre el testigo sin exponer al gorgojo y las tres concentraciones. Sin embargo, si hay diferencia significativa entre el testigo expuesto al gorgojo sin polvo vegetal y la concentración de 1.0 g, con un mayor crecimiento de tallo en esta última.

Cuadro 11. Crecimiento de radícula y plúmula de maíz tratado con polvo de *Larrea tridentata* para el control de *Sitophilus zeamais*.

Concentración (g)	Radícula (mm) ³	Plúmula (mm) ³
0.00 ¹	46.37 a	20.92 a
0.00 ²	29.66 a	7.47 b
0.25	27.52 a	17.24 ab
0.50	31.85 a	17.27 ab
1.00	29.80 a	24.25 a
GL	4,29	4,29
F	2.21	6.32
Pr > F	0.1049ns	0.0019**
R ²	0.39	0.62

¹Testigo sin exponer al ataque de *S. zeamais*, ²Testigo expuesto al ataque de *S. zeamais*, ³Medias entre tratamientos con la misma letra no son significativamente diferentes (Tukey; $p < 0.05$). **Indica diferencias significativas contraste valor F a $p < 0.01$, ns no significativo.

En la evaluación de la semilla expuesta al polvo de pirul y gorgojos, expreso un promedio de 27.59 y 13.45 mm de longitud en el crecimiento de radícula y plúmula de maíz, respectivamente. Por otro lado el efecto ocasionado por el insecto en la semilla sin protección se expresó el valor más bajo en plúmula (7.47 mm), este

mismo comportamiento se presentó en la concentración más baja de 0.25 g (12.40 mm), pero esto no se expresó para la radícula (29.66 mm) incluso se mostraron diferencias altamente significativas para esa variable, Garcia (2003) menciona que el gorgojo de maíz específicamente la especie *S. zeamais*, es una de las plagas de almacén de mayor daño, sobre todo cuando estos no se encuentran tratados con insecticidas y la alta infestación demerita la calidad de semilla hasta en un 30 y 40% (Lagunes, 1994). En el caso contrario se encontró que el valor más bajo en radícula fue cuando la semilla estuvo expuesta al polvo de pirul con la concentración más alta de 1.0 g y a los insectos con un valor de 18.72 mm. En el caso del testigo absoluto este se comportó con los valores óptimos que se dan en la germinación de semillas de maíz, con diferencias significativas con respecto al testigo expuesto a los gorgojos y a los tratamientos con el polvo de pirul (Cuadro, 12), expresando los valores más altos tanto para radícula como para plúmula, sin embargo, no fue posible determinar el efecto inhibitorio del polvo sobre la germinación y calidad de la semilla, debido a que no se comparó con un testigo donde solo estuviera expuesta la semilla con el polvo, en este sentido, los efectos alelopáticos que pudieran tener los polvos sobre la germinación del maíz puede ser un tema de investigación en futuros trabajos.

Cuadro 12. Crecimiento de radícula y plúmula de maíz tratado con polvo de *Schinus molle* para el control de *Sitophilus zeamais*.

Concentración (g)	Radícula (mm) ³	Plúmula (mm) ³
0.00 ¹	46.37 a	20.92 a
0.00 ²	29.66 ab	7.47 b
0.25	39.43 ab	12.40 b
0.50	24.62 ab	14.91 ab
1.00	18.72 b	13.03 ab
GL	4,29	4,29
F	4.59	5.87
Pr> F	0.0086**	0.0027**
R ²	0.53	0.58

¹Testigo sin exponer al ataque de *S. zeamais*, ²Testigo expuesto al ataque de *S. zeamais*, ³Medias entre tratamientos con la misma letra no son significativamente diferentes (Tukey; $p < 0.05$). **Indica diferencias significativas contraste valor F a $p < 0.01$.

El crecimiento de radícula y plúmula de semilla tratada con pimienta negra se vio afectado por acción del polvo, con diferencias significativas entre las tres concentraciones con polvo y el testigo no expuesto al ataque de *S. zeamais*. El testigo expuesto al ataque del gorgojo y las tres concentraciones del polvo presentaron significativamente menor crecimiento (Cuadro 13).

Cuadro 13. Crecimiento de radícula y plúmula de maíz tratado con polvo de *Piper nigrum* para el control de *Sitophilus zeamais*.

Concentración (g)	Radícula (mm) ³	Plúmula (mm) ³
0.00 ¹	46.37 a	20.92 a
0.00 ²	29.66 ab	7.47 b
0.25	22.66 b	10.47 b
0.50	27.30 b	11.20 b
1.00	19.49 b	9.79 b
GL	4,29	4,29
F	6.36	6.90
Pr> F	0.0018**	0.0012**
R ²	0.66	0.63

¹Testigo sin exponer al ataque de *S. zeamais*, ²Testigo expuesto al ataque de *S. zeamais*, ³Medias entre tratamientos con la misma letra no son significativamente diferentes (Tukey; $p < 0.05$). **Indica diferencias significativas contraste valor F a $p < 0.01$ respectivamente.

