



# BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

---

COMPLEJO REGIONAL CENTRO-TECAMACHALCO

INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

Evaluación de tres especies de plantas para el control de  
gorgojo del maíz (*Sitophilus zeamais* MOTSCHULSKY)  
en condiciones de laboratorio.

TESIS

REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE:  
LICENCIADO EN INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

PRESENTA

EDGAR FILOMENO MARCELINO

DIRECTOR DE TESIS

DR. HÉCTOR BERNAL MENDOZA

CODIRECTORA

DRA. MARÍA GUADALUPE HERNÁNDEZ LINARES

ASESOR

M.C. ARMANDO MAGDALENO TORRES CHOCOLATL

SEPTIEMBRE 2018



**BUAP**

OFICIO No. CRC/1191/2017  
Asunto: Registro de Tema de Tesis

**C. EDGAR FILOMENO MARCELINO  
PASANTE DE LICENCIATURA  
EN INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL  
PRESENTE:**

Por medio del presente me permito informarle de la aprobación del Registro del Tema de Tesis Profesional de la **Licenciatura en Ingeniería Agroindustrial** cuyo título es el siguiente:

**“Evaluación de tres especies de plantas para el control de gorgojo de maíz (sitophilus zeamais motshulsky) de granos almacenados en el municipio de General Felipe Ángeles Puebla.”**

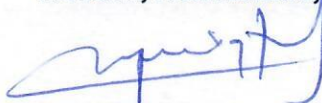
**INTRODUCCIÓN  
CAPÍTULO 1 ANTECEDENTES  
CAPÍTULO 2 METODOLOGÍA  
CAPÍTULO 3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN  
CONCLUSIONES  
BIBLIOGRAFÍA**

Director de Tesis: **Dr. Héctor Bernal Mendoza**

Lo cual me permito comunicarle para su conocimiento y fines consiguientes aclarando que la vigencia de este tema será **ÚNICAMENTE POR UN AÑO A PARTIR DE AHORA.**

Sin otro particular, me es grato saludarle.

**ATENTAMENTE**  
**"Pensar Bien, Para Vivir Mejor"**  
**El Salado, Tecamachalco, Puebla, 07 de diciembre del 2017**

  
**Dra. Mirna López Fuentes**  
**Secretaría Académica**



C.c.p M.C. Armando Magdaleno Torres Chocolalt  
c.c.p M.C. Ramón Almazo Domínguez  
DMLF\*Imvl

**80**  **AÑOS**  
**DE UNIVERSIDAD**

Complejo Regional  
Centro

Carretera Cañada Morelos km 7.5 El Salado  
Tecamachalco, Puebla  
01 (222) 229 55 00 Ext. 3985



# Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

Complejo Regional Centro  
TECAMACHALCO

**LIC. María Elena Ruíz Velasco.**  
**Directora de la Administración Escolar**  
**De la BUAP.**  
**Presente**

ASUNTO:  
**AUTORIZACIÓN**  
**IMPRESIÓN DE TESIS**

Por este conducto me permito presentar a Ud. al C. pasante de la carrera de Ingeniería Agroindustrial

**Edgar Filomeno Marcelino**

Quién presenta como tema de tesis:

**Evaluación de tres especies de plantas para el control de gorgojo del maíz**  
**(*Sitophilus zeamais* MOTSCHULSKY) en condiciones de laboratorio.**

La cual ha sido debidamente revisada y se autoriza para su impresión correspondiente.

Sin otro particular y para los fines que se estimen conducentes reitero mi distinción.

ATENTAMENTE

**“Pensar Bien, para Vivir Mejor”**

H. Puebla de Z., a 07 de Septiembre de 2018

---

Director de Tesis  
Dr. Héctor Bernal Mendoza

## **DEDICATORIAS**

### **A MIS PADRES**

**Juan Filomeno De Jesús**

**Hilda Marcelino Matías**

Por darme la vida y porque siempre me apoyaron y estuvieron conmigo en las buenas y en las malas, a pesar de mis desplantes y errores y estar en mis caídas para ayudarme a levantarme, por sus acertados consejos y por esa confianza que depositaron en mí. A ti papa por ser una persona trabajadora y de gran ejemplo para mí y para mis hermanos, a ti mama por tu apoyo incondicional por preocuparte por mí y por tus grandes consejos gracias.

### **A USTEDES HERMANOS**

**Juan Filomeno Marcelino**

**Anayeli Filomeno Marcelino**

Por ser parte indispensable en mi vida por está conmigo en las buenas y en las malas, con mucho cariño a ustedes que gracias a su apoyo he concluido mi más anhelado sueño.

### **A MI NOVIA**

**Verónica Gámez Domínguez**

Por ser la mujer que amo, por estar con migo durante toda la trayectoria de la carrera, por demostrarme su amor en los momentos de desesperación, por animarme en los momentos más difíciles de la carrera y darme tus consejos cuando más los necesitaba, por comprenderme y entenderme aunque no tuviera la razón y por todos los momentos que hemos pasado juntos.

## **AGRADECIMIENTO**

**A Dios**, por darme la fuerza, paciencia y fe para seguir adelante día con día.

**Dr. Héctor Bernal Mendoza** a quien le agradezco por el apoyo que me ha brindado durante todo el desarrollo de esta tesis, por su tiempo y disposición en la revisión del manuscrito y las observaciones realizadas. Le agradezco todas sus enseñanzas, asesorías que me brindo día a día para el mejoramiento de este trabajo, así como el mejoramiento de mi formación profesional y por la oportunidad que me dio de trabajar con usted mil gracias.

**Dra. María Guadalupe Hernández Linares**, por su valiosa colaboración, apoyo en la parte experimental, por sus acertadas sugerencias realizadas al trabajo de investigación que contribuyeron en el mejoramiento del mismo y por haber aceptado ser parte de mi comité tutorial.

**M.C. Armando Magdaleno Torres Chocolatl**, por su invaluable ayuda, su incondicional deseo de compartir sus conocimientos, por su apoyo brindado durante la etapa experimental en laboratorio y por haber aceptado ser parte de mi comité tutorial.

**M.C. Alan Carrasco Carballo**, por las asesorías y el apoyo brindado en laboratorio durante la etapa experimental de identificación de metabolitos secundarios.

**A mi novia Verónica Gámez Domínguez**, por todo tu apoyo incondicional brindado en cada etapa de la tesis, por tu apoyo en especial en la parte experimental, por tus consejos y sugerencias gracias.

**Unidad Regional Acatzingo y Complejo Regional Centro sede Tecamachalco de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla**, por el apoyo durante mi formación profesional.

**A todos y cada uno de mis profesores de la Ingeniería Agroindustrial**, por sus enseñanzas y compartir sus experiencias profesionales.

## ÍNDICE GENERAL

|  |    |
|--|----|
| ÍNDICE GENERAL .....   | i  |
| ÍNDICE DE CUADROS .....  | v  |
| ÍNDICE DE FIGURA.....  | v  |
| RESUMEN .....  | vi |
| <br>   |    |
| INTRODUCCIÓN .....   | 1  |
| CAPÍTULO 1 ANTECEDENTES.....   | 2  |
| 1.1 Planteamiento del problema .....   | 2  |
| 1.2 Justificación .....  | 4  |
| 1.3 Objetivos e hipótesis.....   | 5  |
| 1.3.1 Objetivo general .....   | 5  |
| 1.3.2 Objetivos específicos.....   | 5  |
| 1.3.3 Hipótesis .....  | 5  |
| 1.4 Marco teórico y conceptual .....   | 6  |
| 1.4.1 Enfoque de economía capitalista.....                                       | 6  |
| 1.4.1.1 Enfoque de la agricultura convencional y su impacto en el ambiente ..... | 6  |
| 1.4.2 Enfoque Marxista ambientalista.....  | 7  |
| 1.4.2.1 Agricultura sustentable .....  | 7  |
| 1.4.2.2 Teoría del decrecimiento .....   | 7  |
| 1.4.2.3 Agroecología .....   | 8  |
| 1.4.3 Maíz .....   | 8  |
| 1.4.3.1 Importancia del maíz .....   | 8  |
| 1.4.3.2 Morfología y taxonomía del maíz.....                                     | 9  |
| 1.4.3.3 Estructura del grano de maíz.....  | 9  |

|  |    |
|--|----|
| 1.4.4 Insectos en el almacenamiento del maíz .....                                       | 11 |
| 1.4.4.1 Origen y evolución de los insectos de almacén .....                              | 11 |
| 1.4.4.2 Infestación de granos .....  | 12 |
| 1.4.4.3 Factores que Favorecen las Infestación del grano.....                            | 12 |
| 1.4.4.4 Clasificación de plagas.....   | 13 |
| 1.4.4.5 Problemas con plagas .....   | 14 |
| 1.4.5 Gorgojo del maíz ( <i>Sitophilus zeamais</i> Motschulsky) .....                    | 14 |
| 1.4.5.1 Clasificación taxonómica del gorgojo de maíz ( <i>Sitophilus zeamais</i> ) ..... | 14 |
| 1.4.5.2 Relación cultivo-plaga .....   | 15 |
| 1.4.5.3 Descripción del insecto.....   | 15 |
| 1.4.5.4 Origen y distribución.....   | 17 |
| 1.4.5.5 Metamorfosis del Gorgojo del maíz .....  | 17 |
| 1.4.5.6 Biología y ciclo de vida .....   | 17 |
| 1.4.6 Métodos de control del gorgojo de maíz.....  | 18 |
| 1.4.6.1 Control químico .....  | 18 |
| 1.4.6.2 Control biológico.....   | 19 |
| 1.4.6.3 Hongos entomopatógenos.....  | 19 |
| 1.4.6.4 Prácticas tradicionales.....   | 20 |
| 1.4.7 Polvos vegetales en el control de <i>Sitophilus zeamais</i> .....                  | 20 |
| 1.4.7.1 Chicalote <i>Argemone ochroleuca</i> .....                                       | 20 |
| 1.4.7.2 Neem <i>Azadirachta indica</i> A. Juss .....                                     | 21 |
| 1.4.7.3 Eucalipto <i>Eucalyptus camaldulensis</i> .....                                  | 22 |
| 1.4.8 Plaguicidas botánicos.....   | 23 |
| 1.4.9 Metabolitos secundarios.....   | 23 |
| 1.4.9.1 Metabolitos secundarios generados por <i>A. indica</i> .....                     | 24 |
| 1.4.9.2 Metabolitos secundarios generados por el género <i>Argemone</i> .....            | 24 |

|   |    |
|---|----|
| 1.4.9.3 Metabolitos secundarios generados por el género <i>Eucalyptus</i> ..... | 25 |
| CAPÍTULO 2 METODOLOGÍA .....  | 26 |
| 2.1 Descripción general .....   | 26 |
| 2.2 Cría de gorgojo .....   | 27 |
| 2.3 Recolección, obtención y preparación del material vegetal .....             | 29 |
| 2.3.1 Obtención de Neem ( <i>Azadirachta indica</i> A. Juss) .....              | 29 |
| 2.3.2 Obtención de Eucalipto ( <i>Eucalyptus camaldulensis</i> ) .....          | 29 |
| 2.3.3 Obtención de Chicalote ( <i>Argemone ochroleuca</i> ) .....               | 29 |
| 2.4 Bioensayo de mortalidad .....   | 30 |
| 2.5 Evaluación de la calidad fisicoquímica del grano (dureza) .....             | 32 |
| 2.6 Determinación de metabolitos secundarios.....                               | 33 |
| 2.6.1 Identificación de alcaloides.....   | 34 |
| 2.6.2 Identificación de cumarinas .....   | 34 |
| 2.6.3 Identificación de saponinas .....   | 34 |
| 2.6.4 Identificación de colesterol .....  | 34 |
| 2.6.5 Identificación de flavonoides y antioxidantes .....                       | 34 |
| 2.6.5.1 Prueba de HCl + Mg .....  | 35 |
| 2.6.5.2 Prueba de H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> + Mg .....                     | 35 |
| 2.6.6 Prueba de insaturaciones .....  | 35 |
| 2.6.7 Identificación de triterpenos.....  | 35 |
| 2.6.8 Identificación de esteroides .....  | 35 |
| 2.7 Descripción de los tratamientos .....                                       | 36 |
| 2.8 Diseño experimental .....   | 37 |
| 2.9 Variables evaluadas.....  | 37 |
| 2.9.1 Porcentaje de Mortalidad o Mortalidad corregida.....                      | 37 |
| 2.9.2 Porcentaje de Emergencia .....  | 37 |

|   |    |
|---|----|
| 2.9.3 Pérdida de peso del grano.....  | 38 |
| 2.9.4 Dureza del grano a la entrada y salida del experimento .....                          | 38 |
| 2.10 Análisis estadístico .....   | 39 |
| CAPÍTULO 3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....   | 40 |
| 3.1 Mortalidad de <i>S. zeamais</i> .....   | 40 |
| 3.2 Emergencia de <i>S. zeamais</i> .....   | 43 |
| 3.3 Porcentaje de pérdida de peso .....   | 45 |
| 3.4 Dureza final del grano.....   | 46 |
| 3.5 Relación de pérdida de peso y dureza final del grano.....                               | 48 |
| 3.6 Plantas insecticidas como alternativa sustentable de control de <i>S. zeamais</i> ..... | 49 |
| 3.7 Tamizaje fitoquímico de los polvos vegetales. ....                                      | 50 |
| 3.7.1 Metabolitos secundarios identificados en Neem .....                                   | 50 |
| 3.7.2 Metabolitos secundarios identificados en eucalipto .....                              | 51 |
| 3.7.3 Metabolitos secundarios identificados en chicalote. ....                              | 51 |
| 4. CONCLUSIONES.....  | 52 |
| 5. RECOMENDACIONES .....  | 53 |
| 6. BIBLIOGRAFÍA .....   | 54 |

## ÍNDICE DE CUADROS

|  |    |
|--|----|
| Tabla 1. Tratamientos para el control de <i>S. zeamais</i> .....                                 | 36 |
| Tabla 2. Índice de flotabilidad (Dureza). .....  | 38 |
| Tabla 3. Porcentaje promedio de mortalidad de <i>S. zeamais</i> bajo diferentes tratamientos.    | 41 |
| Tabla 4. Porcentaje promedio de emergencia de <i>S. zeamais</i> bajo diferentes tratamiento.     | 43 |
| Tabla 5. Porcentaje de pérdida de peso causada por <i>S. zeamais</i> al maíz almacenado....      | 45 |
| Tabla 6. Índice de flotabilidad del grano bajo diferentes tratamientos.....                      | 47 |
| Tabla 7. Identificación de grupos funcionales y metabolitos secundarios en polvos vegetales..... | 50 |

## ÍNDICE DE FIGURA

|   |    |
|---|----|
| Figura 1. Factores que causan pérdidas al maíz en producción y almacenamiento. .... | 2  |
| Figura 2. <i>Sitophilus zeamais</i> MOTSCHULSKY causando daños al maíz. ....        | 3  |
| Figura 3. Estructura del grano de maíz.....   | 10 |
| Figura 4. <i>Sitophilus</i> ciclo de vida: Huevo, larva, pupa y adulto. ....        | 16 |
| Figura 5. <i>S. zeamais</i> lado izquierda hembra. Lado derecha macho. ....         | 16 |
| Figura 6. Avispa <i>Anisopteromalus calandrae</i> .....                             | 19 |
| Figura 7. Chicalote ( <i>Argemone ochroleuca</i> ). ....                            | 21 |
| Figura 8. <i>Eucaliptus camaldulensis</i> . ....                                    | 22 |
| Figura 9. Esterilización del maíz en horno de microondas.....                       | 28 |
| Figura 10. Recolecta de Chicalote ( <i>Argemone ochroleuca</i> ).....               | 30 |
| Figura 11. Bioensayo de mortalidad. ....  | 31 |
| Figura 12. Evaluación de la dureza del maíz. ....                                   | 33 |
| Figura 13. Distribución de los tratamientos.....                                    | 37 |
| Figura 14. Porcentaje de mortalidad de <i>S. zeamais</i> . ....                     | 40 |
| Figura 15. Porcentaje de emergencia de <i>S. zeamais</i> . ....                     | 44 |
| Figura 16. Comparación de la dureza inicial inicial y dureza final del maíz.....    | 46 |
| Figura 17. Relación de pérdida de peso e índice de flotabilidad. ....               | 48 |

## RESUMEN

Las pérdidas poscosecha causadas por plagas de maíz son un grave problema en países en vías de desarrollo, en especial para los pequeños agricultores ya que se estiman pérdidas poscosecha de hasta 20% en almacenamiento. En la actualidad el uso de pesticidas sintéticos en la protección de granos básicos ha causado serios daños al medio ambiente y éstos a su vez con el paso del tiempo han resultado ser menos efectivos. Por lo que esto ha obligado a buscar nuevas alternativas de manejo de plagas en el almacenamiento. Una de estas alternativas es el control con plantas locales en forma de polvos como alternativa natural para el control del gorgojo del maíz (*Sitophilus zeamais* Motschulsky) estas a su vez son menos perjudiciales al medio ambiente y a la salud humana.

El objetivo del presente trabajo fue evaluar la efectividad de Neem (*Azadirachta indica* A. Juss), Eucalipto (*Eucalyptus camaldulensis*) y Chicalote (*Argemone ochroleuca*) en forma de polvo para el control de *S. zeamais* en condiciones no controladas de temperatura y humedad relativa. La forma de utilizar las plantas fue Neem (6%), Eucalipto (1%), Chicalote (2%), Neem + Eucalipto (3% + 0.5%), Neem + Chicalote (3% + 1%), Eucalipto + Chicalote (0.5% + 1%) y Neem + Eucalipto + Chicalote (2% + 0.333% + 0.666%).

Se utilizaron frascos de vidrio de 250 g como unidad experimental a los cuales se les agregó 100 g de maíz esterilizado con su respectivo tratamiento, 10 parejas de *S. zeamais* de dos semanas de edad y se cubrieron con una malla fina. Una vez realizada la infestación, los frascos se mantuvieron a condiciones no controladas. Para ello se utilizó un diseño experimental completamente al azar, con cuatro repeticiones y un testigo. Las variables que se evaluaron fueron la mortalidad, emergencia, pérdida de peso, dureza que tenía el grano antes de someterse a experimentación y la dureza final del grano después de la infestación. Se realizaron muestreos a las 24, 48, 72, 144 y 360 h. para evaluar la mortalidad. La emergencia, pérdida de peso y la dureza se evaluó a los 80 días después de haber establecido el experimento. Además se realizó un análisis cualitativo fitoquímico de las tres plantas usadas.