En la evaluación de la emergencia de la primera generación después de los tratamientos (F1), los resultados mostraron que los polvos mantuvieron su efectividad durante los 55 días después de la infestación (Cuadro 14). La menor emergencia de adultos F1 se registró en la concentración de 1.0 g, en los tres polvos, *S. molle* (122.00), seguido por *L. tridentata* (134.67) y *P. nigrum* (147.83), en el cual se observa una reducción de hasta un 50% la emergencia de la F1 de *S. zeamais*. Cabe destacar que en las tres concentraciones de *S. molle* y *P. nigrum*. no hubo diferencia estadística para los polvos, por otro lado, con el polvo *L. tridentata* si hubo diferencias significativas entre las concentraciones.

Cuadro 14. Emergencia de la F1 de *Sitophilus zeamais* de semilla de maíz tratada con polvos de *Larrea tridentata*, *Schinus molle* y *Piper nigrum*.

Concentración (g)	<i>Larrea tridentata</i> ¹	<i>Schinus molle</i> ¹	<i>Piper nigrum</i> ¹
0.00	318.33 a	318.33 a	318.33 a
0.25	189.50 b	158.17 b	180.67 b
0.50	169.33 bc	142.00 b	165.50 b
1.00	134.67 c	122.00 b	147.83 b
GL	3,23	3,23	3,23
F	48.53	59.57	44.66
Pr> F	<0.0001***	<0.0001***	<0.0001***
R ²	0.91	0.92	0.90

¹Medias entre tratamientos con la misma letra no son significativamente diferentes (Tukey; $p < 0.05$).

***Indica diferencias significativas contraste valor F a $p < 0.001$.

Resultados similares a la presente investigación son reportados por Silva *et al.* (2005) quienes obtuvieron con polvo de pirul al 1% una reducción de 17.4% en la emergencia de insectos adultos; por otro lado, Salvadores *et al.* (2007) tuvieron la menor emergencia de la F1 (3.4%) con el polvo de *P. nigrum* al 4%.

En la presente investigación se observó en los diferentes polvos vegetales propiedades de repelencia, mortalidad y efecto sobre la emergencia de la F1, así también efectos sobre las semillas de maíz, algunos no afectaron la germinación y la protegieron del daño de *S. zeamais*.

Los polvos botánicos que causaron mayor mortalidad a los 15 días fueron el pirul y la gobernadora con un 68.98 y 48.63%, respectivamente. Estos también presentaron efecto de repelencia sobre *S. zeamais*. Los polvos que presentaron la mayor mortalidad tuvieron la menor emergencia de gorgojos. Estos resultados indican que a medida que el polvo permanece por periodos prolongados en contacto con el gorgojo probablemente aumente la mortalidad, y podrían explicarse con base a que algunas plantas son repelentes e insecticidas y para este caso en particular podría deberse a un efecto disuasivo de la alimentación u ovoposición (Coats, 1994).

Las plantas se defienden contra los insectos herbívoros a través del uso combinado de mecanismos de defensas directos e indirectos. Los mecanismos de defensa

vegetal directos son rasgos que están presentes de manera continua en la planta, los cuales tienen la función de dar resistencia a las plantas al ataque de patógenos o inhibir el consumo aun posible invasor (Hernández *et al.*, 2007). Tomado en cuenta estos mecanismos de defensa, *L. tridentata* en sus hojas contiene una espesa resina, la cual es una fuente invaluable de moléculas biológicamente activas, destacando sus metabolitos secundarios fenoles, lignanos, saponinas y flavonoides y que sirven como defensas bioquímicas para repeler la agresión de animales herbívoros, hongos y otros microorganismos (Lira, 2003; Martins *et al.*, 2013). Si bien es una especie a la que se le reconoce su efecto insecticida en especies plaga de granos almacenados afectando el crecimiento, sobrevivencia, oviposición, disminución de la reproducción, e insecticida caracterizada por la muerte y repelencia de los insectos como el gorgojo pardo del frijol *Acanthoscelides obtectus* (Say.) (Coleoptera: Chrysomelidae) y el barrenador mayor de los granos *Prostephanus truncatus* Horn (Coleoptera: Bostrichidae), no obstante; se le reconocen mayores propiedades fitosanitarias en el control de hongos fitopatógenos, así como su efecto antiviral y antibacterial (Cortez *et al.*, 1993; Lira, 2003).

Los posibles efectos de todos los diferentes flavonoides y otros constituyentes son numerosos y variados y la combinación de estos constituyentes apuntan hacia un sinergismo que amplía el efecto del compuesto activo primario (NDGA) (Penuelas-Rubio *et al.*, 2017); de ahí su acción insecticida cuya actividad es atribuida probablemente a que posee un alto contenido de metabolitos secundarios en sus hojas produciendo un potente antioxidante (NDGA) y por tal razón, este polvo presentó valores de control provocando un efecto anti-insecto frente a *S. zeamais*, por incrementar la mortalidad. Estos componentes también se pueden usar para modificar la conducta del insecto por el efecto repelente observado.

Al igual que la gobernadora, al pirul se le ha atribuido propiedades insecticidas. La investigación química de especies de *Schinus* ha revelado muchos metabolitos secundarios de este género con actividades biológicas significativas, componentes

bioactivos que incluyen monoterpenos, sesquiterpenos, triterpenos, esteroides, flavonoides y aceites esenciales, y a causa de la presencia de estos compuestos se le ha dado usos significativos como antifúngicos, analgésicos, antioxidantes y antitumorales (Murray *et al.*, 2012).

Se conoce que el aceite esencial de las hojas frescas posee un olor característico picante y se le atribuyen propiedades antibacteriana, antiséptica, antiviral, insecticida, antifúngica, antioxidante, antiinflamatorio, antitumoral, astringente y analgésico (Espinoza, 2014; López-Meneses *et al.*, 2015).

Descamps *et al.* (2008) evaluaron la toxicidad por contacto, el efecto fumigante, los índices nutricionales, la actividad fagodisuasiva y repelente de extractos etnológicos y hexánicos de hojas y frutos de *S. molle* en larvas y adultos de *Tribolium castaneum* Herbst. (Coleoptera: Tenebrionidae) y observó la toxicidad por contacto en ambos estados. Las larvas resultaron más susceptibles al extracto hexanoico de hojas y los adultos al extracto etanólico de hojas.

Benzi *et al.* (2009) evaluaron la actividad fumigante, repelente, los índices nutricionales y la actividad anti alimentaria de los aceites esenciales de hojas y frutos de *S. molle* en adultos de *S. oryzae*. El aceite esencial de hojas mostró efectos repelentes en dos concentraciones (0.04 y 0.4%, p/v), probadas por estos autores, mientras que el de frutos no produjo repelencia. Ambos aceites alteraron la fisiología nutricional de *S. oryzae*. El aceite de frutos produjo un efecto antialimentario fuerte (62%) y el de hojas menor (40,6%).

Wimalaratne *et al.* (1996), menciona que los aceites esenciales se presentan en un 2% en las hojas del *S. molle* y contienen terpenoides, siendo el *cis*-menth-2-en-1-ol y el *trans*-piperitol los que han sido involucrados en la actividad insecticida en *Musca domestica* L. (Diptera: Muscidae). Por otro lado, Ruffinengo *et al.* (2005) han encontrado que el canfene, mircene, beta-felandrene y alfa-felandrene ocasionan la

actividad de repelencia e insecticida en *Varroa destructor* Anderson y Trueman (Mesostigmata: Varroidae) y *Apis mellifera* L. (Hymenoptera: Apidae).

Con base en Lagunes (1994), señala efectivos a aquellos tratamientos con mortalidades superiores al 40%, por lo que se consideró como prometedores a los polvos de *S. molle* y *L. tridentata* ya que superan este porcentaje.

Se presentaron resultados significativamente favorables de los polvos de *L. tridentata* y *S. molle* para la protección del grano almacenado, en general sin afectar la germinación ni las propiedades agronómicas. Moo (2011) evaluó *S. molle* y *L. tridentata* sobre *S. zeamais* encontrando resultados similares a la presente investigación, en el cual el porcentaje de daño de grano fue mínimo en los tratamientos con los polvos y con mayor daño en el testigo. También Mendoza *et al.* (2016) uso polvo de gobernadora sobre semillas de maíz y observo una germinación de 85.93%.

Moreno (1996) menciona que el potencial de germinación se puede ver afectado por diferentes factores bióticos, abióticos y de manejo, de allí la importancia de encontrar productos efectivos para el control de plagas y enfermedades de los granos almacenados.

El polvo de pimienta negra tuvo un efecto atrayente y la mortalidad fue baja con 23.18% de control. La germinación se mantuvo hasta en un 70% en los tratamientos de 0.25, 0.50 g, mientras que en la concentración de 1.0 g se reduce hasta un 50% la germinación, ocasionando un impacto negativo con daño en grano y menor crecimiento de radícula y plúmula; al respecto Salvadores *et al.* (2007) probaron la eficacia de la pimienta negra y concluyeron que el polvo de esta planta no afectaba la viabilidad de las semillas al tener una buena germinación.

El porcentaje de mortalidad observada con el polvo de pimienta negra es influenciado por la concentración de la sustancia activa. Puede ser que la

substancia activa sea muy potente, pero la concentración a la que se encuentra en el polvo sea relativamente baja y no se refleje en una elevada mortalidad. Con base en Silva *et al.* (2002), la efectividad biológica de los insecticidas de origen vegetal, con frecuencia, son muy variables y dependen, en gran medida, de la estructura del vegetal evaluado, del estado fenológico y de las condiciones ambientales imperantes donde se desarrolló el cultivo. Por su parte, López *et al.* (2010) mencionan que las plantas están en constante interacción con su ecosistema, de manera que los metabolitos secundarios que producen están cambiando continuamente de concentración. Esto hace que las plantas, sus extractos o sustancias, algunas veces no manifiesten actividad biológica mientras que en otras ocasiones muestran actividad repelente, insectistática o insecticida. Esta variabilidad indica que existen factores intrínsecos y extrínsecos que afectan la concentración y actividad de las sustancias insectistática e insecticidas.