El análisis estadístico mostró que las mezclas que causaron la mayor toxicidad fueron el tratamiento Chicalote (2%), Neem + Eucalipto (3% + 0.5%) y Eucalipto + Chicalote (0.5% + 1%), con mortalidad de 13.75, 15 y 31.25 % respectivamente. Presentando evidencia

estadística importante respecto al testigo donde la mortalidad fue de 0%. Sin embargo no se observó una alta mortalidad como para considerar algún tratamiento como prometedor.

En términos generales la variable emergencia no presentó mayores diferencias entre los tratamientos, pero la mayoría fue estadísticamente diferente del testigo. Los tratamientos que presentaron bajos valores de emergencia se destaca el tratamiento Chicalote (2%), Neem + Eucalipto (3% +0.5%) y Eucalipto + Chicalote (0.5% + 1%) obteniendo emergencias de 16.6, 14.5 y 14.5 % respectivamente.

Los tratamientos donde se observó menor pérdida de peso son el Eucalipto + Chicalote (0.5% + 1%) y Neem (6%) con pérdidas de 4.05 y 4.11% respectivamente. Los tratamientos donde se observó mayor pérdida de peso fueron Neem + Chicalote (3% + 1%) y el testigo con pérdidas de peso de 5.68 y 11.54% respectivamente.

Los tratamientos que se utilizaron para la protección del grano influyen de cierta manera en la dureza o protección contra *S. zeamais*, ya que al evaluar los tratamientos con polvos vegetales presentaron una dureza mayor al testigo. Se puede decir que hay una relación entre pérdida de peso y dureza ya que los tratamientos con Neem (6%), Chicalote (2%) y Eucalipto + Chicalote (0.5% + 1%) fueron los que sufrieron menos pérdida de peso; estos mismos a su vez mostraron un índice de flotabilidad menor o en otras palabras mayor dureza. El testigo fue el tratamiento que más pérdida de peso presentó y por tanto su índice de flotabilidad fue mayor. Se puede decir que a mayor pérdida de peso mayor índice de flotabilidad o menor dureza del grano.

Respecto al análisis fitoquímico se destaca la presencia de triterpenos en el polvo vegetal de Neem, flavonoides en el caso de Eucalipto y alcaloides en el polvo vegetal de Chicalote.

## INTRODUCCIÓN

La agricultura en México enfrenta una batalla constante e intensiva contra las plagas y enfermedades las cuales provocan cada año enormes pérdidas, esto a pesar del uso de pesticidas cada vez más potentes y tóxicos (Cuevas y Romero, 2006).

Larraín (1994) citado por Silva *et al.*, (2006), indica que en los granos almacenados, los principales agentes que disminuyen la producción son los insectos, los cuales, antes de la cosecha y en el almacén, pueden causar pérdidas del 20% al 80%.

En general, para disminuir las pérdidas se recurre a insecticidas sintéticos sin embargo, su aplicación intensiva deteriora la biota silvestre, contamina el suelo y el agua, desarrolla resistencia en las plagas e incrementa los costos de producción. Además, su uso representa un riesgo para los humanos pues algunas formulaciones comerciales producen daño neurológico, hepático y renal (Castillo *et al.*, 2002). Por lo que es necesario buscar alternativas como lo es el caso del uso de plantas con efecto insecticida que se encuentren en cada región, ya que son de fácil manejo, sus residuos son de tiempo de vida corta, no contaminan el ambiente (biodegradables) y son de fácil obtención y aplicación.

Con el fin de disminuir los riesgos mencionados y con la necesidad de producir alimentos de mejor calidad, sin residuos de plaguicidas y productos que no dañen los ecosistemas ni a la salud humana, se requiere de nuevos métodos de control que sean de bajo costo y actúen en armonía con el ambiente (Lagunes, 1985). Es por eso que los ingenieros Agroindustriales nos preocupamos por buscar alternativas que busquen aprovechar los recursos locales con la finalidad de generar nuevos productos alternativos para combatir plagas y enfermedades de fácil manejo, no dañe al medio ambiente, que sea de fácil acceso para los productores y que no contaminan el alimento que será usado para el consumo humano.

## CAPÍTULO 1 ANTECEDENTES

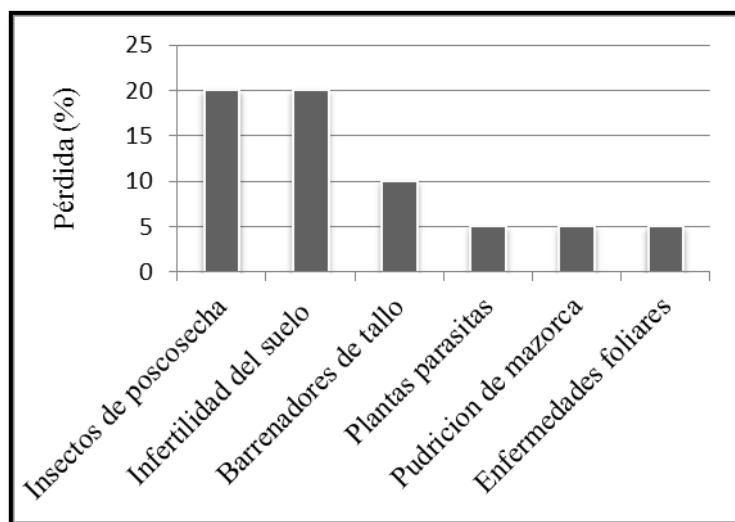
### 1.1 Planteamiento del problema

La conservación de los granos alimenticios ha sido, es y será, motivo de preocupación del hombre por su significado en la dieta humana y por la necesidad de resguardarlos contra el peligro que significa su aprovechamiento por sus demás competidores (Ramírez, 1987).

Larraín (1994) citado por Silva *et al.*, (2004), indica que este problema es importante para los agricultores de subsistencia, ya que el maíz almacenado es parte de los alimentos básicos consumidos durante el año.

En México, la mayoría de los pequeños productores tienen problemas con el almacenamiento. En la (figura 1) nos podemos dar cuenta que hay diferentes factores ya sean abióticos y bióticos que causan pérdidas durante la producción y almacenamiento del maíz a nivel mundial. Un problema para los productores son los insectos de poscosecha en especial *S. zeamais* ya que causa enormes daños y pérdidas en el almacenamiento (ver figura 2).

Figura 1. Factores que causan pérdidas al maíz en producción y almacenamiento.



Fuente: Pingali y Pandey, 2001.

La producción de maíz cada día es una actividad más costosa ya que las condiciones climáticas han cambiado, esto obligando a los productores a comprar semillas mejoradas

a los grandes monopolios, estos solo buscan su propio interés ya que han generado dependencia de sus semillas e insumos, asimismo los agricultores no les es factible utilizar un insecticida orgánico ya que tienen costos elevados, por lo que recurren al uso de insecticidas químicos que ya no son tan eficientes ya que los insectos tienden a generar resistencia.

Además, con cierta frecuencia el uso de insecticidas convencionales en áreas rurales implica un riesgo elevado debido al desconocimiento sobre su uso adecuado (Obeng y Amiteye, 2005).

El mal uso de los insecticidas químicos ha obligado a buscar alternativas de control, como es el uso de productos naturales como el Neem (*Azadirachta indica* A. Juss), Eucalipto (*Eucalyptus camaldulensis*) y Chicalote (*Argemone ochroleuca*), contribuyendo al combate de gorgojo de maíz (*Sitophilus zeamais* MOTSCHULSKY) en almacenes tradicionales.

Figura 2. *Sitophilus zeamais* MOTSCHULSKY causando daños al maíz.



Fuente fotográfica: Archivo personal.

## **1.2 Justificación**

El almacenamiento del grano de maíz es una práctica muy común que busca abastecer de alimento a los agricultores durante el transcurso del año. Para evitar que hongos, insectos y otros organismos ataquen los granos, con frecuencia se usan productos químicos, estos a su vez se utilizan de forma incontrolada, generando consecuencias negativas tanto en el ambiente como en la salud de los consumidores. Una alternativa a esta problemática es el uso de plantas con poder insecticida, ya que estos bioinsecticidas pueden ser rápidamente degradados en el medio ambiente a diferencia de los compuestos sintéticos y no causan daños a la salud como aquellos.

Con esta investigación se buscó brindar a los productores nuevas tecnologías de control ecológico, brindar opciones de control económicas y brindar un producto que no deje residuos que puedan afectar a los consumidores del grano, con la finalidad de sustituir o desplazar el uso de los insecticidas convencionales. De esta manera se estará ayudando a combatir el desabasto de maíz, alzas de precios en granos básicos y contribuyendo a la mejora de la Seguridad y Soberanía Alimentaria.

Al mismo tiempo, con esta investigación se buscó proporcionar información relacionada con el uso de productos orgánicos y determinar la efectividad de estos en condiciones no controladas (temperatura y humedad relativa) para que en el futuro los productores puedan tener alternativas benéficas en el almacenamiento del maíz.

### **1.3 Objetivos e hipótesis**

#### **1.3.1 Objetivo general**

Evaluar la efectividad de Neem (*Azadirachta indica* A. Juss), Eucalipto (*Eucalyptus camaldulensis*) y Chicalote (*Argemone ochroleuca*) en forma de polvo para el control del gorgojo de maíz (*Sitophilus zeamais* MOTSCHULSKY) en condiciones no controladas, la relación de esto con variables de emergencia, dureza y pérdida de peso del grano, y sus perspectivas como productos agroindustriales y sustentables.

#### **1.3.2 Objetivos específicos**

1. Definir el mejor tratamiento (formulación y dosis) para tres plantas insecticidas como un método alternativo de control de gorgojo del maíz en cuanto a mortalidad y emergencia del insecto.
2. Evaluar la relación que tiene la dureza del grano respecto de la pérdida de peso por ataque de gorgojo.
3. Definir posibles alternativas de productos agroindustriales derivados de las plantas utilizadas, con una perspectiva de sustentabilidad.
4. Determinar los posibles compuestos repelentes o insecticidas en neem, eucalipto y chicalote mediante el análisis fitoquímico cualitativo.

#### **1.3.3 Hipótesis**

Para el objetivo 1: Al menos una formulación tendrá significancia en controlar la plaga en relación con el tratamiento testigo.

##### **Hipótesis experimental**

**H<sub>0</sub>**: No existe efecto significativo entre las formulaciones de polvos en relación a la mortalidad del gorgojo.

**H<sub>A</sub>**: Si existen diferencias significativas de las formulaciones de polvos en relación a la mortalidad de los gorgojos.

## **1.4 Marco teórico y conceptual**

### **1.4.1 Enfoque de economía capitalista**

El sistema capitalista es ineficaz y despilfarrador de recursos, irracional e injusto. Es ineficaz y despilfarrador de recursos al destinar una gran parte de éstos y de los hombres a la producción de los artículos de lujo más extravagantes, al tiempo que renuncia a producir muchos bienes de auténtica necesidad para la vida de todos. El sistema capitalista es irracional porque, en lugar de basar la producción en las necesidades de todos, la basa en los beneficios de unos pocos. Tiene que ser forzosamente injusto porque los cimientos en que se basa son los de la desigualdad. Todo lo bueno que ofrece la vida se dirige, en una corriente sin fin, hacia la pequeña y privilegiada clase de los ricos, mientras que la numerosa clase de los pobres carecen de todo privilegio (Huberman, 1976).

#### **1.4.1.1 Enfoque de la agricultura convencional y su impacto en el ambiente**

Durante mucho tiempo los modelos de desarrollo desconocieron la importancia de los factores ambientales para el funcionamiento y mantenimiento del sistema económico y social. De hecho se asumía que la disponibilidad de los recursos naturales no representaba ninguna restricción. Hoy se considera que existe un capital natural, el cual es necesario mantener para asegurar la sostenibilidad del sistema socio económico en el largo plazo (Restrepo *et al.*, 2000).

Muchos investigadores, entre los que sobresalen Altieri y Atkins, han demostrado que a pesar de que la revolución verde aumentó la productividad especialmente de algunos cereales producidos por un reducido número de agricultores que poseen grandes extensiones de tierra y acceso al crédito, las consecuencias para el ambiente y para el ingreso de la gran mayoría de los pequeños productores agrícolas del tercer mundo, tuvo consecuencias adversas. Ya que el empleo de semilla de alto rendimiento ha reducido o desplazado un mayor número de variedades tradicionales, erosionando la biodiversidad de los cultivos. El uso de grandes dosis de fertilizantes inorgánicos y plaguicidas han causado contaminación química de la tierra, contaminación del agua y aumento de las plagas como consecuencia de la creciente inmunidad biológica a los plaguicidas (Restrepo *et al.*, 2000).

## **1.4.2 Enfoque Marxista ambientalista**

El modelo Marxista ambientalista es un modelo de izquierda que plantea que el tener cosas materiales no basta. Esta teoría dice que el desarrollo tiene que ver con educación, salud, libertad, derechos humanos, justicia, etc. Es un enfoque que considera que los recursos son limitados y que hay que cuidar los recursos mediante una agricultura más limpia, reforestación, cuidado del agua, aprovechamiento de las especies sin llevarlas a la extinción, etc. El Marxismo es un modelo que no ve bien la acumulación de capital, ni la transferencia de capital, el Marxismo busca que las riquezas se repartan de manera equitativa de norte a sur.

### **1.4.2.1 Agricultura sustentable**

Una definición integrada y específica como modelo de agricultura sustentable, es propuesta por Narváz (1996) citado por Brunett *et al.*, (2006), quien menciona que la agricultura sustentable se define como aquella agricultura que implica componentes ecológicos, técnicos y sociales que permitan tener una producción de alimentos y fibras, sin poner en riesgo la conservación de los recursos naturales, la diversidad biológica y cultural para las generaciones futuras y que realmente fortalezcan un modelo de vida y de civilización distinto al que se ha impulsado a nivel mundial.

Por otro lado Masera *et al.*, (2000) citado por Brunett *et al.*, (2006), la define como la que persigue una distribución justa y equitativa de los costos y beneficios asociados con la producción, se preocupa por el rescate crítico de prácticas de manejo utilizadas por diferentes etnias, de igual manera busca reducir las desigualdades actuales de acceso a los recursos productivos e intenta, así mismo, desarrollar tecnologías y sistemas adaptados a la diversidad de condiciones ecológicas, sociales y económicas locales, además de tener que ser rentable.

### **1.4.2.2 Teoría del decrecimiento**

El decrecimiento es primordialmente, una crítica a la economía del crecimiento. Un crecimiento infinito es claramente incompatible con un planeta finito, nunca nada es totalmente reciclable, el crecimiento económico implica necesariamente crecimiento de consumo, y siempre hay cosas irreponibles (Latouche, 2006). Habitualmente, el

decrecimiento se asocia con la idea de que lo pequeño puede ser hermoso. Los economistas ecológicos definen el decrecimiento como una reducción equitativa de la producción y de consumo, que disminuye los flujos de energía y materias primas (Schneider *et al.*, 2010).

La Teoría del decrecimiento plantea que hay que salir de la sociedad del consumo, buscando nuevas formas de producción, nuevas formas de aprovechamiento de los recursos y nuevas formas de transformación, sin caer en el consumismo. Ya que el hecho de aceptar el decrecimiento no implica precisamente no vivir bien, ni cero crecimiento, ni morir de hambre ni de tristeza. El decrecimiento implica solo consumir lo necesario, no lujos.

#### **1.4.2.3 Agroecología**

La Agroecología a menudo incorpora ideas sobre un enfoque de la agricultura más ligado al medio ambiente y más sensible socialmente. Centrada no sólo en la producción sino también en la sostenibilidad ecológica del sistema de producción. En un sentido más restringido, la agroecología se refiere al estudio de fenómenos netamente ecológicos dentro del campo de cultivo, tales como relaciones depredador/presa, o competencia de cultivo/maleza (Restrepo *et al.*, 2000).

#### **1.4.3 Maíz**

##### **1.4.3.1 Importancia del maíz**

El maíz (*Zea mays* L.) es originario del continente americano, las evidencias arqueológicas más antiguas indican que tiene aproximadamente 5000 años de antigüedad. Una teoría muy aceptada es que el maíz tuvo su origen en Mesoamérica, específicamente en el valle de Tehuacán, Puebla y al norte del estado de Oaxaca, México. La evidencias encontradas también indican que en nuestro país ocurrió su domesticación y después se dispersó a otras regiones del continente, hacia el norte hasta Canadá y hacia el sur hasta Argentina, y ya a finales del siglo XV tras el inicio de la invasión del continente americano por Cristóbal Colon el grano fue introducido en Europa a través de España (Pandey, 1998 y Reyes, 1990).

El cultivo de maíz es uno de los más importantes en México ya sea desde el punto de vista alimenticio, industrial, político y sociocultural.

Durante el año agrícola 2015 la producción de maíz grano en México creció a una tasa anual de 6.1 por ciento para totalizar 24.69 millones de toneladas. La composición por tipo de maíz muestra que el 85.9 por ciento de la producción nacional correspondió a maíz blanco, 13.6 por ciento a maíz amarillo y el restante 0.5 por ciento a otros tipos de maíz. Así, durante el año agrícola 2015, el 74.5 por ciento de la producción de maíz provino del ciclo Primavera-Verano, mientras que el restante 31.6 por ciento se produjo en Otoño-Invierno (SIAP, 2015).