Con estos resultados es clara la evidencia del efecto insecticida de los polvos botánicos sobre el gorgojo; sin embargo, la efectividad se ve afectada por las concentraciones que se están empleando. Algunos autores indican que el poder de control con el uso de polvos está influenciado por el tamaño de la partícula del polvo, que puede actuar mediante la obstrucción de los espiráculos de los insectos, los cuales mueren por asfixia (Denloye *et al.*, 2010). Aunque en el presente estudio no se tuvo evidencia de ello, Ofuya y Dawodu (2002) demostraron que existe una relación directa entre el tamaño de las partículas del polvo de plantas empleados y la mortalidad de los insectos; sin embargo, Denloye *et al.* (2010) reportaron que existe acción ovicida y suprime la ovoposición, lo que indica una excelente oportunidad para la protección de granos almacenados.

Debido a las propiedades insecticidas, estos polvos representan una opción interesante para la reducción de daños de plagas en almacén y por lo tanto de gran utilidad en el manejo del *S. zeamais* en semillas de maíz almacenadas, principalmente en pequeñas propiedades rurales, necesitando, por tanto, de una normalización en los procesos de colecta, secado vegetal, cuantificación de los

compuestos bioactivos, a fin de que los resultados obtenidos puedan ser reproducidos y/o comparados. Además de que podría brindar una mayor aceptación social que los tratamientos químicos convencionales, así como beneficios adicionales a la salud y el ambiente.

CONCLUSIONES

Los polvos botánicos con mayor acción de control de *Sitophilus zeamais* son el pirul *Schinus molle* y la gobernadora *Larrea tridentata* y presentan efecto de repelencia sobre el gorgojo.

Los polvos botánicos de gobernadora, pirul y pimienta protegen el grano del daño de *Sitophilus zeamais*.

La presencia de los polvos botánicos de pirul y gobernadora no afecta en forma significativa la germinación de los granos de maíz.

Los polvos botánicos de gobernadora, pirul y pimienta reducen la emergencia de nuevos adultos de *S. zeamais*.

El polvo vegetal que mostró una menor capacidad insecticida fue la pimienta *Piper nigrum* e impacto negativamente los parámetros de calidad de la semilla.

LITERATURA CITADA

- Abbott, W. S. 1925. A method of computing the effectiveness of an insecticide. J. Econ. Entomol. 18: 265-267.
- Ablan, E. 2019. Pirul: Características, para qué sirve, efectos secundarios. Disponible en: <https://www.lifeder.com/pirul/> Consultado: 6/09/19
- Accame, M. E. 2009. Propiedades terapéuticas de la pimienta (*Piper nigrum*). Panorama actual del medicamento, 33(326), 878. Recuperado de <https://botplusweb.farmaceuticos.com/documentos/2009/9/29/40643.pdf> Consultado: 3/06/2019
- Agrios, G. N. 2005. Plant pathology. Academic Press. New York. 838 pp.
- Almeida, F., Almeida, S. A., Santos, N. R., Gomes, J. P. & Araujo, E. R. 2005. Efeitos de extratos alcoólicos de plantas sobre o caruncho do feijão vigna (*Callosobruchus maculatus*), *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. Campina Grande, 9(4), 585-590.
- Arienilmar, A. L., Da Silva, L. R., Faroni, D. A., Guedes, N. C., Martins, J. H. & Pimentel, A. G. 2005. Modelos analíticos do crescimento populacional de *Sitophilus zeamais* em trigo armazenado. *Engenharia Agrícola e Ambiental* 10:55. Recuperado de <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/HrwtX43FFJqPtKRkkKs8jPB/?lang=pt> Consultado: 10/08/19
- Awoyinka, O. A., Oyewole, I. O., Amos, B. M. W. & Oyeyipo, F. M. 2006. Comparative pesticidal activity of dichloromethane extracts of *Piper nigrum* against *Sitophilus zeamais* and *Callosobruchus maculatus*. *African Journal of Biotechnology*, 5(24), 2446-2449. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/342131967_Comparative_pesticidal_activity_of_dichloromethane_extracts_of_Piper_nigrum_against_Sitophilus_zeamais_and_Callosobruchus_maculatus Consultado: 17/11/22
- Benzi, V., Stefanazzi, N., & Ferrero, A. A. 2009. Bioactividad de aceites esenciales de hojas y frutos del aguaribay (*Schinus molle* L.) en el gorgojo del arroz

- (*Sitophilus oryzae* L.). *Chilean Journal of Agricultural Research*, 69(2), 154–159.
- Bergvinson, D. J., García, L. S. & Espinosa, C. C. 2007. Manual de plagas en granos almacenados y tecnologías alternas para su manejo y control. México, D.F.: CIMMYT.
- Borror, D. J., De Long, D., & Triplehom, C. 1979. A introduction to the study of insects. Fifth edition. Saunders College Publishing. Philadelphia, New York, Chicago, San Francisco.
- Calderón, R., Mejía, C., Ortiz, T. & Román, M. 2017. Elaboración y consumo de tortillas como patrimonio cultural de San Pedro del Rosal, México. *Región y sociedad*. Volumen 29.
- Carvalho, J. R. 2015. *Sitophilus zeamais* y *Sitotroga cerealella*: Pragas do Milho. Disponible en: <http://www.agronegocios.eu/noticias/sitophilus-zeamais-e-sitotroga-cerealella-pragas-do-milho/>. Consultado 20/10/2019
- Casini, C. 2007. Proyecto eficiencia de cosecha y postcosecha de granos. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Argentina. Disponible en: https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_manual_de_buenas_practicas_en_poscosecha_de_granos_reglon_48-2.pdf Consultado 25/10/2019
- Coats, J. R. 1994. Risks from natural versus synthetic insecticides. *Annual Review of Entomology*, 39(1), 489-515. DOI: 10.1146/annurev.en.39.010194.002421
- CONABIO. 2019a. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad Especies para la reforestación. *Larrea tridentata*. Disponible en: <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/anacardiaceae/schinus-molle/fichas/ficha.htm/> Consultado: 29/10/2019
- CONABIO. 2019b. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad Plantas medicinales. *Schinus molle*. Disponible en: <http://enciclovida.mx/especies/168116-larrea-tridentata>. Consultado: 29/10/2019
- Cortez, M. O., Sánchez-Mariñez, G., Villaescusa, M. I., & Cinco-Moroyoqui, F. J. 1993. Plant powders as stored grain protectants against *Zabrotes subfasciatus* (Boheman). *Southwestern Entomologist*.18(1), 73-75.

Recuperado de:
https://www.researchgate.net/publication/269698612_Plant_powers_as_stored_grain_protectants_against_Zabrotes_subfasciatus_Boheman
Consultado: 13/11/19

De Assis, C. A., da Silva, F., Queiroga, V., Neto, A. F., Cárdenas, O. N. & Rojas, Bienvenido, G. R. 2014. Eficiencia de extractos vegetales como insecticida sobre *Sitophilus zeamais* en granos de maíz almacenados. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 23(2), 57-62. Recuperado de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2071-00542014000200010&lng=es&tlng=es Consultado: 18/10/2022

De Assis, C. F., Costa, A. & Palmeira, J. 1999. Avaliação de extratos vegetais e métodos de aplicação no controle de *Sitophilus* spp. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais* 1(1), 13-19. Recuperado de <https://docplayer.com.br/50771518-Avaliacao-de-extratos-vegetais-e-metodos-de-aplicacao-no-controle-de-sitophilus-spp-1.html> Consultado: 22/11/22

Dell'Orto, H. & Arias, C. 1985. Distribución e importancia de los insectos que dañan granos y productos almacenados en Chile. Santiago, Chile: FAO/INIA. 146 p.

Denloye A. A., Makanjuola, W. A., Teslim, O., Alafia, O. A., Kasali, A. A. & Eshilokun, A. O. 2010. Toxicity of *Chenopodium ambrosoides* L. (Chenopodiaceae) products from Nigeria against three storage insects. *Journal of Plant Protection Research*, 50(3), 379-384. DOI: <https://doi.org/10.2478/v10045-010-0064-7>

Descamps, L. R., Stefanazzi, N., Sanchez Chopa, C. & Ferrero, A. A. 2008. Actividad biológica de extractos vegetales de "*Schinus molle*" var. "areira" (Anacardiaceae) en "*Tribolium castaneum*" Herbst. (Insecta, Coleoptera, Tenebrionidae), plaga de grano almacenados. *Boletín de sanidad vegetal plagas*, 34(4), 595-606. Recuperado de: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2861917> Consultado:28/01/23

Duke, J. 1985. Handbook of medicinal herbs. Editorial CRC Press. 870 p.

- Espinoza, J. A. 2014. Control *in vitro* de *Fusarium oxysporum* Schlect f. sp. *Lycopersici* (Sacc.) Snyder and Hans Mediante la técnica de Biofumigación utilizando plantas presentes en el norte mexicano. (Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro). Recuperado de: <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/handle/123456789/6473>
Consultado: 28/01/23
- Fernández, S., Hurtado, L. M. & Hernández, F. 1979. Fungicidal components of creosote bush resin. Pp. 351- 355. In: Advances in Pesticide Science (ed. H. Geissbühler). Pergamon Press Oxford and New York. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780080223490500539>
Consultado: 20/11/19
- Ferrero, A., Minetti, A., Bras, C. & Zanetti, N. 2007a. Acute and subacute toxicity evaluation of ethanolic extract from fruits of *Schinus molle* in rats. Journal of Ethnopharmacology, 113(3), 441–447. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378874107003170>
Consultado: 20/11/19
- Ferrero, A., Sánchez C., González, J. O. & Alzogaray, R. A. 2007b. Repellence and toxicity of *Schinus molle* extracts on *Blattella germanica*. Fitoterapia. 78(4), 311–314. Doi: 10.1016/j.fitote.2006.11.021
- Fields, P. & Muir, W. 1996. Physical control. In: Subramanyam, B., & Hagstrum, D. (EDS). Integrated Management of insects in stored products. pp.195-222. New York. USA: Marcel Dekker, Inc.
- García L. S. 2004. Mapa genético de las características del maíz tropical (*Zea mays*) asociadas con la resistencia a la plaga de almacenamiento, *Sitophilus zeamais* Motsch. (Coleoptera: curculionidae). Tesis Doctoral. Universidad Autónoma Metropolitana. Iztapalapa, México, D.F. 116 p.
- García, L. S., Andrew, J. B., Serratos, J. A., Díaz, D. M., John, T. A. & Bergvinson, D. J. 2003. Defensas Naturales en el Grano de Maíz al Ataque de *Sitophilus zeamais* (Motsch, Coleoptera: Curculionidae): Mecanismos y Bases de la Resistencia, 22(3), 138-145. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/224893606_Defensas_Naturales_