#### **1.4.3.2 Morfología y taxonomía del maíz (Tomada de Valladares, 2010).**

Reino: Plantae

Sub Reino: Thacheobionta

División: Magnoliophyta

Clase: Liliopsida

Subclase: Commelinidae

Orden: Poales

Familia: Poaceae

Subfamilia: Panicoideae

Tribu: Maydeae

Género: *Zea*

Especie: *Zea Mays*

#### **1.4.3.3 Estructura del grano de maíz**

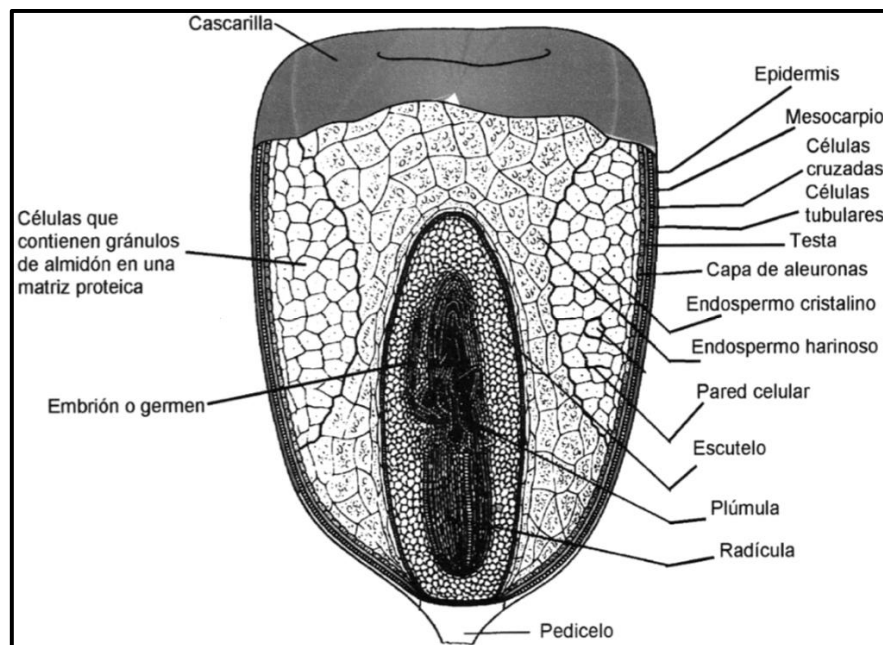
García *et al.*, (2007), menciona que el grano de maíz está compuesto por tres partes principales: Pericarpio, endospermo y germen o embrión (ver figura 3). El pericarpio (o “cascarilla”) es la capa exterior dura y fibrosa que encierra al grano. Comprende la epidermis, mesocarpio, células cruzadas, células tubulares y cubierta celular (testa). El grosor del pericarpio es menor en la parte central y mayor en la base del mismo. En el grano ya maduro su función es impedir el ingreso de hongos y bacterias. Todos los componentes del pericarpio constituye aproximadamente un 5.3% del peso total del

grano. El pericarpio está constituido en su mayor parte de fibra (Miranda, 1976; Watson, 1987; Wolf y col, 1952 citado por Tovar, 2008).

El endospermo constituye la mayor proporción del grano aproximadamente un 80-84% del peso total. Está compuesto de dos regiones una harinosa y una cornea donde generalmente la relación harinosa/cornea es de 2:1. Químicamente el endospermo está compuesto por 90% de almidón y 7% en proteínas acompañadas de aceites, minerales y otros compuestos (Watson, 1987; Wolf y Col, 1952 citado por Tovar, 2008).

El germen o embrión aporta un 9.5-12% del peso total del grano y se localiza en la parte inferior del mismo está compuesto de dos partes destacables el eje embrionario y el escutelo. El escutelo constituye cerca del 90% del germen y en este se almacenan los nutrientes que utiliza el grano durante la germinación. Químicamente el germen está compuesto por aproximadamente un 35-40% del contenido total de lípidos encontrados en el grano (Hernández, 2005; Watson, 1987; Wolf y Col, 1952 citado por Tovar, 2008).

Figura 3. Estructura del grano de maíz.



Fuente: Hoseney y Faubion, 1992.

#### **1.4.3.4 Calidad del grano de maíz**

La calidad del grano de maíz puede resultar afectada durante el desarrollo del cultivo en campo (factores ambientales como la temperatura y la humedad durante el llenado del grano), como en la cosecha y pos cosecha (cosecha, secado, almacenamiento y transporte) (Hernández *et al.*, 2009; INTA 2006 citados por CIMMYT, 2016). Durante cualquiera de las etapas mencionadas pueden generarse granos dañados, quebrados y aumento de impurezas que afectan su comercialización, uso y procesamiento y por consiguiente influyen en el uso final del mismo.

Las características físicas de los granos tienen importancia en los procesos de reconocimiento, tratamiento, conservación, preparación de alimentos y consumo, entre otros. Por lo que la calidad del grano de maíz está asociada tanto con su constitución física, que determina la textura y dureza, como por su composición química, que define el valor nutricional y las propiedades tecnológicas (CIMMYT, 2016).

La dureza está determinada por la estructura del grano, especialmente por la relación entre el endospermo vítreo y harinoso. El maíz de endospermo vítreo, así como las variedades de maíz cristalino y reventador, tienen granos duros, en tanto que las variedades de maíz amiláceas y harinosas tienen granos blandos (Véles, 2004).

La industria de la molienda seca requiere materia prima de grano duro o muy duro, para obtener fracciones de los tamaños adecuados a las distintas aplicaciones. La industria tortillera necesita conocer este parámetro para dar el tiempo de cocción adecuado al maíz al momento de nixtamalizar y prefiere granos de intermedios a duros. Otras industrias y mercados buscan diferentes características de dureza y otros parámetros físicos para la elaboración de alimentos (Robutti *et al.*, 2000; Salinas *et al.*, 2010).

#### **1.4.4 Insectos en el almacenamiento del maíz**

##### **1.4.4.1 Origen y evolución de los insectos de almacén**

Posiblemente los insectos plaga de almacén aparecieran en el neolítico, cuando el hombre comienza a criar animales domésticos, cultivar plantas y almacenar granos y frutos. Se asume que las plagas de almacén fueron desarrolladas primeramente en hábitats naturales y después se trasladaron o fueron trasladadas a los almacenes ya que

estos les proporcionaban condiciones óptimas para su desarrollo (Salomón, 1965, citado por García, 2009: 4).

#### **1.4.4.2 Infestación de granos**

Los insectos tienen diferentes formas de desplazarse, hay especies que tienen una gran capacidad de vuelo, otras lo hacen caminando y hay algunas que son más sedentarias. La mayoría de veces las infestaciones por insectos ocurre en el campo al ser atacado el grano antes de cosecharse (Ramírez, 1966).

Hay ocasiones que los insectos son capaces de volar ciertas distancias desde el campo hasta el almacén del grano y viceversa (Williams y Floyd, 1970).

Algunas especies de insectos son capaces de sobrevivir por largos periodos de tiempo cuando no disponen de suficiente alimento o las condiciones del medio no son desfavorables y ya cuando estas condiciones mejoran o con la llegada de nuevas cosechas dejan su estado de reposo para empezar a multiplicarse activamente creando focos de infección, que a su vez, pueden ingresar al almacén en los granos infectados (Gutiérrez, 1992).

#### **1.4.4.3 Factores que Favorecen las Infestación del grano**

Los gorgojos y los escarabajos del grano se alimentan del grano igualmente en forma adulta y en forma larval. Las larvas de varios tipos de polillas atacan los granos generando pérdidas causadas por la alimentación, los insectos promueven el mildiu y la pudrición del grano porque añaden más humedad y aumentan la temperatura. Una infestación grande puede aumentar el contenido de agua del grano por 5-10 por ciento dentro de varios meses. Aun cuando el grano no se pudre, puede quedar deteriorado para el mercado por la presencia de insectos o los daños físicos causados por su alimentación (Leonard, 1981).

La temperatura: Este es el factor de más importancia. A medida que la temperatura sube de 10°C a 26°C, la actividad de las plagas del almacén aumenta, y los ciclos de vida se reducen de ocho semanas a tres semanas. A la temperatura óptima, 50 insectos podrían teóricamente multiplicarse en 302 millones en sólo cuatro meses. La actividad y la

multiplicación se reducen considerablemente a menos de 10°C y a más de 35°C, y la muerte ocurre a menos de 5°C o más de 59°C (Leonard, 1981).

El contenido de agua: Los insectos del almacenamiento prefieren el grano poco seco, pero todavía pueden causar problemas en granos tan secos como a 12-13 por ciento. El contenido de agua del grano tiene que ser 9 por ciento o menos antes de que la actividad pare, y este grado de secamiento es difícil de lograr y de mantener (Leonard, 1981).

Las prácticas del almacenamiento: El almacenamiento de grano nuevo al lado de grano viejo o el uso de graneros que no se han desinfestado son maneras de invitar una infestación (Leonard, 1981). Los granos de maíz deben almacenarse de tal forma que no se deteriore su calidad. Lo anterior puede lograrse si se controla la humedad del grano, la humedad relativa y la temperatura ambiente, ya que son determinantes para su conservación (Rosas *et al.*, 2007).

Durante el almacenamiento ocurre el fenómeno de la respiración, causada por el propio grano, dando origen a actividades metabólicas de los seres vivos allí presentes, produciendo energía y agua, que tienden a acumularse en el propio lugar donde se generaron, formando focos de calentamiento que son los primeros indicios de un proceso deteriorativo del producto almacenado (Alabadan y Oyewo, 2005).

#### **1.4.4.4 Clasificación de plagas**

Los insectos que se alimentan de los granos se clasifican en tres categorías que son plagas primarias, secundarias y terciarias (Ramírez, 1990). Las plagas primarias son insectos que tienen la capacidad de romper la cubierta externa de los granos y penetrarlos o también pueden ovipositar sobre el grano y al emerger la larva esta perfora y se alimenta del grano como lo son: *Sitophilus zeamais* Motschulsky (L), *Sitophilus orizae* (L), *Sitophilus granarius* (L), *Acanthoscelides obtectus* (Say), *Zabrotes subfasciatus* (Bohemian), *Prostephanus truncatus* (Horn), *Rhyzopertha dominica* (F) y *Plodia interpunctella* (Hubber) (Gutierrez, 1992).

Las plagas secundarias por su parte son insectos que se desarrollan después de existir el daño en el grano por plagas primarias. Estos habitualmente se alimentan de harinas y granos rotos y/o perforados por plagas primarias. Entre las plagas secundarias se encuentran la polilla bandeada (*Plodia interpunctella*), el escarabajo castaño (*Tribolium castaneum*) y el barrenillo de los granos (*Rhyzoperta dominica*) (Gutiérrez, 1992 y García *et al.*, 2007).

Las plagas terciarias se desarrollan después de que los insectos primarios y secundarios han causado 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 han deteriorado (Gutiérrez, 1992).

#### **1.4.4.5 Problemas con plagas**

Los insectos se convierten en plagas cuando el tamaño de la población o los daños que causan, o ambos, exceden los valores normales. A estos límites se les conoce como umbral de daño económico el cual constituye una amenaza para las cosechas y un riesgo para la inversión del agricultor (García *et al.*, 2007).

En el caso del maíz, las plagas de almacén causan pérdidas de rendimiento, disminución del valor comercial, pérdidas de calidad en el grano y del valor nutritivo del mismo. Esto, de manera directa, reduce los ingresos del agricultor y su familia y pone en riesgo su seguridad alimentaria (García *et al.*, 2007).

#### **1.4.5 Gorgojo del maíz (*Sitophilus zeamais* Motschulsky)**

##### **1.4.5.1 Clasificación taxonómica del gorgojo de maíz (*Sitophilus zeamais*)**

Según Díaz (1985):

Phylum: Artropoda

Subphylum: Mandibulata

Clase: Insecta

Subclase: Pterygota

Orden: Coleóptera

Suborden: Poliphaga

Superfamilia: curculionidae

Familia: curculionidae

Subfamilia: calendrinae

Género: *sitophilus*

Especie: *Sitophilus zeamais*

#### **1.4.5.2 Relación cultivo-plaga**

En Mesoamérica el maíz se cultiva desde hace más de 5000 años en condiciones ambientales muy variables. En México su mayor volumen se produce para autoconsumo por pequeños y medianos productores, quienes enfrentan el problema de conservación de la cosecha; se estima que las pérdidas de grano almacenado son aproximadamente del 25% debido al ataque de plagas, principalmente de insectos como el gorgojo del maíz *Sitophilus zeamais* (Ramírez, 1981 y Sarh, 1980).

El gorgojo del maíz es una plaga cosmopolita considerada plaga primaria del maíz, debido a que es capaz de dañar el grano sano, incluso antes de ser cosechado; una característica importante es que las larvas son las que causan más daño, debido a que come y se desarrollan en el interior de los granos, transformándose posteriormente en pupas y luego en adultos (Pizarro, 2007).

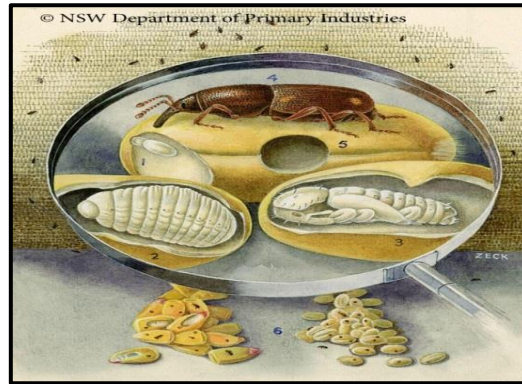
#### **1.4.5.3 Descripción del insecto**

Conocido comúnmente como gorgojo y/o picudo del grano de maíz. Su nombre científico *Sitophilus zeamais* Motschulsky (L.) (Coleóptera: Curculionidae). Esta especie de insectos se considera muy destructiva, atacan a todos los granos almacenados como maíz, sorgo, arroz en cáscara y cereales menores (Bacopulos, 2003).

Páez (1987) citado por Jiménez (2015: 6.), describe a *S. zeamais*, señalando que los huevecillos son opacos de color blanco, de 0.7 mm de largo por 0.3 mm de ancho, en forma de pera u ovoide. La larva es de color blanco, de forma cuneiforme y raramente se observa fuera del grano. La pupa es semejante al adulto, cabeza redonda, proboscis delgada y dirigida hacia la parte inferior, con las patas dobladas hacia el cuerpo y con las alas cubriendo a estas, tienen nueve segmentos abdominales, cada uno de los cuales presentan dos 17 espinas prominentes. El adulto mide de 2.5 a 4.5 mm de longitud, es de color café oscuro de cuerpo cilíndrico y con la cabeza prolongada en un pico proboscis de

donde soporta un par de mandíbulas resístete. El tórax se encuentra marcado con punturas redondas y los élitros tienen en sus ángulos exteriores cuatro manchas de color rojo anaranjado. Las antenas son acodadas y en forma de mazo. Posee alas funcionales con vuelo activo. El abdomen está formado por ocho segmentos (ver figura 4).

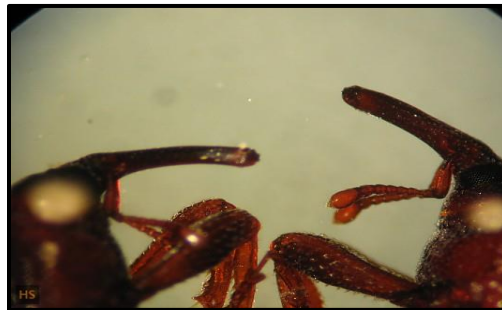
Figura 4. Sitophilus ciclo de vida: Huevo, larva, pupa y adulto.



Fuente: NSW Agricultura (2016).

Según Sánchez (1991) citado por Castillo (2014: 13), la diferencia del sexo de *S. zeamais* se basa en las características del pico. El macho presenta una prominente caprina media en el dorso del pico, se origina en la parte antero-frontal entre los ojos compuestos y se extiende casi hasta el ápice del pico, provocando que este tenga una apariencia corta y gruesa y con numerosas puntuaciones prominentes que están dispersas aleatoriamente a todo lo largo. El pico de la hembra carece de caprina, es delgado, largo, liso y brillante; las puntuaciones son menos numerosas, superficiales y se encuentran en pequeñas hendiduras. Mientras que el macho tiene un pico rugoso, más grueso, más cortó y opaco (ver figura 5).

Figura 5. *S. zeamais* lado izquierda hembra. Lado derecha macho.



Fuente: Honduras Silvestre (2012).

#### 1.4.5.4 Origen y distribución

Metcalf y Flint (1976), citados por Garcia (2009), indica que existen muchas confusiones del lugar de origen de este insecto pero se cree que es originario de la India lugar del cual se fue distribuyendo en todo el mundo convirtiéndose en insecto cosmopolita.

#### 1.4.5.5 Metamorfosis del Gorgojo del maíz

El gorgojo del maíz es de metamorfosis completa ya que comprende cuatro etapas de desarrollo que van desde huevo, larva, pupa hasta llegar a adulto (ver figura 4).

**Huevo:** Son de color blanco aperlados llegando hasta café claro, de forma ovalada y son ovipositados en huecos que la hembra hace en el grano los cuales sella con una secreción para la protección de los mismos (Gutiérrez, 1990).

**Larva:** Son apodas color blanco sucio, redondeadas, cápsula cefálica de color café claro, cabeza color oscuro y cuerpo recurvado y normalmente se encuentran en túneles dentro del grano (Gutiérrez, 1990).

**Pupa:** La pupa es del tipo exarata de color blanco aperlado mide aproximadamente 5 mm de longitud y se encuentra en el interior de los granos (Gutiérrez, 1990).

**Adulto:** El gorgojo adulto mide entre 3.3 y 5 mm de largo; es de color pardo negruzco o rojizo; su cabeza se proyecta en forma de pico y su tórax es alargado y cónico, con manchas ovales en el dorso (García *et al.*, 2007).

#### 1.4.5.6 Biología y ciclo de vida

Su ciclo de vida depende de la temperatura, pero varía entre 30 y 113 días. En zonas templadas hay de 2 a 3 generaciones por año (García *et al.*, 2007).

Las hembras perforan el grano con su aparato bucal y oviposita los huevecillos en el grano y posteriormente los cubren con un mucílago transparente. Una hembra produce hasta 250 huevos en su vida reproductiva (García *et al.*, 2007).

Longstaff (1981), citado por García (2004), menciona que el ciclo de vida de *Sitophilus zeamais* inicia cuando la hembra después de su apareamiento localiza un grano en el cual excava un hoyo por masticación y deposita un huevecillo, posteriormente secreta un

mucilago que cubre a este hasta llenarlo. Este mucilago que sostiene al huevecillo es la única evidencia de que el grano está infestado. Los huevos son ovipositados en cualquier zona del grano pero es raro que estos sean colocados a nivel del embrión. Comúnmente se coloca más de un huevecillo por grano pero es raro que una larva llegue a la madurez debido al canibalismo entre ellas. *Sitophilus zeamais* presenta cuatro etapas larvales las cuales se desarrollan dentro del grano y duran aproximadamente 20 días. El huevo eclosiona después de 6 días inmediatamente después de que la larva emerge se inicia el primer instar y la larva consume el alimento que lo rodea dentro del grano, al final del cuarto instar la larva utiliza una mezcla de secreciones para su desplazamiento y cerrar la madriguera e iniciar la forma pupal. La larva entonces asume la forma de pre-pupa y en un periodo corto de tiempo se convierte en pupa. Ya cuando el adulto se ha desarrollado este permanece en el grano por varios días antes de emerger. La extensión de este periodo depende de la temperatura.