en_el_Grano_de_Maiz_al_Ataque_de_Sitophilus_zeamais_Motsch_Coleoptera_Curculionidae_Mecanismos_y_Bases_de_la_Resistencia Consultado: 18/11/19

García, S., Fernández, F. M., Sánchez, E. & Heredia, N. 2005. Extractos de plantas medicinales mexicanas inhiben el crecimiento de especies de *Listeria*. 7 p.

GBIF. 2017a. Global Biodiversity Information Facility. GBIF Backbone Taxonomy. *Zea mays* L. Sp. pl. 2: 971. Disponible en: <https://www.gbif.org/species/2705049>. Consultado: 13/10/2019.

GBIF. 2017b. Global Biodiversity Information Facility. GBIF Backbone Taxonomy. *Piper nigrum* L. Disponible en: <https://www.gbif.org/species/2705049>. Consultado: 13/10/2019

González, F., Ramírez, M., Torres, R., Pinto, V. M. & Ramírez, S. 2009. Agentes de control biológico de plagas de granos almacenados. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, 3(1), 49-56. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/4555/455545064007.pdf>

González, S., Pino, O., Herrera, R. S., Valenciaga, N., Fortes, D. & Sánchez, Y. 2009. Control de *Sitophilus zeamais* con polvos vegetales de una especie de la familia Fabacea (49-1-XIV). *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 43(3), 321-325. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193015481017> Consultado: 18/11/19

Gutiérrez, L. J. 1990. Insectos que infestan los granos y productos almacenados (listado de especies reportadas a nivel mundial). Soc. Mex. Ent. Edic. Mex. Postcosecha. 46p.

Hernández, A. J. & Carballo, C. A. 2017. Almacenamiento y conservación de granos y semillas. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural Pesca y Alimentación, Subsecretaría de Desarrollo Rural, Dirección General de Apoyos para el Desarrollo Rural. México, D.F. 8p. Recuperado de <http://somossemilla.org/wp-content/uploads/2017/06/Almacenamiento-de-semillas.pdf>

Hernández, L. A. N., Bautista, B. S. & Velázquez, M. G. 2007. Prospective of plant extracts for controlling postharvest diseases of horticultural products. In Rev.

- Fitotecnia Mexicana 30(2), 119-123. DOI:
<https://doi.org/10.35196/rfm.2007.2.119>
- Herráiz, E. M. 2009. Pimienta. *Quaderns de la Fundació Dr. Antoni Esteve*, 76-78.
Disponible en:
<https://www.raco.cat/index.php/QuadernsFDAE/article/download/254934/341915> Consultado: 25/11/2019
- INIFAP. 2003. (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias). Manual de plantas útiles. Campo Experimental la campana. Chihuahua, México. Recuperado de
<https://es.scribd.com/document/337811577/INIFAP-Manual-de-Plantas-Utiles-pdf> Consultado: 18/11/19
- Lagunes, A. 1994. Extractos, polvos vegetales y minerales para el combate de plagas del maíz y del frijol en la agricultura de subsistencia. Memoria. Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas. Montecillo, Texcoco, México. 35 p.
- Lira, R. H. 2003. Estado actual del conocimiento sobre las propiedades biocidas de la gobernadora [*Larrea tridentata* (D.C.) Coville]. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 21(2), 214-222. Recuperado de
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61221217> Consultado: 13/10/2019
- López, E., Rodríguez, C. & Garza, R. 2010. Factores que optimizan la efectividad del polvo de raíz de *Senecio salignus* contra el gorgojo mexicano del frijol. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 33(3), 225-230.
- López-Meneses, A. K., Plascencia-Jatomea, M., Lizardi-Mendoza, J., Rosas-Burgos, E. C., Luque-Alcaraz, A. G. & Cortez-Rocha, M. O. 2015. Antifungal and antimycotoxigenic activity of essential oils from *Eucalyptus globulus*, *Thymus capitatus* and *Schinus molle*, *Food Science and Technology* (Campinas), 35(4), 664-671. DOI: <https://doi.org/10.1590/1678-457X.6732>
- Martínez, R. R., García, G. C. & Ramírez, V. B. 2009. Tecnología de Granos y Semillas. Libros técnicos serie Agricultura. Universidad Autónoma Indígena de México. 290 pp. Recuperado de
<https://redesus.files.wordpress.com/2008/12/tecnologias-de-granos-y-semillas.pdf>