Sharifi y Mills (1971) citado por Jiménez López (2015), menciona que el ciclo de vida de *Sitophilus zeamais* es en promedio de 36.5 días a una temperatura de 27°C y una humedad relativa del 70 %. Mientras que Okelana y Osuji (1985), indican que a una temperatura de 28 a 32°C y una humedad relativa del 70% el ciclo de vida es de 35 días.

#### **1.4.6 Métodos de control del gorgojo de maíz**

##### **1.4.6.1 Control químico**

En la actualidad el uso de productos químicos para controlar plagas de granos almacenados ha progresado desde el uso de productos inorgánicos de principio de siglo a la aparición y uso de un gran número de compuestos orgánicos altamente efectivos (Bond, 1973).

En México los insecticidas que se encuentran autorizados para el control de *S. zeamais* en granos de maíz son deltametrina (Granbiol y K-biol c.e. 2.5), lindano de uso restringido (Lindano 1%), malatión (Cuidador m, Plagrano, Troje 2000, etc.) y pirimifosmetil como Actellic 2% (SENASICA, 2011).

Según Haliscak y Beeman (1983) citados por García (2009), en 1958 en los EE.UU. por primera vez fue utilizado el malatión para controlar plagas de productos almacenados

iniciándose así una era de combate efectivo contra estas plagas y aun en nuestros días el malatión es uno de los productos más utilizados.

#### 1.4.6.2 Control biológico

En la (figura 6) se puede observar el enemigo natural del gorgojo que es una avispa perteneciente a la familia de los *Pteromalidae*, la *Anisopteromalus calandrae* que comúnmente se encuentra en el maíz almacenado junto con la plaga. La avispa actúa de la siguiente manera primero localiza la galería que formó la larva del gorgojo después, introduce su ovipositor en el pericarpio y coloca un huevecillo muy cerca de la larva del gorgojo. Al eclosionar la larva de la avispa se ancla a su hospedante la larva de la avispa se desarrolla a expensas de su hospedero y por último la avispa emerge después de 14 días y la larva del gorgojo muere (García *et al.*, 2007).

Figura 6. Avispa *Anisopteromalus calandrae*.



Fuente: Maher *et al.*, 2012.

#### 1.4.6.3 Hongos entomopatógenos

Los hongos entomopatógenos son agentes de control biológico que tienen la capacidad de infectar activamente una gran diversidad de insectos y están ampliamente distribuidos en diferentes ecosistemas (Anderson y Leslie, 1991; Throne y Lord, 2004; Poprawski *et al.*, 1988; Feng y Johnson, 1990).

Estos microorganismos son encontrados en rastros de cultivos, estiércol, suelo y plantas, alcanzando un buen desarrollo en lugares frescos, húmedos y con baja luminosidad y son el grupo de mayor importancia en el control biológico de insectos plagas (Becerra *et al.*, 2007).

*Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill (Moniliales: Deuteromicetos) tienen la potencialidad de infectar insectos, provocando una alta mortalidad; el hongo contagia un amplio rango de insectos del orden Lepidóptera, Hymenoptera y especialmente Coleóptera, la mayoría de los cuales son plagas agrícolas (Fernández, 2001; Lucero *et al.*, 2006; Adane *et al.*, 1996 y Alcalá *et al.*, 1999).

Los hongos son potencialmente los más versátiles entomopatógenos, algunos producen toxinas, lo que los provee de un potencial para dañar rápidamente, pero generalmente son de acción lenta. Muchos tienen amplio rango de hospederos, infectan diferentes estados, son virulentos y frecuentemente causan epizootias naturales (Fuxa, 1992).

#### **1.4.6.4 Prácticas tradicionales**

Para el control del gorgojo del maíz se recomienda mezclar el grano con cal, ceniza, tierra diatomea entre capa y capa de grano o igual se recomienda mezclar el grano con estos agentes. Otras alternativas es el uso de plantas como agentes repelentes.

#### **1.4.7 Polvos vegetales en el control de *Sitophilus zeamais***

Algunos polvos vegetales presentan propiedades deseables en el control de plagas como insecticidas de contacto, sustancias anti alimentarias, repelentes o incluso atrayentes (Lagunes, 1994).

##### **1.4.7.1 Chicalote *Argemone ochroleuca***

México es el lugar de origen del Chicalote y se encuentra ampliamente distribuido en todo el territorio nacional y es considerado una maleza. También se le conoce como amapola montes, cardo o cardo santo (Báez, 2010).

En la (figura 7) se observa la planta de Chicalote (*Argemone ochroleuca*), Carmona *et al.*, (2008), menciona que es una planta herbácea, erecta de un metro o menos de alto su tallo es verde azulado y sin tricomas con numerosas espinas firmes y punzantes. Las hojas son sésiles, alternas de olor verde azulado. Cuenta con flores solitarias situadas sobre 2-3 brácteas muy similares a las hojas, posee 3 sépalos con espinas en el ápice y seis pétalos amarillos. El fruto es capsular con espinas este contiene semillas redondas y

negras y tiene y una raíz pivotante. Tiene características especiales látex amarillo blanquizco.

Cuevas y Romero (2006), evaluaron la efectividad de diferentes especies vegetales y materiales diversos en diferentes formulaciones y dosis destacando la acción contra el gorgojo del maíz *S. zeamais* (Mots). Las plantas de Chicalote *Argemone sp* y *Valeriana officinalis* ambas provocando 98.9% de mortalidad, 0% de emergencia de la primera generación y 0% de daños al grano.

Figura 7. Chicalote (*Argemone ochroleuca*).



Fuente fotográfica: Archivo personal.

#### **1.4.7.2 Neem *Azadirachta indica* A. Juss**

El árbol de Neem (*Azadirachta indica* A. Juss) comúnmente llamado Nim en Latinoamérica, margosa o lila india, es un árbol perteneciente a la familia *Meliaceae* originario de la India y de Birmania, que sólo vive en regiones tropicales y subtropicales. Pertenece a la familia *Meliácea*, es una planta de tamaño medio, de 15 a 20 metros de altura, con tronco erecto, corteza de color marrón con placas escamosas. Es una especie siempre verde que pierde sus hojas sólo bajo condiciones extremas. Tiene flores hermafroditas, blancas, amarillentas o cremas. La fruta es una drupa elipsoidal, de color verde pálido en la fase de crecimiento, tornándose amarillento, en la madurez, de fina cutícula y pulpa (R.D. 1995 citado por Medrano, 2000).

Neem (*Azadirachta indica*), ha sido utilizado en el control de plagas ya que el potencial más importante es su capacidad de suministrar substitutos orgánicos para los productos químicos agrícolas. En la India, su aplicación de mayor importancia económica es tal vez

el combate de las plagas de los granos almacenados, pues es común agregar semillas de Neem molidas al grano para repeler los insectos (Medrano, 2000: 23).

#### 1.4.7.3 Eucalipto *Eucalyptus camaldulensis*

Medrano (2000), menciona que el Eucalipto es el nombre común de un género de árboles y arbustos de la familia de las Mirtáceas. Este género está formado por unas 450 especies. Los eucaliptos se caracterizan por presentar hojas coriáceas, blancuzcas, péndulas, con el borde orientado hacia el sol la corteza rota en jirones y el aroma peculiar las flores son pequeñas y presentan una tapadera que se desprende en el proceso de la floración, en ese momento se despliegan los estambres (ver figura 8).

Se cultivan en regiones secas donde se han introducido con fines de reforestación por su rápido crecimiento, resistencia a la sequía, buena calidad de madera y aceite esencial usado en la industria. Se le atribuye propiedad anestésica, antiséptica, depurativa, digestiva, espasmolítico, expectorante, febrífuga, hipoglucémica, insecticida, rubefaciente y vermífuga (Cáceres, 1996).

Pérez (1995), menciona que algunos productos naturales han sido utilizados en el control de plagas en cultivos y en granos almacenados como la higuera (*Ricinus comunis*), el Eucalipto (*Eucalyptus sp.*), Timboque (*Tecoma stans*), piedra pomex y ceniza volcánica.

Figura 8. *Eucalyptus camaldulensis*.



Fuente fotográfica: Archivo personal.

#### **1.4.8 Plaguicidas botánicos**

Los plaguicidas botánicos son derivados de algunas partes o ingredientes activos de las plantas. En los últimos años, la aplicación de varios productos de plantas medicinales ha llamado mucho la atención como alternativas efectivas a los pesticidas sintéticos. Estos productos vegetales son muy eficaces, menos costosos, biodegradables y más seguros que sus equivalentes sintéticos, los cuales son altamente persistentes en el medio ambiente y tóxico para los organismos, incluidos los humanos a los cuales les causan muchas de las enfermedades no identificadas después de la bioacumulación (Singh *et al.*, 1996 ; Leng *et al.*, 2011). Se ha demostrado que estos compuestos afectan a las poblaciones de insectos, disminuyen la supervivencia de desarrollo y la tasa de reproducción (Singh y Jain, 1987; Carlini y Grossi, 2002).

Varias plantas que pertenecen a diferentes familias contienen una serie de fitoquímicos tales como saponinas, taninos, alcaloides, di y triterpenoides, entre otros, los cuales presentan alta actividad insecticida. El efecto nocivo de los extractos de plantas o sus compuestos puros contra los insectos se puede manifestar de diversas maneras, incluyendo la toxicidad, la mortalidad, inhiben el crecimiento, la supresión de comportamiento reproductivo y reducen la fertilidad y la fecundidad (BenJannet *et al.*, 2001).

#### **1.4.9 Metabolitos secundarios**

Según Ávalos y Pérez (2009), los metabolitos secundarios se agrupan en cuatro clases principales:

1. Terpenos: Entre los que se encuentran hormonas, pigmentos o aceites esenciales.
2. Compuestos fenólicos: Cumarinas, flavonoides, lignina y taninos.
3. Glicósidos: Saponinas, glicósidos cardiacos, glicósidos cianogénicos y glucosinolatos.
4. Alcaloides.

#### **1.4.9.1 Metabolitos secundarios generados por *A. indica***

El más importante es azadiractina. La azadiractina ha sido encontrada en todas las partes de la planta, es en las semillas donde se almacena hasta cuatro veces más que en la hojas (Cruz, 1998).

Los principales compuestos que han sido aislados son triterpenos y tetranortriterpenoide como ejemplo de ellos es la azadiractina y limonoides entre otros (López *et al.*, 2007).

Entre sus efectos se destacan la inhibición del apareamiento y comunicación sexual, impedimento de la ovoposición y eclosión de huevos, esterilidad en adultos, bloqueo de los pasos de mudas necesarias para entrar a la siguiente etapa del desarrollo, efecto anti alimentario y el bloqueo de la síntesis de quitina (Koolman *et al.*, 1998).

La Aza es uno de los metabolitos principales utilizado especialmente para el control de insectos (Mordue y Blackwell, 1993 citado por Orozco y Rodríguez, 2007). Además de la Aza, se reporta que el meliantról y el salanin hacen que los insectos dejen de alimentarse. El nimbin y nimbidin poseen actividad antiviral. El deactilazadiractinol, se encuentra en menor concentración, funciona como antihormona y paraliza el sistema digestivo del insecto. El 3-deacetilsalanin y el salanol, están relacionados químicamente con el salanin y también son antialimentarios (National Research Council, 1992; Royal Garden Botanics, 2006).

#### **1.4.9.2 Metabolitos secundarios generados por el género *Argemone***

Según Raffauf (1970), cita que en el género *Argemone* están presentes los siguientes alcaloides: Argemone base, argemone base-a, argemonina, argemonina bisnor, berberina, queleritrina, coptisina, cryptopina, alfa-allocriptopina, beta-allocriptopina, morfina, muramina, munitagina I, protopina, dihidrosanguinarina, platicerina, rotundina, sanguinarina.

Sin embargo se conocen pocos reportes acerca del estudio químico de la especie *Argemone ochroleuca*. Al cual se le han identificado ácidos grasos (Fletcher *et al.*, 1993) y diversos alcaloides, tales como: Sanguinarina, queleritrina, protopina, berberina, dihidrosanguinarina, dihidroqueleritrina,  $\alpha$ -allocriptopina, heleritrina, queilantifolina,

scouletrina, reticulina y coptisina (Haisova y Slavik, 1973; Chelombit'ko y Nazarova, 1988; Takken y col, 1993).

#### **1.4.9.3 Metabolitos secundarios generados por el género *Eucalyptus***

Como característica más destacada del género *Eucalyptus*, se reconoce la presencia de flavonas C-metiladas en posiciones C<sub>6</sub> y C<sub>8</sub> en la cubierta epicuticular de ceras (pruina) de las hojas de diversas especies. Así, están identificadas eucaliptina (5-hidroxi-7,4'-dimetoxi-6,8-dimetilflavona) en varias especies de *eucalyptus* (Lamberton, 1964; Cerecer *et al.*, 1974).

8-desmetileucaliptina (5-hidroxi-7,4'-dimetoxi-6-metilflavona) en la pruina de las hojas de *E. torelliana* y *E. urnigera* (Horn *et al.*, 1964).

## CAPÍTULO 2 METODOLOGÍA

### 2.1 Descripción general

La experimentación se llevó a cabo en el Laboratorio de Procesos Agroindustriales de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Complejo Regional Centro-Tecamachalco.

Para la cría del gorgojo del maíz se colectaron insectos en graneros rústicos los cuales se depositaron en un frasco transparente y como alimento se utilizó maíz previamente esterilizado y se colocaron a una temperatura y humedad relativa adecuadas. Los insectos se mantuvieron por un periodo de 30 días para que se diera su reproducción, pasando este tiempo se separaron los insectos del grano y se volvió a colocar el grano por otro periodo de 30 días durante este periodo surgió la primera generación.

La recolección de la hoja de Chicalote y Eucalipto se realizó por la mañana en la comunidad de San Antonio Portezuelo, Municipio de General Felipe Ángeles. La hoja de Neem fue adquirida en una casa comercial de la ciudad de Puebla con presentación seca. La preparación del material vegetal (Chicalote y Eucalipto) se realizó sometiendo las hojas a secado bajo sombra por un mes, después de cubrir este periodo se sometió a un secado en una estufa a 40°C por 48 h aproximadamente. Posteriormente las hojas fueron trituradas en un molino manual.

El grano de maíz utilizado para los bioensayos se esterilizo y se le evaluó la calidad fisicoquímica (dureza) siguiendo la metodología reportada por CIMMYT (2016). La metodología utilizada para los bioensayos fue la propuesta por Lagunes y Rodríguez (1989), quienes mencionan que las pruebas biológicas se deben realizar creando artificialmente un ambiente favorable para el desarrollo de la plaga, mezclando en frascos de vidrio de 250 mL 100 g de maíz estéril, los diferentes tratamientos y las parejas de *S. zeamais*. Una vez realizada la infestación los frascos se mantuvieron a condiciones no controladas de temperatura y humedad relativa. Las variables evaluadas fueron la mortalidad, pérdida de peso, emergencia y dureza del grano antes y después del experimento. Adicionalmente a los polvos vegetales se les realizó una determinación cualitativa de metabolitos secundarios.

## 2.2 Cría de gorgojo

La crianza de los gorgojos se llevó a cabo mediante la instalación de una cría intensiva en el Laboratorio de Procesos Agroindustriales, para lo cual se colectaron insectos en graneros rústicos de la comunidad de San Antonio Portezuelo donde aún el grano no se encontraba tratado con ningún producto químico ni natural, para que no interfiera en el experimento.

La colecta de insectos se realizó de la siguiente manera para separar los gorgojos del maíz se utilizó un tamiz de apertura de aproximadamente 0.5 cm, los gorgojos fueron colocados en recipientes con alimento y cubiertos con tela delgada para que permitiera su respiración y así permitiese su trasportación al laboratorio.

Para la esterilización del grano de maíz se encontró dos metodologías:

1. Silva *et al.*, (2006), menciona que el grano se debe poner en un congelador por 48 h a  $-4^{\circ}\text{C}$ , para eliminar cualquier contaminación externa por insectos, que pudiera alterar los resultados.
2. Pérez *et al.*, (2015), esta metodología consiste en que el maíz utilizado para la cría de gorgojo se debe esterilizar en un horno de microondas por tres minutos, con lo cual se evita que prolifere algún otro insecto que pueda interferir con la cría.

Se utilizó la metodología propuesta por Pérez *et al.*, (2015), modificada de la forma en que se describe a continuación. Para la esterilización del maíz se colocó 250 g de maíz en matraces de 1 L y se taparon con tapones hechos de manta de cielo enseguida se colocaron en un horno de microondas (Samsung, ME1090FSA) por tres minutos (ver figura 9)

Figura 9. Esterilización del maíz en horno de microondas.



Fuente fotográfica: Archivo personal.

Dentro de este proceso se colectaron 400 gorgojos y se depositaron en un frasco transparente de plástico de 3 litros de capacidad y como alimento se les colocó 2 kg de maíz criollo blanco y se tapó con malla de tela tricot para evitar que se salieran y que se diera el intercambio de oxígeno y se colocaron a una temperatura aproximada de  $24^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$  y humedad relativa de  $70\% \pm 10\%$ , para favorecer la reproducción, ovoposición y obtención de los adultos requeridos. Los insectos se dejaron por un periodo de 30 días durante el cual se dio la reproducción entre macho-hembra; pasando este tiempo se separaron los insectos, donde los insectos se tomaron con unas pinzas de aluminio flexible y los muertos se desecharon al igual que los residuos de polvo o pedazos de grano, dejando solo organismos vivos y activos, y se colocaron en otro frasco con 2 kg en las mismas condiciones que con las que se inició el proceso.

El frasco original se conservó con los granos dañados y en los cuales se encuentran huevos, larvas y pupas. El frasco original se dejó por otro periodo de 30 días, durante este periodo surgió la primera generación.