- Martins, S., Amorim, E., Sobrinho, T., Saraiva, A. M., Pisciotano, M., Aguilar, C., Teixeira, J. A. & Mussatto, S. I. 2013. Antibacterial activity of crude methanolic extract and fractions obtained from *Larrea tridentata* leaves. *Industrial Crops and Products*, 41, 306-311. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.04.037>
- Mendoza, E., Rodríguez, G., Guevara, L. P., Andrio, E., Rangel, J. A., Rivera, J. G. & Cervantes, 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. Recuperado de 2007-0934-remexca-7-07-1599.pdf (scielo.org.mx) Consultado: 27/10/ 2022
- Metcalf, C. L. & Flint, W. P. 1982. *Insectos destructivos e insectos útiles*. Editorial McGRAW-Hill.
- Molina, J. & Garcia, A. 2001. Alcamidas en plantas: distribución e importancia. 11p. Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/Jorge-Molina-Torres/publication/242260227_Alcamidas_en_plantas_Distribucion_e_importancia/links/54a19be60cf256bf8baf7612/Alcamidas-en-plantas-Distribucion-e-importancia.pdf Consultado: 25/11/2019
- Montejo, A. D. 2016. *Conservación y Almacenaje de Granos en Poscosecha*. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. P59. UAAAN.
- Moo, J. 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). Recuperado de <https://1library.co/document/zgg6502z-evaluacion-diferentes-polvos-vegetales-control-gorgojo-sitophilus-motschulsky.html> Consultado: 27/10/2022
- Moreno, M. E. 1996. *Análisis físico y biológico de semillas agrícolas*. 3a ed. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. pp. 249-251.
- Murray, A. P., Rodríguez, S. & Alza, N. P. 2012. Chemical constituents and biological activities of plants from the genus *Schinus*. *RPMP. Ethnomed Ther*

- Validation, 32, 261-87. Recuperado de:
<https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/184395> Consultado: 28/01/23
- Ofuya, T. I. & Dawodu, E. O. 2002. Aspects of insecticidal action of *Piper guineense* Schum and Thonn fruit powders against *Callosobruchus maculatus* (F.) (Coleoptera: Bruchidae). *Nigerian Journal of Entomology*, 19, 40-50. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/285089025_Aspects_of_insecticidal_action_of_Piper_guineense_Schum_and_Thonn_fruit_powders_against_Callosobruchus_maculatus_F_Coleoptera_Bruchidae Consultado: 22/11/2022
- Ortas, L. 2008. El cultivo del maíz: fisiología y aspectos generales. Boletín No. 7. AGRIGAN. Recuperado de https://ele.chaco.gob.ar/pluginfile.php/694808/mod_folder/content/0/ORTAS%2C%20Lorenzo_El%20cultivo%20del%20maiz.pdf?forcedownload=1 Consultado: 18/11/19
- Ortega, C. A., Cota, A. O., Vasal, S. K., Villegas, M. E., Córdova, O. H., Barreto, M. A. & Espinosa, C. A. 2001. H-441, H-442 y H-469, Híbridos de maíz de calidad proteínica mejorada para el Noroeste y Subtrópico de México. *Agricultura Técnica en México*, 30(1), pp. 119-124. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/608/60830112.pdf> Consultado: 05/06/19
- Paliwal, R. L. 2001. Origen, evolución y difusión del maíz. En: Paliwal, R. L., Granados, G., Lafitte, H. R., Violic, A. D. & Marathée, J. P. (Eds.). *El maíz en los trópicos. Mejoramiento y producción. Colección FAO: Producción y Protección Vegetal 28. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma.* pp. 5-9.
- Penuelas-Rubio, O., Arellano-Gil, M., Verdugo-Fuentes, A. A., Chaparro-Encinas, L. A., Hernández-Rodríguez, S. E., Martínez-Carrillo, J. L., & Vargas-Arispuro, I. C. 2017. Extractos de *Larrea tridentata* como una estrategia ecológica contra *Fusarium oxysporum radices-lycopersici* en plantas de tomate bajo condiciones de invernadero. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 35(3), 360-376.