El sexo de los adultos se identificó usando el criterio de Halstead (1963), quien señala que la probóscide (*rostrum*) de la hembra es más larga, delgada y lisa que la del macho, tal como ya se ha descrito con anterioridad.

Se hicieron modificaciones a la metodología las cuales consistieron en que para esterilizar el maíz se colocó 250 g de maíz en matraces de 1 L, los cuales se taparon con tapones hechos de manta de cielo. Pérez *et al.*, (2015), indica que para esterilizar el maíz se debe

colocar en matraces de 250 mL, más sin embargo no indica la cantidad de maíz agregado, además indica que se debe tapar los matraces con tela *Magitel*.

## **2.3 Recolección, obtención y preparación del material vegetal**

### **2.3.1 Obtención de Neem (*Azadirachta indica* A. Juss)**

Las hojas de Neem se conoce que se utilizan para proteger las cosechas de granos contra los insectos que las dañan, como es el caso del gorgojo del maíz, para lo cual se recomienda mezclar 60 g de polvo de hoja molida por cada kilogramo de grano almacenado (Inifap, 2004).

Las hojas de neem fueron adquiridas en una casa comercial de la ciudad de Puebla, con presentación seca y en bolsa.

### **2.3.2 Obtención de Eucalipto (*Eucaliptus camaldulensis*)**

Para la recolecta del materia vegetal de eucalipto se buscó por la mañana en la comunidad de San Antonio Portezuelo ya que se encuentra abundantemente y es ampliamente conocido por los productores. Para seleccionar la materia vegetal se utilizó hojas en buen estado libre de daño. Para el caso de *E. camaldulensis* se evaluó una concentración del 1% (p/p), ya que según Lagunes (1994), señala que constituye una concentración razonable al momento de recolectar y utilizar el material vegetal en caso de que la planta resulte efectiva.

### **2.3.3 Obtención de Chicalote (*Argemone ochroleuca*)**

La recolecta del materia vegetal de Chicalote se llevó a cabo en la comunidad de San Antonio Portezuelo, ya que esta crece en abundancia en la comunidad. Para seleccionar la planta se cumplió el siguiente criterio, que la planta se estuviera en etapa de floración ya que en esta etapa presenta abundante cantidad de hojas (ver figura 10), una vez recolectadas las suficientes se separó manualmente las hojas y las flores.

Según García *et al.*, (2007), indica que la dosis a utilizar de polvo de chicalote debe de ser hasta un máximo de 20 g por cada kg de maíz.

Figura 10. Recolecta de Chicalote (*Argemone ochroleuca*).



Fuente fotográfica: Archivo personal.

Para secar el material vegetal de eucalipto y chicalote se sometió a un secado por un mes bajo sombra. Después de cubrir este periodo se sometió a un secado en una estufa a 40 °C, por 48 h aproximadamente, hasta obtener un peso constante por la pérdida de agua. Posteriormente las hojas fueron trituradas en un molino manual, hasta obtener un polvo fino y el residuo obtenido fue pasado secuencialmente por 2 tamices de 500  $\mu$  y 250  $\mu$ , las muestras fueron envasadas en frascos de vidrio color ámbar para evitar la fotólisis y fueron guardadas a temperatura de 25°C  $\pm$  3°C hasta el día en que fue utilizado en los bioensayos (Iannacone y Lamas, 2003).

#### **2.4 Bioensayo de mortalidad**

La mortalidad se define como las muertes producidas durante un tiempo dado en general o por una causa determinada (RAE, 2018).

Las variables independientes en este experimento fueron los diferentes materiales provenientes de plantas y sus dosis, en tanto que la variable dependiente a evaluar fue la mortalidad de gorgojos en porcentaje, en el periodo de tiempo en que durará el experimento. La metodología utilizada fue la propuesta por Lagunés y Rodríguez (1989), quienes mencionan que las pruebas biológicas se deben realizar creando artificialmente un ambiente favorable para el desarrollo de los especímenes de la plaga, mezclando en frascos de vidrio con capacidad de 250 mL, 100 g de maíz blanco y limpio proveniente de la región. Se agregaron los diferentes tratamientos y se mezclaron manualmente

mediante movimientos oscilatorios y verticales hasta distribuirlo uniformemente (ver figura 11).

A cada frasco se le incorporo 10 parejas de *S. zeamais* de dos semanas de edad, se cubrieron con tapas de tela de organza para que pudiesen respirar adecuadamente pero no puedan escapar. El tratamiento testigo consistió en las mismas condiciones que los anteriores sin aplicación de ningún tratamiento, es decir, sin ningún tipo de polvo vegetal. Una vez realizada la infestación, los frascos se mantuvieron a condiciones no controladas de temperatura y humedad relativa. Después a las 24, 48, 72, 168 y 360 horas, los gorgojos adultos se retiraron y se contaron el número de insectos muertos para obtener el porcentaje de mortalidad.

Se consideró como individuo muerto aquel que no presento movilidad alguna, asegurando el evento al utilizar una fuente de calor y una placa metálica en donde se colocaron los insectos y se observaron durante un tiempo razonable, asegurándose que estos ya no presentaran movilidad de ningún tipo (García, 2009).

Se consideró un tratamiento prometedor para el control de insectos en almacén en este experimento si se registraba una mortalidad corregida igual o mayor que 50% respecto al testigo (Lagunes, 1994).

Figura 11. Bioensayo de mortalidad.



Fuente: Archivo personal.

## 2.5 Evaluación de la calidad fisicoquímica del grano (dureza)

El índice de flotación se basa en el número de granos que flotan en una solución de referencia, ya que depende de la densidad de estos con respecto a la densidad de la solución de nitrato de sodio, por lo que entre más duro sea el tipo de maíz menor es el valor de índice de flotabilidad (IF). Dado que el porcentaje de humedad de las muestras influye significativamente en el resultado, se recomienda que sea homogénea entre las muestras a evaluar (aproximadamente 12%) (Salinas y Vázquez, 2006).

Para lo anterior se evaluó la dureza del grano ya que esta contribuye a otorgarle al maíz resistencia mecánica, propiedad deseable para mantener la integridad del grano durante las operaciones de cosecha y poscosecha.

Se empleó una solución de nitrato de sodio a una densidad de 1,250 g/mL (+/- 0,001 g/mL), medida con un picnómetro. Para ajustar la densidad de la solución primero se pesó el picnómetro vacío (pv), se pesó el picnómetro con agua destilada (pa) cuidando que no se formaran burbujas, se desechó el agua destilada y se enjuago el picnómetro con un poco de solución de nitrato de sodio, enseguida se adiciona solución de nitrato al picnómetro (ps), cuidando que no se formaran burbujas y se pesó el picnómetro con la solución (CIMMYT, 2016).

Se calculó la densidad de la solución utilizando la formula CIMMYT, 2016:

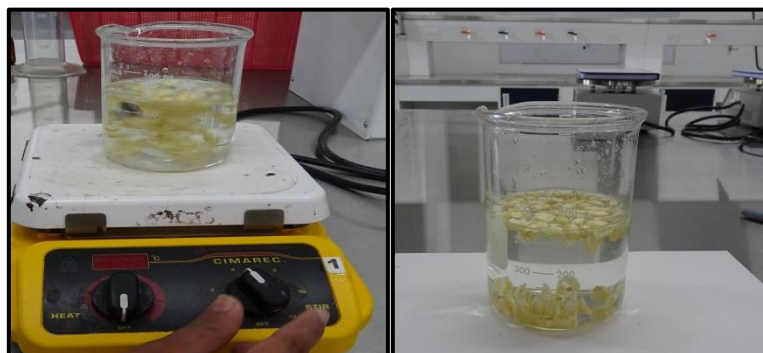
$$\rho = \frac{ps - pv}{pa - pv}$$

Si la densidad ( $\rho$ ) es  $1.250 \pm 0.001$  (1.251 o 1.249), la solución está lista para realizar el índice de flotación. De lo contrario se procede a ajustar la solución.

Para determinar el IF se siguió la metodología de CIMMYT (2016), modificada para determinar el IF se tomaron 100 granos limpios (libres de impurezas), se vertieron en la solución de nitrato de sodio previamente preparada, separando los granos uno de otro por medio de una parrilla de calentamiento agitación y se esperó un minuto para tomar la lectura. El número de granos que ascendieron a la superficie se usó como el índice de flotación (ver figura 12).

Las modificaciones consistieron en que se empleó un volumen de 300-350 mL por tratamiento contenidos en un vaso de 600 mL y al momento de separar los granos se usó una parrilla de calentamiento agitación, mientras que la CIMMYT (2016), indica adicionar 500 mL de la solución de nitrato en un vaso de precipitado de 1 L y adicionar los 100 granos en la solución y agitar 3 veces a la derecha y 3 veces a la izquierda con ayuda de un agitador de vidrio.

Figura 12. Evaluación de la dureza del maíz.



Fuente: Archivo personal.

## 2.6 Determinación de metabolitos secundarios

La metodología para la determinación de metabolitos secundarios se hizo según Dewick (2002). Se aplicó procedimientos cualitativos de tamizaje fitoquímico, para determinar mediante reacciones de precipitación, colorimétricas o de otro cambio físicoquímico que expusiera la presencia de grupos funcionales característicos de metabolitos secundarios.

Antes de llevar a cabo la identificación de estos metabolitos secundarios, las hojas secas de neem, eucalipto y chicalote fueron molidas con ayuda de un molino manual hasta obtener un polvo lo mas fino posible.

La determinación de los metabolitos se realizó de manera cualitativa a través, del sistema no paramétrico de cruces:

+++ : Presencia cuantiosa.

++ : Presencia notable.

+: Presencia leve.

-: Ausencia.

### **2.6.1 Identificación de alcaloides**

Para llevar a cabo la identificación de alcaloides en un tubo de ensaye se adicionó 1 g del material vegetal en polvo, posteriormente se agregó agua destilada y se agitó por 5 minutos, después se depositó el líquido en el papel filtro impregnado con reactivo de Dragendorff. Cuando el precipitado es amarillo se consideró como positivo a alcaloides.

### **2.6.2 Identificación de cumarinas**

Para llevar a cabo la identificación de cumarinas, en un tubo de ensaye se adicionó 1 g del material vegetal en polvo, posteriormente se agregó la solución básica KOH al 10 % alcohólico y se agitó por 5 minutos. En casos positivos se observó una coloración amarilla. Para confirmar que se debe a la presencia de una lactona de la cumarina, se comprobó añadiendo HCl si el color amarillo desaparecía se consideró como positivo.

### **2.6.3 Identificación de saponinas**

La muestra vegetal en polvo se colocó en el tubo de ensaye, se adicionó H<sub>2</sub>O caliente y luego se agitó vigorosamente durante 3-5 minutos. La formación de espuma con apariencia de panal de abeja se consideró como prueba positiva. El ensayo se consideró positivo si aparecía espuma en la superficie del líquido de más de 2 mm de altura y esta permanecía por más de 2 minutos.

### **2.6.4 Identificación de colesterol**

En un tubo de ensaye se colocó el material vegetal seco, se adicionó 3 mL de cloroformo y se adicionó un volumen igual de ácido sulfúrico concentrado y se mezcló suavemente. El ensayo se consideró positivo si se desarrollaba un color rojo característico en la capa clorofórmica.

### **2.6.5 Identificación de flavonoides y antioxidantes**

En un tubo de ensaye con la muestra de estudio se le agregó de 2 a 3 virutas de Magnesio y unas gotas de ácido clorhídrico concentrado. El ensayo se consideró positivo si se observaba el cambio de coloración, colores amarillos intermitentes indican presencia de pocos flavonoides, en el caso de colores azules o morados indicaba un gran contenido de flavonoides.

#### **2.6.5.1 Prueba de HCl + Mg**

En caso particular de la existencia de incertidumbre en la prueba anterior a otro tubo de ensaye con la muestra se le añadió etanol para facilitar la extracción de los flavonoides y se procedió a agregar el Mg y posteriormente el HCl concentrado.

#### **2.6.5.2 Prueba de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> + Mg**

Si la primera y la segunda prueba son incongruentes entre ellas, se procedió a adicionar el Mg sobre el material vegetal y posteriormente se adiciono ácido sulfúrico gota a gota con mucho cuidado, de acuerdo al color se anotan el resultado.

#### **2.6.6 Prueba de insaturaciones**

Se colocó el material seco pulverizado en un tubo de ensaye, añadiendo la solución reveladora permanganato de potasio al 10 % y se agitó por 5 minutos. En casos positivos se observó una decoloración de la solución morada a una solución transparente así como la formación de un precipitado café.

#### **2.6.7 Identificación de triterpenos**

En un tubo de ensaye se adicionó 1 g del material vegetal en polvo, se añadió 3 mL de la solución reveladora anhídrido acético H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-CHCl<sub>3</sub> (10:1:25) v/v y se disolvió durante 1-2 minutos. Simultáneamente se observó un calentamiento drástico en el tubo de ensaye. El ensayo se consideró como positivo si se presentaban la aparición de colores rojos, rosa, púrpura o azul.

#### **2.6.8 Identificación de esteroides**

Para buscar esteroides en un tubo de ensaye se colocó material seco pulverizado y se añadió 0.5 mL de anhídrido acético y luego se adicionó 2 gotas de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. En casos positivos se observó coloraciones cambiantes, verdes, azules, rosas, púrpura hasta negro. Coloración negra se consideró como un resultado de gran cantidad.

## 2.7 Descripción de los tratamientos

El tratamiento (T1) consistió en la aplicación de hoja de Neem en polvo a razón de 5 g por cada 100 g de maíz mezclando de manera homogénea con el maíz.

El tratamiento (T2) consistió en la aplicación de Eucalipto en forma de polvo a razón de 0.5 g por cada 100 g de maíz.

El tratamiento (T3) consistió en aplicar Chicalote en forma de polvo a razón de 2 g por cada 100 g de maíz.

Los tratamientos (T4, T5 y T6) son una combinación de las dosis a la mitad, con la finalidad de observar si hay correlación que incremente el porcentaje de la variable dependiente (mortalidad de gorgojos).

El tratamiento (T7) consistió en la combinación de los polvos de las tres especies de plantas a razón de una tercera parte de la dosis original, con la finalidad de observar si hay correlación que incremente el porcentaje de la variable dependiente (mortalidad de gorgojos).

El tratamiento (T8) es el testigo maíz almacenado sin ninguna dosis agregada.

Tabla 1. Tratamientos para el control de *S. zeamais*

| Tratamientos | Descripción de tratamientos  | Dosis                                  |
|--------------|------------------------------|--|
|              |                              | (Producto/grano)                       |
| T1           | Neem                         | 6 g/100 g de maíz                      |
| T2           | Eucalipto                    | 1 g/100 g de maíz                      |
| T3           | Chicalote                    | 2 g/100 g de maíz                      |
| T4           | Neem + Eucalipto             | 3 g + 0.5 g/100 g de maíz              |
| T5           | Neem + Chicalote             | 3 g + 1 g/100 g de maíz                |
| T6           | Eucalipto + Chicalote        | 0.5 g + 1 g/100 g de maíz              |
| T7           | Neem + Eucalipto + Chicalote | 2 g + 0.333 g + 0.666 g/100 g de maíz. |
| T8           | Testigo                      | 0 g /100 g de maíz                     |

## 2.8 Diseño experimental

Se evaluó en laboratorio el efecto de los tratamientos de la (tabla 1) para el control de *S. zeamais* en granos de maíz, estos se probaron bajo un diseño experimental completamente aleatorizado con 4 repeticiones, por lo que se contó con 32 unidades experimentales en total (ver figura 13), donde cada unidad experimental consistió en un vaso de vidrio en el que se depositaron 100 g de maíz limpio con su respectivo tratamiento, así como 10 hembras y 10 machos adultos de *S. zeamais*.

Figura 13. Distribución de los tratamientos.

|    |    |    |    |    |    |    |    |
|----|----|----|----|----|----|----|----|
| T4 | T2 | T5 | T4 | T2 | T1 | T3 | T8 |
| T7 | T8 | T2 | T6 | T5 | T4 | T1 | T7 |
| T1 | T3 | T6 | T5 | T3 | T5 | T4 | T8 |
| T3 | T6 | T8 | T1 | T6 | T2 | T7 | T7 |

## 2.9 Variables evaluadas

### 2.9.1 Porcentaje de Mortalidad o Mortalidad corregida.

El porcentaje de mortalidad de adultos de *S. zeamais* se evaluó a las 24, 48, 72, 168 y 360 horas después de la infestación para lo cual se retiraron y cuantificaron los adultos muertos de cada tratamiento. El porcentaje de mortalidad se obtuvo utilizando la fórmula de (Abott, 1925).

$$MC = \frac{X-Y}{100-Y} (100)$$

Dónde:

MC= Mortalidad corregida.

X= Mortalidad en el tratamiento.

Y = Mortalidad en testigo absoluto.

### 2.9.2 Porcentaje de Emergencia

Después de las 360 horas los frascos fueron colocados nuevamente a condiciones no controladas en laboratorio, para lo cual se removió el contenido de los frascos vaciando

los granos de cada uno de ellos. Para posteriormente determinar el porcentaje de emergencia corregida a los 80 días de establecer el experimento.

Para el cálculo de porcentaje de emergencia corregida de insectos se utilizó la siguiente fórmula:

$$\% \text{ De Emergencia} = (X/Y) (100)$$

Dónde:

X = Número de insectos emergidos en el tratamiento.

Y = Número de insectos emergidos en el control.

### 2.9.3 Pérdida de peso del grano

Se evaluó la pérdida de peso a los 80 días de haberse establecido el experimento. Esta se evaluó de acuerdo a la fórmula de coeficiente de daño expresada en porcentaje a partir del maíz dañado y el maíz sano, reportada por Judenko (1973).

$$\% \text{ Pérdida de peso} = \frac{PS-PD}{PS} * 100$$

Dónde:

PS= Peso promedio del grano sano.

PD= Peso promedio de granos dañados.

### 2.9.4 Dureza del grano a la entrada y salida del experimento

Se evaluó la dureza del maíz antes de ser sometidos a la experimentación y a los 80 días de establecer el experimento: Se midió este parámetro mediante la (tabla 2) de índice de dureza según CIMMYT (2016). Dentro del análisis se utilizó un Análisis de correlación de Spearman para verificar si existe relación entre esta variable y la de pérdida de peso.