- 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.
- Quiñones, H., Flores Dávila, M., Cerna, E., Aguirre, L. A., Landeros, J., Ochoa, Y. M., & Frías, G. A. 2017. Efectividad de polvos vegetales sobre adultos de *Sitophilus zeamais* Motschulsky Coleoptera: Curculionidae. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 8(3), 721-726. DOI: <https://doi.org/10.29312/remexca.v8i3.45>
- Rees, P. 1996. Coleoptera. In B. Subramanyam, and D. Hagstrum (eds.) Integrated management of insects in stored products. Marcel Dekker, New York, USA. p. 1-40
- Rendón, H, J. A. 2007. Evaluación de plantas silvestres contra gorgojo de frijol *Zabrotes subfasciatus* Boheman (Coleoptera: Bruchidae) en almacén. (Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma de San Luis Potosí). Recuperado de: <https://repositorioinstitucional.uaslp.mx/xmlui/bitstream/handle/i/2126/IAG1EPS00701.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- Riveiro, S. 2004. El día en que muera el sol: contaminación y resistencia en México. GRAIN. Recuperado de <https://grain.org/article/entries/1008-el-dia-en-que-muera-el-sol> Consultado: 05/06/19
- Rodríguez, M. R. & De León, C. 2008. El cultivo del maíz, temas selectos. Colegio de Posgraduados. Mundi Prensa.1. D.F, México.127
- Rodríguez, R. R., & Herrera, F. J. 2003. Insectos y Hongos en los Granos Almacenados en Yucatán. *Revista de la Universidad Autónoma de Yucatán*, No. 227. 10 p. Recuperado de <https://docplayer.es/19449245-Insectos-y-hongos-en-los-granos-almacenados-en-yucatan.html>
- Ruffinengo, S. R., Eguaras, M., Floris, I., Faverin, C., Bailac, P. & Ponzi, M. 2005. LD₅₀ and repelente effects of essential oils from Argentinian wild plant species on *Varroa destructor*. *Journal Economic Entomology*, 98: 651-655.

- Rzedowski, G. C. 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.
- SAGARPA. 2017. (Secretaría de Agricultura Ganadería Desarrollo Rural Pesca y Alimentación). El maíz grano blanco y amarillo mexicano. Planeación agrícola nacional 2017-2030. Disponible en: <https://www.gob.mx/agricultura/acciones-y-programas/planeacion-agricola-nacional-2017-2030-126813>. Consultado: 3/06/2019.
- Salvadores, U. Y., G. Silva, A., Tapia, M. & Heep, R. 2007. Polvos de especias aromáticas para el control del gorgojo del maíz, *Sitophilus zeamais* Motschulsky, en trigo almacenado. Agricultura Técnica (Chile), 67(2), 147-154. DOI: <https://doi.org/10.4067/S0365-28072007000200004>
- SANEAGRO. 2016. Saneamiento Industrial y Agropecuario Ltda. Control de roedores en granos almacenados. Disponible en: [https://saneagro.com/2016/04/13/control-de-roedores-en-granos-almacenados/#:~:text=Especies%20de%20roedores%20que%20atacan,rat%C3%B3n%20casero%20\(Mus%20musculus\)](https://saneagro.com/2016/04/13/control-de-roedores-en-granos-almacenados/#:~:text=Especies%20de%20roedores%20que%20atacan,rat%C3%B3n%20casero%20(Mus%20musculus)). Consultado: 25/10/2019
- SAS. Institute. 2002. The SAS System for Windows, Release 9.0. SAS, Institute, Cary N. C. U.S.A.
- Serratos J. 2012. El origen y la diversidad del maíz en el continente americano. (2da ed.). Recuperado de <http://www.funsepa.net/guatemala/docs/el-origen-y-la-diversidad-del.pdf> Consultado: 05/06/19
- SIAP. 2017. (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). Producción nacional del cultivo de maíz para grano. Disponible en: http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/AvanceNacionalSinPrograma.do Consultado: 3/06/2020.
- Sighamony, S., Anees, I., Chandrakala, T. & Osmani, Z. 1984. Natural products as repellents for *Tribolium castaneum* Herbst. Int. Pest Control 26:156-159.
- Silva, A., Lagunes, t., Rodríguez, M. & Rodríguez, L. 2002. Insecticidas vegetales; una vieja y nueva alternativa en el manejo de plagas. Manejo Integrado de Plagas y Agroecología 66: 4-12. Recuperado de:

<https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/6414/A2008e.pdf?sequence=1>

- Silva, G., Orrego, O., Hepp, R. & Tapia, M. 2005. Búsqueda de plantas con propiedades insecticidas para el control de *Sitophilus zeamais* en maíz almacenado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 40(1), 11-17. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2005000100002>
- Toruño, G. & Villafuerte, S. 1998. Pimienta negra (*Piper nigrum*). Escuela Agrícola Panamericana, Honduras. 12p. Recuperado de: <https://bdigital.zamorano.edu/items/7a84f051-8ee2-4dcf-926c-b45208a8fea1> Consultado: 25/11/2019
- Vallejos, L. E. F. & Cespedes, C. 2020. Manejo agroecológico y control de gorgojos de granos almacenados (*Sitophilus* spp.) INIA, Chile. Disponible en: <https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/67155/NR42420.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Villalba, M. J. 2016. Plaguicidas naturales para combatir las plagas del maíz. UNCiencia. Recuperado de <https://unciencia.unc.edu.ar/agronomia/plaguicidas-naturales-para-combatir-las-plagas-del-maiz/> Consultado: 05/06/19
- Villaseñor, J. L. & Espinosa, F. J. 1998. Catálogo de malezas de México. Universidad Nacional Autónoma de México. Consejo Nacional Consultivo Fitosanitario. Fondo de Cultura Económica. México, D.F.
- Wimalaratne, P. D. C., Slessor, K. N., Borden, J. H., Chong, L. J. & Abate, T. 1996. Isolation and identification of house fly, *Musca domestica* L., repellents from pepper tree, *Schinus molle* L. *Journal of Chemical Ecology*, 22(1), 49–59.