Tabla 2. Índice de flotabilidad (Dureza).

| Granos flotantes | Dureza      |
|------------------|-------------|
| 0-12             | Muy Duros   |
| 13-37            | Duros       |
| 38-62            | Intermedios |
| 63-87            | Suaves      |
| 88-100           | Muy Suaves  |

## 2.10 Análisis estadístico

Todos los cálculos y pruebas estadísticas se realizarán utilizando ANOVA de un factor (o de una vía) con el software estadístico (InfoStat, 2017) a un nivel de confianza del 95%.

$$X_{ij} = \mu + \alpha_i + \varepsilon_{ij}$$

Se verificó la normalidad de los datos con la prueba de Shapiro-Wilk y para comprobar homocedasticidad se utilizó el test Levene.

Debido a que las variables mortalidad y Pérdida de peso no cumplieron los supuestos de normalidad y homocedasticidad se utilizó la prueba de Kruskal Wallis. Para las variables Emergencia y Dureza se utilizó ANOVA de un solo factor ya que la variable Emergencia sí cumplió los supuestos y en el caso de la variable Dureza solo no cumplió normalidad. Todas estas pruebas se utilizaron para comparar las medias de los diferentes tratamientos y contrastar la prueba de hipótesis de que al menos una es diferente (hipótesis alternativa). Adicionalmente, con la finalidad de evitar cometer el error tipo I (rechaza la hipótesis nula cuando ésta es verdadera, es decir, que no hay diferencias entre todos los tratamientos). Se consideró utilizar las pruebas de comparación múltiple de medias mediante las pruebas post hoc correspondientes Kruskal-Wallis y de Tukey.

## CAPÍTULO 3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

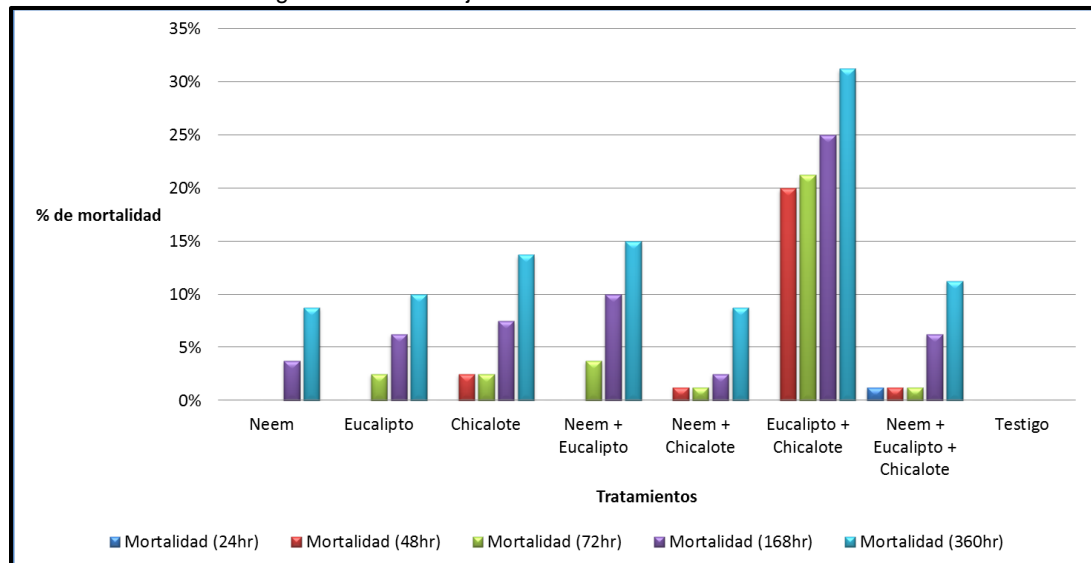
### 3.1 Mortalidad de *S. zeamais*

El análisis de la varianza con Kruskal Wallis reporto que la mortalidad de adultos de *S. zeamais* a los 15 días de montar el experimento mostro diferencia significativa presentando un P-valor de 0.0240.

En la (figura 14) se puede observar el efecto de los diferentes tratamientos en polvo sobre la mortalidad de adultos de *S. zeamais*. Esta alcanzo valores de 31.25% de mortalidad, el cual fue el máximo valor observado con el tratamiento de Eucalipto + Chicalote (0.5% + 1%), el mayor efecto fue observado a las 48 h cuando se alcanzó mortalidad de 20% en ese mismo tratamiento. Esto se puede deber a que estas plantas poseen metabolitos secundarios como flavonoides y alcaloides que se les atribuyen efecto insecticida.

Se puede apreciar en la (figura 14) que los tratamientos de Neem (6%), Eucalipto (1%) y Neem + Chicalote (3% + 1%) no superaron la mortalidad del 10% a los 15 días de exposición. Mientras que los tratamientos de Chicalote (2%), Neem + Eucalipto (3% +0.5%) y Neem + Eucalipto + Chicalote (2% + 0.333 % + 0.66%) presentaron mortalidad entre 10 al 15% a los 15 días de tratamiento. El tratamiento de Neem + Eucalipto + Chicalote (2% + 0.333 % + 0.66%) presento mortalidad desde las 24 h. Sin embargo este tratamiento no presento una alta mortalidad como se esperaba ya que al mezclar los tres tipos de plantas se esperaba un mayor efecto de mortalidad.

Figura 14. Porcentaje de mortalidad de *S. zeamais*.



Se observó en la (tabla 3) que a los 15 días de establecer el experimento se presentaron dos grupos de medias, siendo los tratamientos de mayor mortalidad el tratamiento Chicalote (2%), Neem + Eucalipto (3% +0.5%) y Eucalipto + Chicalote (0.5% + 1%), con mortalidad de 13.75, 15 y 31.25 % respectivamente. Presentando evidencia estadística importante respecto al testigo donde la mortalidad fue de 0%. Los tratamientos donde se observó la más baja mortalidad fueron Neem (6%), Neem + Chicalote (3% + 1%) y Eucalipto (1%) ya que no se observó una mortalidad significativa respecto al testigo.

Tabla 3. Porcentaje promedio de mortalidad de *S. zeamais* bajo diferentes tratamientos.

| Porcentaje de mortalidad |   |       |                           |     |
|--------------------------|---|-------|---------------------------|-----|
|                          | Tratamiento                                       | Ranks | % de mortalidad corregida |     |
|                          |   |       | 15 días                   |     |
| 8                        | Testigo   | 2.50  | 0                         | A   |
| 1                        | Neem (6%)   | 14.13 | 8.75                      | A B |
| 5                        | Neem + Chicalote (3% + 1%)                        | 14.13 | 8.75                      | A B |
| 2                        | Eucalipto (1%)                                    | 15.00 | 10                        | A B |
| 7                        | Neem + Eucalipto + Chicalote 2% + 0.333 % + 0.66% | 18.88 | 11.75                     | B   |
| 3                        | Chicalote (2%)                                    | 22.13 | 13.75                     | B   |
| 4                        | Neem + Eucalipto (3% +0.5%)                       | 22.50 | 15                        | B   |
| 6                        | Eucalipto + Chicalote (0.5% + 1%)                 | 22.75 | 31.25                     | B   |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes K-W ( $p > 0.05$ ).

Los promedios de mortalidad corregida se presentan en la (tabla 3), observando que no hubo una alta mortalidad como para considerar algún tratamiento como prometedor ya que de acuerdo con el criterio de 40% de mortalidad para considerar un tratamiento como prometedor (de acuerdo con Lagunes, 1994), donde de los 7 evaluados ninguno supero ese umbral.

Estos resultados de baja mortalidad concuerdan con los obtenidos por Procopio *et al.*, (1995), quienes probaron el potencial de diversos polvos de origen vegetal *Azadirachta indica* (frutos) obteniendo una mortalidad de 6.67 % y *Eucalyptus citriodora* (hojas) obteniendo 7.50 % de mortalidad para el control de *Sitophilus zeamays*.

Silva *et al.*, (2003), probaron *Azadirachta indica* (hoja) a dosis de 2,5 % obteniendo una mortalidad de 1.70 % a los 15 días de haber hecho la infestación. El incremento de

mortalidad en este experimento puede deberse al incremento en la dosis utilizada ya que se usó a razón de 6% obteniendo una mortalidad de 8.75 %.

Silva *et al.*, (2003), probaron diversos polvos vegetales siendo uno de ellos *Eucalyptus globulus L.* a dosis de 0.1, 1 y 2 % obteniendo una mortalidad a los 15 días de realizada la infestación de 1.7, 3.9 y 1.7 % respectivamente. En el caso de *Eucalyptus camaldulensis* se han realizado pocos estudios pero en este estudio se obtuvo una mortalidad de 10%.

Cuevas *et al.*, (2006), probaron diversos productos naturales para el control de la principal plaga de maíz, frijol y garbanzo almacenados, siendo uno de ellos *Argemone sp.* a razón de 1% obteniendo un promedio de mortalidad del 80 % a los 15 días de hacer la infestación. En este experimento el uso de *Argemone ochroleuca* no presentó una alta mortalidad para controlar a *S. zeamais*.

Se debe resaltar que estos tratamientos tuvieron una mortalidad baja, pero se observó que se vio afectado el comportamiento *S. zeamais* y por ello estas plantas en polvo presentarían un efecto más bien insectistático que insecticida. Silva *et al.*, (2002), definen el efecto insectistático de polvos vegetales como el efecto de inhibir el desarrollo y comportamiento de los insectos en lugar de matarlos directamente por sus propiedades tóxicas.

### 3.2 Emergencia de *S. zeamais*

El análisis de varianza detecto efecto significativo de los tratamientos sobre la emergencia evaluada a los 80 días después de haber establecido el experimento al obtener un p-valor de 0.0002 siendo menor al nivel de significancia 0.05.

En términos generales, este parámetro no presentó mayores diferencias entre los tratamientos, pero la mayoría fue estadísticamente diferente del testigo (ver tabla 4), donde se muestra que hay diferencia significativa en las medias de los tratamientos presentando dos grupos de medias. Los tratamientos donde se observó los resultados más bajo de emergencia de *S. zeamais* presentaron mayor porcentaje de mortalidad (ver tabla 3). De los tratamientos que causaron mayor mortalidad y que también presentaron bajos valores de emergencia se destaca el tratamiento Chicalote (2%), Neem + Eucalipto (3% +0.5%) y Eucalipto + Chicalote (0.5% + 1%) obteniendo emergencias de 16.6, 14.5 y 14.5 % respectivamente.

Tabla 4. Porcentaje promedio de emergencia de *S. zeamais* bajo diferentes tratamientos.

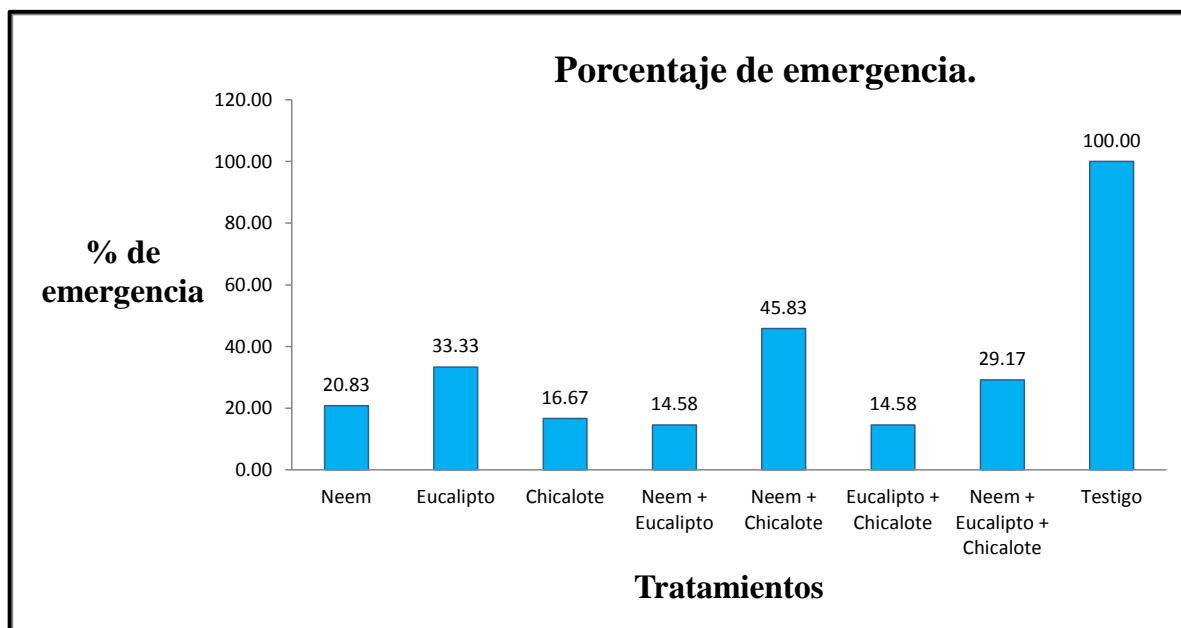
| Tratamiento |   | % de emergencia<br>80 días |
|-------------|---|----------------------------|
| T6          | Eucalipto + Chicalote (0.5% + 1%)                 | 14.583 A                   |
| T4          | Neem + Eucalipto (3% +0.5%)                       | 14.583 A                   |
| T3          | Chicalote (2%)                                    | 16.666 A                   |
| T1          | Neem (6%)   | 20.833 A                   |
| T7          | Neem + Eucalipto + Chicalote 2% + 0.333 % + 0.66% | 29.166 A                   |
| T2          | Eucalipto (1%)                                    | 33.333 A                   |
| T5          | Neem + Chicalote (3% + 1%)                        | 45.833 A                   |
| T8          | Testigo   | 100 B                      |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes Tukey ( $p > 0.05$ ).

Se debe resaltar que de los siete tratamientos no se superó la emergencia del 50% a los 80 días de establecer el experimento (ver figura 15). Según Paez *et al.*, (1990), menciona que un tratamiento promisorio para esta variable no debe superar la emergencia del 50% respecto al testigo. En general se puede decir que todos los tratamientos disminuyeron la emergencia a comparación del testigo, esto puede deberse a que la hembra al encontrar el grano cubierto por el polvo no recibe el estímulo necesario para ovipositar. También puede ocurrir que una vez depositados los huevos éstos mueran al tener contacto con el

polvo, disminuyendo la emergencia. Silva *et al.*, (2004). Lagunes (1994), menciona que las propiedades insectistáticas de algunos polvos vegetales, actuando como sustancias anti-alimentarias o repelentes, provocando una menor oviposición y emergencia. Sin embargo, no se puede olvidar que algunas sustancias vegetales sí provocan un efecto insecticida.

Figura 15. Porcentaje de emergencia de *S. zeamais*.



Se debe destacar que en este experimento no se controló la temperatura y humedad relativa propicias para el desarrollo de *S. zeamais* por lo que esto puede a su vez influir en el resultado de emergencia ya que Sharifi y Mills (1971) citado por Jiménez (2015), menciona que el ciclo de vida de *Sitophilus zeamais* es en promedio de 36.5 días a una temperatura de 27°C y una humedad relativa del 70 %. Mientras que Okelana y Osuji (1985), indican que a una temperatura de 28 a 32°C y una humedad relativa del 70% el ciclo de vida es de 35 días.

### 3.3 Porcentaje de pérdida de peso

El análisis de varianza detectó efecto significativo de los tratamientos sobre la pérdida de peso presentando un P-valor de 0.0001, a su vez se corroboró con la prueba Kruskal Wallis presentando un P-valor de 0.0077, ambos métodos rechazan la hipótesis nula, por lo que se aceptó la hipótesis alternativa que nos dice que hay diferencias significativas entre ambos momentos.

La prueba post hoc de Kruskal-Wallis (K-W) mostró semejanza con la prueba de Tukey, con la prueba de Tukey se detectó diferencias significativas en los promedios de pérdida de peso ocasionada por *S. zeamais*. Se observaron tres grupos de medias (ver tabla 5), por lo que se puede decir que todos los tratamientos fueron estadísticamente diferentes del testigo.

Los tratamientos donde se observó menor pérdida de peso son el Eucalipto + Chicalote (0.5% + 1%) y Neem (6%) con pérdidas de 4.05 y 4.11% respectivamente. En el caso del tratamiento de Neem (6%) coincide con lo reportado por Silva *et al.*, (2003), donde a los 55 días de la infestación obtuvieron una baja pérdida de peso de 3,20 %, la pequeña variación de pérdida de peso puede deberse a que en su experimento usaron 2,5 g de hoja de neem en polvo y controlaron las condiciones de temperatura y humedad relativa. Los tratamientos donde se observó mayor pérdida de peso fueron Neem + Chicalote (3% + 1%) y el testigo con pérdidas de peso de 5.68 y 11.54% respectivamente.

Tabla 5. Porcentaje de pérdida de peso causada por *S. zeamais* al maíz almacenado.

| Tratamiento |  | % de pérdida de peso<br>Test: Tukey | % de pérdida de peso<br>Test:K-W |
|-------------|--|-------------------------------------|----------------------------------|
|             |  | 80 días                             | 80 días                          |
| T6          | Eucalipto + Chicalote (0.5% + 1%)                    | 6.75 A                              | 4.05 A                           |
| T1          | Neem (6%)  | 8.50 A                              | 4.11 A                           |
| T3          | Chicalote (2%)                                       | 12 A B                              | 4.47 A B                         |
| T4          | Neem + Eucalipto (3% +0.5%)                          | 14.50 A B                           | 4.72 A B                         |
| T7          | Neem + Eucalipto + Chicalote<br>2% + 0.333 % + 0.66% | 18.25 A B C                         | 4.92 A B                         |
| T2          | Eucalipto (1%)                                       | 19.50 A B C                         | 5.01 A B                         |
| T5          | Neem + Chicalote (3% + 1%)                           | 22 B C                              | 5.68 A B                         |
| T8          | Testigo  | 30.50 C                             | 11.54 C                          |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ).

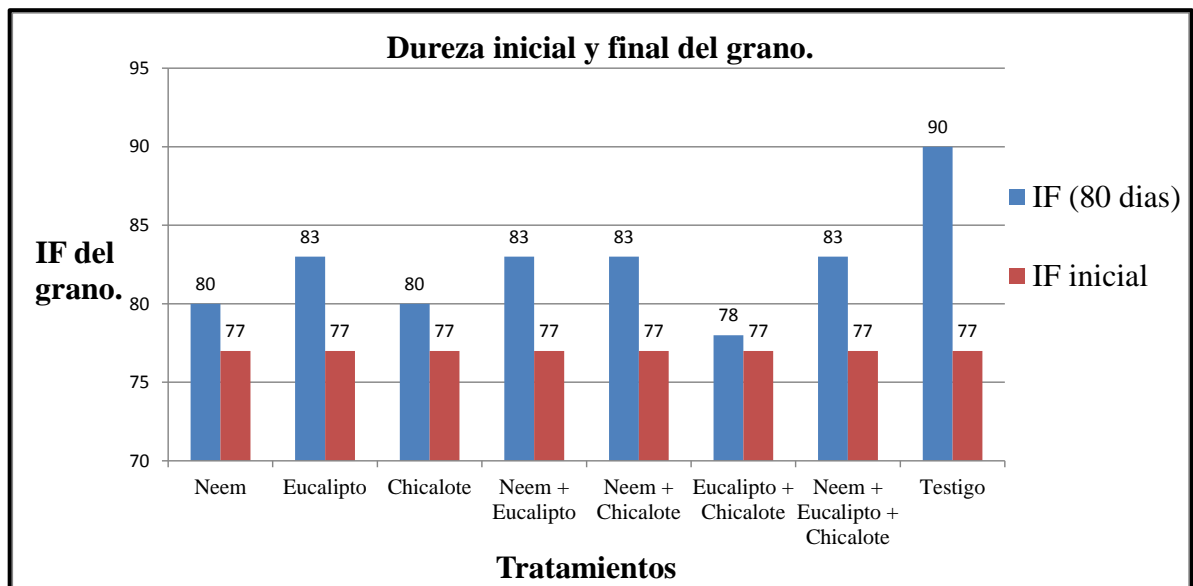
### 3.4 Dureza final del grano

El análisis de varianza detecto efecto significativo de los tratamientos sobre la dureza del grano aceptando hipótesis alternativa con un P- valor de 0.0001.

El índice de flotación representa el número de granos de maíz que flotan en una solución de nitrato de sodio a una densidad de 1.25 g mL<sup>-1</sup>. Los granos duros presentan bajos índices de flotación, mientras que los maíces suaves presentan índices altos (Aragón *et al.*, 2012). La dureza dependa particularmente de las características de esta estructura, específicamente la proporción de fracción harinosa y cristalina. A mayor porcentaje de endospermo harinoso, menor dureza de grano, y viceversa (Watson, 2003).

El maíz utilizado se considera que es un grano suave ya que al evaluar por índice de flotabilidad IF se obtuvo un IF de 77 (ver figura 16), donde se puede observar que los tratamientos que se utilizaron para la protección del grano influyen de cierta manera en la dureza o protección contra *S. zeamais*, ya que al evaluar los tratamientos con polvos vegetales presentaron un IF menor al testigo.

Figura 16. Comparación de la dureza inicial inicial y dureza final del maíz.



El análisis de comparación de medias Tukey detecto diferencia significativas entre las medias (ver tabla 6), donde se presentan tres grupos de medias siendo el mejor tratamiento Eucalipto + Chicalote presentando un IF de 80.25, siendo estadísticamente diferente del tratamiento de Neem + Chicalote y el testigo que presento un IF de 86 y 91.75 respectivamente.

Tabla 6. Índice de flotabilidad del grano bajo diferentes tratamientos.

| <b>Tratamiento</b> |   | <b>Dureza final del grano</b> |
|--------------------|---|-------------------------------|
|                    |   | <b>80 días</b>                |
| T6                 | Eucalipto + Chicalote (0.5% + 1%)                 | 80.25 A                       |
| T3                 | Chicalote (2%)                                    | 80.75 AB                      |
| T4                 | Neem + Eucalipto (3% +0.5%)                       | 81 AB                         |
| T1                 | Neem (6%)   | 81.75 AB                      |
| T7                 | Neem + Eucalipto + Chicalote 2% + 0.333 % + 0.66% | 83 AB                         |
| T2                 | Eucalipto (1%)                                    | 83.25 AB                      |
| T5                 | Neem + Chicalote (3% + 1%)                        | 86 B                          |
| T8                 | Testigo   | 91.75 C                       |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes Tukey ( $p > 0.05$ ).

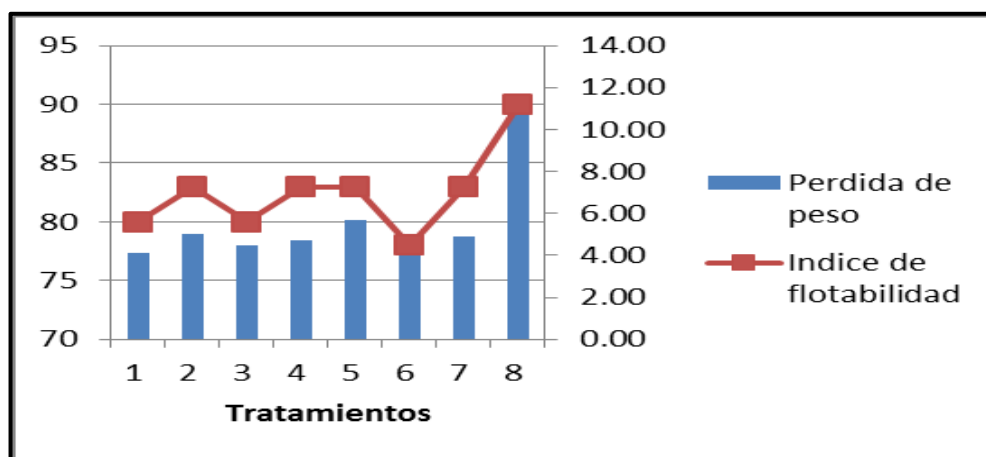
### 3.5 Relación de pérdida de peso y dureza final del grano

Para estudiar esta relación entre ambas variables dependientes, se utilizó el análisis de correlación de Spearman, se utilizó esta prueba ya que estas dos variables a correlacionar no presentaron distribución normal. La correlación de pérdida de peso y dureza es significativa ya que presentó un p-valor de 0.0002 y muestra una correlación de 0.62.

En la (figura 17) se puede observar que si hay una relación entre pérdida de peso y dureza ya que es claro en el tratamiento Neem (6%), Chicalote (2%) y Eucalipto + Chicalote (0.5% + 1%) fueron los tratamientos que sufrieron menos pérdida de peso estos mismos a su vez mostraron un IF menor a comparación de los tratamientos Eucalipto (1%), Neem + Eucalipto (3% +0.5%), Neem + Chicalote (3% + 1%) y Neem + Eucalipto + Chicalote 2% + 0.333 % + 0.66%, estos tratamientos mostraron un IF mayor. El testigo fue el tratamiento que más pérdida de peso presentó y por tanto su IF fue mayor. Se puede decir que a mayor pérdida de peso mayor IF o menor dureza del grano.

Así mismo el tratamiento Eucalipto + Chicalote (0.5% + 1%) fue el tratamiento que presentó menor IF. Por tanto se puede decir que si hay un efecto de los tratamientos al proteger el grano en relación a la dureza que estos presentan.

Figura 17. Relación de pérdida de peso e índice de flotabilidad.



### **3.6 Plantas insecticidas como alternativa sustentable de control de *S. zeamais***

El control del gorgojo del maíz de manera química es el método más utilizado para controlar a los insectos de almacén, sin embargo este método de control es muy demandante de energía y genera dependencia de los grandes monopolios que los producen. Hay otras alternativas de control como lo es el caso del control con hongos entomopatógenos pero generalmente son de acción lenta y de difícil acceso para los productores.

El uso de plantas locales con poder insecticida es una alternativa viable y amigable ya que requieren menor consumo energético y son de fácil acceso además de que con estos se puede sustituir los productos químicos y de esta manera se obtienen alimentos más sanos y se disminuye el gasto energético de la cadena. El control de *S. zeamais* con plantas locales de la región es una opción para que los productores puedan controlar este insecto y disminuir el uso de productos químicos.

El chicalote (*Argemone ochroleuca*) se puede utilizar como insecticida en forma de polvo para proteger granos en almacén, mediante la utilización de esta planta se contribuye a que la especie no se reproduzca más y de esta manera se aprovecha este recurso local que no se le da uso alguno. El eucalipto (*Eucalyptus camaldulensis*) es visto por muchos productores como un árbol que afecta los cultivos a su alrededor, sin embargo desconocen que este presenta sustancias repelentes y que puede servir para proteger sus granos en almacén. En el caso del neem hojas se les atribuyen varias propiedades dentro de ellas poder insecticida.

El tratamiento de Eucalipto + Chicalote (0.5% + 1%) en esta investigación presentó una baja mortalidad sin embargo redujo la pérdida de peso a 4.05% con respecto al testigo 11.54% y presentó una emergencia 14.583 % todo esto en condiciones no controladas de temperatura y humedad relativa, lo que se acerca más a las condiciones reales de almacenamiento, por lo que esta formulación podría ser una posible alternativa de un producto agroindustrial con una perspectiva de sustentabilidad. Pero hacen falta estudios económicos con respecto a la conveniencia de los productores, probar dosis más elevadas y evaluar si existe toxicidad alguna en el grano al aumentar las dosis.

### 3.7 Tamizaje fitoquímico de los polvos vegetales.

En la (tabla 7) se muestran los resultados del análisis fitoquímico realizado a los polvos vegetales de Neem (*Azadirachta indica* A. Juss), Eucalipto (*Eucalyptus camaldulensis*) y Chicalote (*Argemone ochroleuca*), en los cuales se puede observar cualitativamente la presencia de determinados grupos de compuestos secundarios.

Tabla 7. Identificación de grupos funcionales y metabolitos secundarios en los polvos vegetales.

| Compuesto                              | Planta                                       |  |   |
|--|--|--|---|
|  | Neem<br><i>Azadirachta indica</i><br>A. Juss | Eucalipto<br><i>Eucalyptus camaldulensis</i> | Chicalote<br><i>Argemone ochroleuca</i> |
| Alcaloides                             | ++   | +  | ++                                      |
| Cumarinas                              | -  | +  | -                                       |
| Saponinas                              | +  | -  | -                                       |
| Colesterol                             | -  | +++  | +                                       |
| Flavonoides                            | +  | ++   | -                                       |
| a) HCl + Mg                            | -  | ++   | -                                       |
| b) H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> + Mg | -  | ++   | -                                       |
| Insaturaciones                         | -  | -  | -                                       |
| Triterpenos                            | ++   | -  | +                                       |
| Esteroides                             | +  | +++  | -                                       |

LEYENDA:  
 + + +: Presencia cuantiosa. + +: Presencia notable. +: Presencia leve.  
 - : Ausencia.

#### 3.7.1 Metabolitos secundarios identificados en Neem

En las pruebas fitoquímicas realizadas al polvo vegetal de *A. indica* se identificaron los siguientes metabolitos secundarios: Alcaloides, saponinas, triterpenos y esteroides.

Harborne *et al.*, (2001), mencionan que el 40% de las plantas producen alcaloides, esto coincide con la prueba fitoquímica ya que en el polvo de neem se encontró la presencia de alcaloides.

La presencia de saponinas se considera contenido bajo y esto coincide con lo reportado por García *et al.*, 2006).

Los principales compuestos que han sido aislados del neem son triterpenos y tetranortriterpenoide como ejemplo de ellos es la azadiractina y limonoides entre otros. (López *et al.*, 2007). En este trabajo se confirmó la presencia de triterpenos.

### **3.7.2 Metabolitos secundarios identificados en eucalipto**

En las pruebas fitoquímicas realizadas al polvo vegetal de eucalipto se identificaron los siguientes metabolitos secundarios: Alcaloides, cumarinas, flavonoides, colesterol y esteroides.

La presencia de alcaloides y cumarinas fue mínima. Mientras que la presencia de esteroides fue abundante. Esto coincide con lo reportado por (Caldas, 2012).

La presencia de flavonoides fue abundante. Se obtuvo un resultado similar en el estudio fitoquímico del extracto fluido de *Eucalyptus citriodora* ya que igual reporta abundancia en compuestos flavonoides (Naranjo *et al.*, 2009).

### **3.7.3 Metabolitos secundarios identificados en chicalote.**

El análisis fitoquímico evidenció la posible presencia de alcaloides, lo que es muy común en la familia de las papaveráceas (Singh *et al.*, 2010). También se encontró resultados positivos para colesterol y triterpenos (ver tabla 7).

Sin embargo se conocen pocos reportes acerca del estudio químico de la especie *Argemone ochroleuca*. Se han identificado ácidos grasos (Fletcher *et al.*, 1993) y diversos alcaloides, tales como: Sanguinarina, queleritrina, protopina, berberina, dihidrosanguinarina, dihidroqueleritrina,  $\alpha$ -allocriptopina, heleritrina, queilantifolina, scoulettrina, reticulina y coptisina (Haisova y Slavik, 1973; Chelombit'ko y Nazarova, 1988; Takken y col., 1993).

#### 4. CONCLUSIONES

1. Los tratamientos a base de Neem (*Azadirachta indica* A. Juss), Eucalipto (*Eucalyptus camaldulensis*) y Chicalote (*Argemone ochroleuca*) en forma de polvo no presentaron mortalidades significativas en el control del gorgojo de maíz (*Sitophilus zeamais* MOTSCHULSKY) en las condiciones no controladas dentro del experimento.
2. El tratamiento a base de Eucalipto + Chicalote (0.5% + 1%), fue el mejor tratamiento sobre la mortalidad, presentando 31.25% de mortalidad de *S. zeamais*.
3. El tratamiento de Eucalipto + Chicalote (0.5% + 1%) actúa matando a los gorgojos de una forma más afectiva, lo que se evidencia con la pérdida de peso del grano, el cual presentó una pérdida baja equivalente a 4.05 % con respecto al testigo, que fue de 11.54%.
4. Los tratamientos probados en este experimento lograron controlar la emergencia teniendo valores por debajo de 50%, lo que los hace promisorios para controlar a *S. zeamais*.
5. Existe una relación significativa (de 0.62 usando la correlación de Spearman) entre la pérdida de peso y dureza del grano, lo que significa que a mayor proporción de pérdida de peso, se presenta menor dureza.
6. La formulación a base de Eucalipto + Chicalote (0.5% + 1%) es una buena alternativa de un producto agroindustrial con una perspectiva de sustentabilidad ya que redujo la pérdida de peso y presentó una baja emergencia con respecto al testigo todo esto en condiciones no controladas (temperatura y humedad relativa).
7. Los posibles compuestos repelentes e insecticidas de neem son triterpenicos, de eucalipto son los flavonoides y de chicalote los alcaloides, ya que son los que se encontraron en mayor presencia al realizar el estudio fitoquímico cualitativo.

## 5. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda a próximos investigadores hacer pruebas de campo con mayores cantidades de grano y en condiciones reales de almacenamiento, para verificar la efectividad del tratamiento de Eucalipto + Chicalote (0.5% + 1%).
2. Se propone realizar estudios de factibilidad de costos de un posible producto agroindustrial a base de Eucalipto + Chicalote (0.5% + 1%).
3. Continuar con los estudios de control de *S. zeamaís* mediante el uso de insecticidas naturales e investigar cuales son los compuestos que generan la actividad insecticida o insectistático sobre *S. zeamaís*.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

- Abbott, W.A. 1925. A method for computing the effectiveness of an insecticide. J. Econ. Entomol. 18:265.
- Adane, K., Moore, D. and S.A Archer. 1996. Preliminary studies on the use of *Beauveria bassiana* to control *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae) in the laboratory Journal of Stored Products Research Vol.32 (2):105-113.
- Alabadan, B.A. y Oyewo O.A. 2005. Temperature Variations within Wooden and Metal Grain Silos in the Tropics During Storage of Maize (*Zea mays*), Leonardo Journal of Sciences: 6(1), 59-67.
- Alcalá, D., Marcano, A. y Morales, M. 1999. Patogenicidad de *Beauveria bassiana* y *Paecilomyces fumosoroseus* sobre adultos del picudo de la batata *Cylas formicarius elegantulus* Summers (Curculionidae) Rev. Fac. Agron. (LUZ). 16: 52-63.
- Anderson, B. L. and L.C. Leslie. 1991. Suppression of *Ostrinia nubilalis* (Hübner) (Lepidoptera: Pyralidae) by Endophytic *Beauveria bassiana* (Balsamo) Vuillemin Environmental Entomology Vol. 20 (4): 1207-1211.
- Ávalos, A. y Pérez U. E. 2009. Metabolismo secundario de plantas. España. Reduca (biología). Serie Fisiología Vegetal. 9(2):119-145.
- Bacopulos, M. E. 2003. Tesis maestría control de *Sitophilus zeamais* Motschulsky en almacenes con aplicación de clorpirifos metil, deltametrina y su efecto en la calidad de semilla de maiz. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila. 121p.
- Báez, R. I. 2010. Evaluación de plantas medicinales con potencial en el control biológico del vector transmisor del dengue *Aedes aegypti*. Tesis de Maestría Centro de Investigación en Biotecnologías Aplicada IPN. Tepetitla Tlaxcala.
- Becerra, V. P., M. Rojo, C y A. France. 2007. RAPDEITS detectan variación molecular en poblaciones chilenas de *Beauveria bassiana* Agricultura técnica (Chile) 67(2):115-125.

- BenJannet, H., F. H. Skhiri, Z. Mighri, M.S.J. Simmonds and W.M. Blaney, 2001. Antifeedant activity of plant extracts and of new natural diglyceride compounds isolated from *Ajuga pseudoiva* leaves against *Spodoptera littoralis*. *Ind. Crops Prod.*, 14: 213-222.
- Bond, E.J. 1973. Chemical control of stored grain. Insects and mites. Grain storage part of a system. Sinha Muir. The avi publishing co. U.S.A. 875 p.
- Brunett P. L., García, H. L. A., González E. C. E., León G. F. y Climent B. J. 2006. La Agroecología como paradigma para el diseño de la agricultura sustentable y metodologías para su evaluación. *Sociedades rurales, Producción y Medio Ambiente* (6) 12, 83-109.
- Cáceres. A. 1996. Plantas de uso medicinal en Guatemala. Guatemala, Editorial Universitaria. 402 p. (Colección Monografías Vo. Y No. 1)
- Carlini, C. R. and Grossi-de Sa, M. F. 2002. Plant toxic proteins with insecticidal properties. A review on their potentialities as bioinsecticidas toxicon. 40: 1515-1539.
- Carmona A. J., Gil. O. R. y Rodríguez A. 2008. Descripción taxonómica, morfológica y etnobotánica de 26 hierbas comunes que crecen en la ciudad de Mérida-Venezuela. *Boletín Antropológico* 73: 113-12.
- Castillo C.G., M. Montante, L. Dufort, L. M. Martínez and M.E. Jiménez, 2002. "Behavioral effects of exposure to endosulfan and methyl parathion in adult rats". *Neurotoxiol. Teratol.*, 24(6): 797-804.
- Castillo, H. V. 2014. Evaluacion de la cal viva y *Beauveria bassiana* para el manejo del gorgojo del maiz (*Sitophilus zeamais* Motschulsky) en condiciones de laboratorio. Tesis de licenciatura. Unidad Regional Acatzingo. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.
- Cerecer M. J., Santos E. y Crabbe P. 1974. Identificación de eucaliptina en hojas de *Eucalyptus citriodora*. *Rev. Soc. Quim. Mex.* 18(6):269-270.

- Chelombit'ko y Nazarova, L.E. 1988. Alkaloids from several *Argemone* species (*A. ochroleuca*, *A. albiflora*, *A. platyceras*). *Khimiko-Farmatsevticheskii Zhurnal*. 22: 580-585.
- CIMMYT. 2016. Calidad de grano para técnicos postcosecha. Consultado: [23 de enero 2017]. Disponible en: [http://conservacion.cimmyt.org/en/component/docman/doc\\_view/2022-calidad-de-grano-para-tecnicos-postcosecha](http://conservacion.cimmyt.org/en/component/docman/doc_view/2022-calidad-de-grano-para-tecnicos-postcosecha).
- Cruz, F. M. y R. del Angel S. 2004. El árbol de Nim. Establecimiento y Aprovechamiento en la Huasteca Huichihuayapan y Campo Experimental Ebano. Folleto Técnico Núm. 3. San Luis Potosí, México. 23 p.
- Cruz, F. M. 1998. Dinámica de la azadiractina en arboles de nim (*Azadirachta indica* A. Juss) de México y su efecto contra dos insectos de almacén. Tesis de Doctorado. UANL. Facultad de Agronomía. 73 p.
- Cuevas S. M. I. y Romero N. C. A. 2006. Insecticidas naturales para el control de la principal plaga de maíz, frijol y garbanzo almacenados. En: *Revista Investigación Agropecuario* 2008. 5(2): 117-126.
- Díaz. V. G. E. 1985. Actividad de aceites vegetales para proteger maiz almacenado contra el gorgojo *Sitophilus zeamais* Motschulsky (coleóptera: Cuculionidae). Tesis Magister en Ciencias. Instituto de Fitosanidad. Colegio de Posgraduados. Montecillo. Texcoco. México.
- Feng, M.G. and J.B. Johnson. 1990 Relative Virulence of Six Isolates of *Beauveria bassiana* on *Diuraphis noxia* (Homoptera: Aphididae) *Environmental Entomology* Vol.19 (3):785-790.
- Fernández L. O. 2001. Tecnologías para la producción de biopesticidas a base de hongos entomopatógenos y su control de la calidad. *Current Science*, Vol. 81 (6).
- Fletcher, M.T., Takken, G., Blaney, B.J., Alberts V. 1993. Isoquinoline alkaloids and keto-fatty acids of *Argemone ochroleuca* and *A. Mexicana* (Mexican Poppy) Seed. *Aust. J. Agric. Res.* 44: 265-275.

- Fuxa, J. R. 1992. Impact of the release of entomopathogens in the environment. *Pesq. Agropec. Bras. Brasília* 27 S/N:349-369.
- García, L. S., C. Espinosa Carrillo y D.J. Bergvinson. 2007. Manual de plagas en granos almacenados y tecnologías alternas para su manejo y control. México, D.F.: CIMMYT.
- García, 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 de Iztapalapa. México.
- García, P.D. E. 2009. Evaluación de insecticidas de cuatro grupos toxicológicos para el control de *Sitophilus zeamais* Motschulsky. Tesis de licenciatura. UAAAN. Saltillo Coahuila. Mexico.
- Gutiérrez, D. L. J. 1990. Insectos que infestan los granos y productos almacenados (listado de especies reportadas a nivel mundial). *Soc. Mex. Ent. Edic. Mex. Postcosecha*. 46 p.
- Gutiérrez, D. L. J. 1992. Pérdida por manejo en maíz durante la cosecha y su relación con la dispersión de las plagas de poscosecha. Informe técnico, campo experimental, CIR. CENTRO, SARH-INIFAP. PP. 13-17.
- Haisova, K. and Slavik, J. 1973. Alkaloids of the Papaveraceae. II. Alkaloids from *Argemone ochroleuca*. *Collect. Czech. Chem. Commun.* 38: 2307-2312.
- Halstead, D.G.H. 1963. "External sex differences in stored products coleopteran". *Bull. Entomol. Res.*, 54: 119-134.
- Hernández, H. E. 2005. Influencia de la *L-alfa lisofosfatidilcolina* sobre las propiedades térmicas y estructurales del almidón de maíz nativo. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. 02-43p.
- Honduras Silvestre [en línea]. Honduras: Educación Helvética S.A., Base de Datos, Honduras Silvestre, Versión 3.0, div. Animalia & Plantae, 1/8/2012. [Consulta: 9/2/2018].

- Horn, D. H. S., Kranz Z. H. and Lamberton J. A. (1964). Composition of *Eucalyptus* and some other leaf waxes. Aust. J. Chem. 17(4): 464-476.
- Hoseney, R. C. y Faubion, J.M. 1992. Physical properties of cereal grains. In: Sauer DB editor. Storage of cereal grains and their products. St. Paul MN. USA: Am. ASSOC. Cereal Chem., pp. 1-38.
- Huberman, L. 1976. Análisis y crítica del capitalismo. Consultado en: Mayo 20, 2018. De Ediciones Martínez Roca. Sitio web: <https://omegalfa.es/downloadfile.php?file=libros/analisis.y.critica.del.capitalismo.pdf>.
- Iannacone, J. y G. Lamas. 2003. Efectos toxicológicos de extractos de molle (*Schinus molle*) y lantana (*Lantana camara*) sobre *Chrysoperla externa* (Neuroptera: Chrysopidae), *Trichogramma pintoii* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) y *Copidosoma koehleri* (Hymenoptera: Encyrtidae), en el Perú. Agri. Tec. 63: 347-360.
- Jiménez, L. 2015. Determinación de la susceptibilidad de *Sitophilus zeamais* (Motschulsky) con los hongos Entomopatógenos *Beauveria bassiana* (Vuillemin) y *Lecanicillium lecanii* (Zimmerman) en condiciones de laboratorio. Saltillo, Coahuila, México.
- Judenko, E. 1973. Analytical Methods for Assessing Yield Losses Caused by Pests on Cereal Crops with and without Pesticide. Tropical Bulletin No. 2. Center for Overseas Pest Research, UK, 31 p.
- Koolman, J., H.J. Bidmon, M. Lehmann and G. Kauser, 1998. One the mode of action of azadirachtin in blowfly larvae and pupae. Endocrinological Frontiers in Physiological Insect Ecology, 1: 55-67.
- Lagunes, T. A. y Rodríguez, C. 1989. Búsqueda de tecnología apropiada para el combate de plagas del maíz almacenado en condiciones rústicas. Montecillo, México: CONACYT/Colegio de Postgraduados. 150 pp.

- Lagunes, T. A. 1985. Perspectivas en el uso de insecticidas agrícolas en México. En temas selectos sobre manejo de insecticidas agrícolas Volumen 1. Centro de entomología y acarología, Chapingo, México. PP.: 1-20.
- Lagunes, A. 1994. Extractos, polvos vegetales, y polvos minerales para el combate de plagas del maíz y del frijol en la agricultura de subsistencia. Colegio de Postgraduados/USAID/CONACYT/ BORUCONSA. México. 35 p.
- Lamberton, J. A. 1964. The occurrence of 5-hidroxi-4',7-dimetoxi-6-metilflavone in Eucalyptus waxes. Aust. J. Chem. 17(6): 692-696.
- Latouche, S. (2006). La Apuesta por el Decrecimiento. El infierno del crecimiento. Barcelona: España.
- Leonard, D. 1981. Cultivos tradicionales. (Traducción al Español). Disponible en: [ftp://ftp3.us.freebsd.org/pub/misc/cd3wd/1005/\\_ag\\_tradit\\_cultivation\\_es\\_pc\\_lp\\_117\\_230\\_.pdf](ftp://ftp3.us.freebsd.org/pub/misc/cd3wd/1005/_ag_tradit_cultivation_es_pc_lp_117_230_.pdf).
- Leng, P., Zhang, Z., Pan G. and Zhao, M. 2011. Applications and development trends in biopesticides. African Journal of Biotechnology. 10(86): 19864-19873.
- López, P. Y., Angulo E. M., Martínez R. C., Soto B. J. y Chaidez Q. C. 2007. "Efecto antimicrobiano de extractos crudos de Neem (*Azadirachta indica* A. Juss) y venadillo (*Swietenia humilis* Zucc) contra *E. coli*, *S. aureus* y el bacteriófago P22" Bioquímica 32 (4): 117-125.
- Lucero, A.M., Peña, LA., Curtid, L. y Bolaños, M.A. 2006. Manejo integrado de chisas en fincas de minifundio del departamento de Nariño (Colombia) Revista Corpoica – Ciencia y Tecnología Agropecuaria 7(1): 70-72.
- Maher, Maherjos, herpepeson y José, M. (29 de Jul de 2012). *Anisopteromalus calandrae* [fotografía]. Recuperado de: <http://hisbase.com/galeria/displayimage.php?album=1951&pos=305>.
- Medrano, G.M. I. 2000. Evaluación de tres productos orgánicos par el control de gorgojo del maíz *sitophilus zeamais* en granos almacenados en el municipio de

Chiquimula, departamento de Chiquimula. Tesis de licenciatura. Universidad de San Carlos de Guatemala. Chiquimula, Guatemala.

National Research Council. (1992). *Neem: A tree for solving global problems*. Ed. National Academic Press. Washington D.C. 141 p.

NSW. Agricultura. (2 de junio de 2016). Illustration of Rice weevil. [Fotografía]. Recuperado de <https://www.dpi.nsw.gov.au/about-us/services/collections/scientific-illustrations/zeck/beetles-order-coleoptera/rice-weevil>.

Obeng, O. y Amiteye 2005. Efficacy of mixing vegetable oils with primiphos-methyl against the maize weevil, *Sitophilus zeamais*. Motschulsky in stored maize. *J. Stored Prod. Res.* 41: 57-66.

Okelana, F.A. and Osuji, F.N.C. 1985. Influence of relative humidity at 30°C on the oviposition, development and mortality of *Sitophilus zeamais* Motsch. (coleóptera: Cuculionidae) in maize kernels. *Journal of stored products research*, 21: 13-19.

Orozco, S. F, y Rodríguez, M. M. (2007). Cultivos de células en suspensión de *Azadirachta indica* para la producción de un bioinsecticida. *Revista mexicana de ingeniería química*, 6(3), 251-258. Recuperado en 19 de mayo de 2018, de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1665273820070003004 &lng =es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1665273820070003004&lng=es&tlng=es).

Pandey, S. 1998. Maize seed industries in developing. In: Morris ML editor. *Varietal development conventional plant breeding*. Colorado: Rienner y CIMMYT. 401.

Dewick, M. P. (2002). *Medicinal Natural Products: A Biosynthetic Approach*. USA: 2nd Ed., John Wiley and Sons, Ltd.

Pérez, B. T., Aragón G. A., Aragón S. M., López Olguín J. F., 2015 *Metodología para la reproducción de insectos en laboratorio*. Puebla: Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.

Pérez, A. 1995 *Utilización de planta en el control de plagas y enfermedades en los cultivos*. Chiquimula, Guía. Centro de Educación Popular El tule. Pp. 4.

- Pingali, P. L. and Pandey, S. 2001. World maize needs meeting: Technological opportunities and priorities for the public sector. In: Pingali, P. L. (ed.). CIMMYT 1999-2000. World maize facts and trends. meeting world maize needs: Technological opportunities and priorities for the public sector. Centro Internacional para el Mejoramiento de Maíz y Trigo. El Batán, Estado de México, México.
- Pizarro, D. D. L. 2007. Polvos, aceites esenciales y extractos de *Peumus boldus* Molina para el control de *Sitophilus zeamais* Motschulsky en laboratorio. Tesis de maestria , chillán, Chile.
- Poprawski, T., Riba, G., Jones, W. and A. Ajoun. 1988. Variation in Isoesterase Profiles of Geographical Populations of *Beauveria bassiana* (Deuteromycotina: Hyphomycetes) Isolated from Sitona Weevils (Coleoptera: Curculionidae) Environmental Entomology Vol. 17 (2): 275-279.
- Real Academia Española. (2018). Diccionario de la lengua española (23.aed.). Consultado en: <http://dle.rae.es/?id=PsGiidK>.
- Raffauf, R. R. 1970. A handbook of alkaloids and alkaloid containing plants. John Wiley and Sons Inc. USA. 453 p.
- Ramírez, G. M. 1987. Almacenamiento y conservación de granos y semillas. Ed. CECSA, México.
- Ramírez, G.M. 1966. Almacenamiento y conservación de granos y semillas. Ed. CECSA, México. 300p.
- Ramírez, M. M. 1990. Biología y hábitos de insectos de granos almacenados curso sobre insectos de granos y semillas de almacen. Aguascalientes, Ags. México. 1-51.
- Ramírez, M.M., 1981. "Insectos y almacenamiento de granos". Naturaleza, México 12(2): 92-102.
- Restrepo, M. J., Angel S. D. I. y Prager M. M. 2000. Agroecología. Consultado en: Mayo 20, 2018. De Centro para el Desarrollo Agropecuario y Forestal, Inc. (CEDAF). Sitio web: [http://www.fao.org/fileadmin/user\\_upload/training\\_material/docs/Agroecologia.pdf](http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/training_material/docs/Agroecologia.pdf).

- Reyes, C.P. 1990. El maíz y su cultivo. 1ra ed. México, DF: AGT Editor S.A.
- Robutti, J., F. Borrás, M. Ferrer, M. Percibaldi, and C. A. Knutson. 2000. "Evaluation of Quality Factors in Argentine Maize Races." *Cereal Chemistry* 77: 24–26.
- Rosas, M. I., Muñoz, G. A., Valverde, R. B., Salgado, H. J. y Bellon, M. (2007). Calidad física y fisiológica de semilla de maíz criollo almacenada en silo metálico y con métodos tradicionales en Oaxaca, México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 30(1).
- Royal Botanic Gardens. (2006). Neem. Plant Cultures, exploring plant and people. Royal Garden Botanics, Kew. Disponible en internet: [http://www.plantcultures.org.uk/plants/neem\\_landing.html](http://www.plantcultures.org.uk/plants/neem_landing.html). Consultado el 21 de diciembre de 2017.
- Salinas, M. Y., Gómez, M. N. N. O., Cervantes, M. J. E, Sierra, M. M., Palafox, C. A., Betanzos, M. E., y Coutiño, E. B. 2010. "Calidad Nixtamalera y Tortillera En Maíces Del Trópico Húmedo y Sub-Húmedo de México." *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 1 (4): 509–23.
- Salinas, M. Y. y Vázquez, C. G. 2006. "Metodologías de Análisis de Calidad Nixtamalera-Tortillera En Maíz." 24. Folleto Técnico. Chapingo, Edo. de México.
- Sarh. 1980. Principales plagas de granos almacenados. Dirección General de Sanidad Vegetal. México. 74 pp.
- Schneider, F., Kallis, G. y Martínez-Alier, J. 2010. ¿Crisis or opportunity? Economic degrowth for social equity and ecological sustainability», Special issue, *Journal of Cleaner Production*, 18(6), pp. 511-518.
- Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA). 2011. Listado de plaguicidas de uso agrícola. Dirección General de Inocuidad Agroalimentaria, Acuicola y Pesquera.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2015). Consultado 10-02-2018 en <http://www.siap.sagarpa.gob.mx/>.

- Silva Aguayo, G., & González Gómez, P., & Hepp Gallo, R., & Casals Bustos, P. (2004). Control de *Sitophilus zeamais* Motschulsky con polvos inertes. *Agrociencia*, 38 (5), 529-536.
- Silva Aguayo, G., & Hepp Gallo, R., & Tapia Vargas, M., & Casals Bustos, P., & Bustos Figueroa, G., & Osses Ruiz, F. (2006). Evaluación de boldo (*Peumus boldus*) y cal para el control de *Sitophilus zeamais* Motschulsky. *Agrociencia*, 40 (2), 219-228.
- Singh, A., Singh, D.K., Mishra, T.N., Agarwal, R.A. 1996. Molluscicides of plant origin. *Biol. Agri. Horti*. 13: 205–252.
- Singh, M. B. and Jain, D. C. 1987. Relative toxicity of various organic solvents generally used in screening plant product for insecticidal activity against house fly (*Musca domestica* L.). *Ind. J. Exp. Biol.* 25: 560-570.
- Tovar, B. T. 2008. Caracterización morfológica y térmica del almidón de maíz (*Zea mays* L) obtenido por diferentes métodos de aislamiento. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Pachuca de Soto, Hidalgo.
- Throne, J. E. and Lord, J. C. 2004. Control of Sawtoothed Grain Beetles (Coleoptera: Silvanidae) in Stored Oats by Using an Entomopathogenic Fungus in Conjunction with Seed Resistance *J. Econ. Entomol.* 97(5): 1765-1771.
- Valladares, C. 2010. Taxonomía y Botánica de los cultivos de Grano. La Ceiba: Universidad Autónoma de Honduras.
- Véles, M. J. J. 2004. “Caracterización de Tostadas Elaboradas Con Maíces Pigmentados Y Diferentes Métodos de Nixtamalización.” CICATA-Instituto Politécnico Nacional.
- Williams, R. N. and E. H. Floyd. 1970. Flight habits of the maize weevil *Sitophilus zeamais*. *J. Ecob. Entomol.* 63(5): 1585-1588.