



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO DE FITOSANIDAD

ENTOMOLOGÍA Y ACAROLOGÍA

TAMAÑOS DE PARTÍCULAS DE SEMILLAS DE NIM (*Azadirachta indica*), SU MEZCLA CON POLVOS MINERALES Y SU TOXICIDAD EN EL GORGOJO DEL MAÍZ (*Sitophilus zeamais*)

LUCERO CONTRERAS PÉREZ

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRA EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, ESTADO DE MÉXICO

2019

CARTA DE CONSENTIMIENTO DE USO DE LOS DERECHOS DE AUTOR Y DE LAS REGALIAS COMERCIALES DE PRODUCTOS DE INVESTIGACION

En adición al beneficio ético, moral y académico que he obtenido durante mis estudios en el Colegio de Postgraduados, el que suscribe Lucero Contreras Pérez, Alumno (a) de esta Institución, estoy de acuerdo en ser participe de las regalías económicas y/o académicas, de procedencia nacional e internacional, que se deriven del trabajo de investigación que realicé en esta institución, bajo la dirección del Profesor Dr. Ángel Lagunes Tejeda, por lo que otorgo los derechos de autor de mi tesis TAMAÑOS DE PARTÍCULAS DE SEMILLAS DE NIM (Azadirachta indica), SU MEZCLA CON POLVOS MINERALES Y SU TOXICIDAD EN EL GORGOJO DEL MAÍZ (Sitophilus zeamais)

y de los productos de dicha investigación al Colegio de Postgraduados. Las patentes y secretos industriales que se puedan derivar serán registrados a nombre del colegio de Postgraduados y las regalías económicas que se deriven serán distribuidas entre la Institución, El Consejero o Director de Tesis y el que suscribe, de acuerdo a las negociaciones entre las tres partes, por ello me comprometo a no realizar ninguna acción que dañe el proceso de explotación comercial de dichos productos a favor de esta Institución.

Montecillo, Mpio. de Texcoco, Edo. de México, a 27 de Febrero de 2019



Firma del
Alumno (a)



Dr. Ángel Lagunes Tejeda
Vo. Bo. del Consejero o Director de Tesis

La presente tesis titulada: "TAMAÑOS DE PARTÍCULAS DE SEMILLAS DE NIM (*Azadirachta indica*), SU MEZCLA CON POLVOS MINERALES Y SU TOXICIDAD EN EL GORGOJO DEL MAÍZ (*Sitophilus zeamais*)", realizada por la alumna: Lucero Contreras Pérez, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS
FITOSANIDAD
ENTOMOLOGÍA Y ACAROLOGÍA

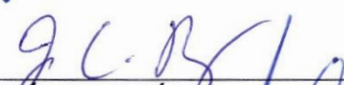
CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO



DR. ÁNGEL LAGUNES TEJEDA

ASESOR



DR. J. CONCEPCION RODRÍGUEZ MACIEL

ASESOR



DR. GONZALO IVÁN SILVA AGUAYO

Montecillo, Texcoco, Estado de México, marzo de 2019

**TAMAÑOS DE PARTÍCULAS DE SEMILLAS DE NIM (*Azadirachta indica*), SU
MEZCLA CON POLVOS MINERALES Y SU TOXICIDAD EN EL GORGOJO DEL
MAÍZ (*Sitophilus zeamais*)**

Lucero Contreras Pérez, M. en C.

Colegio de Postgraduados, 2019

RESUMEN

Los insectos que normalmente atacan granos almacenados pertenecen a los ordenes Lepidoptera y Coleoptera. Dentro de este último orden se encuentra el gorgojo del maíz, *Sitophilus zeamais* Motschulsky, una especie de insecto que puede provocar hasta 90 % de daño a los granos de maíz almacenado. En este estudio se evaluó la toxicidad de semillas secas pulverizadas de nim, *Azadirachta indica* A. Juss, con tamaños de diámetro de partícula pequeño (<0.25 mm), mediano (0.25-0.85 mm) y grande (0.85-1.6 mm), de polvos minerales (carbonato de calcio, hidróxido de calcio y puzolana) solos y en mezcla con polvo de semillas de nim (tamaño de partícula pequeño) a las concentraciones de 1, 3 y 8 % sobre *S. zeamais*. Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con cuatro repeticiones. En frascos de cristal de 250 mL de capacidad se agregaron 100 g de maíz cacahuacintle y se mezclaron con 1 g de polvo del tratamiento respectivo. Posteriormente, se adicionaron 10 parejas de *S. zeamais* (< 7 d de edad). A los 15 días de exposición al tratamiento se evaluó el porcentaje de mortalidad y se descartaron todos los insectos de la unidad experimental, quedando solo las oviposturas. A los 55 días de haber aplicado los tratamientos, se evaluó el porcentaje de reducción de la emergencia de adultos de la F1 respecto al testigo sin tratar y el porcentaje de reducción de pérdida

de peso del grano. A medida que decreció el tamaño de partícula de la semilla de nim, su toxicidad contra el gorgojo del maíz aumentó. Hubo una correlación positiva entre la concentración de nim y la mortalidad. El hidróxido de calcio al 8 % causó 95.8 % de mortalidad. En cuanto a porcentaje de reducción de la emergencia de insectos adultos de la F1, se obtuvieron mejores resultados con puzolana al 3 % con 98 %. La mezcla de hidróxido de calcio (1:1) ocasionó una mortalidad de 98.7 %.

Palabras clave: gorgojo del maíz, *Sitophilus zeamais*, tamaños de partículas, nim, *Azadirachta indica*, polvos minerales.

**PARTICLE SIZES OF NEEM SEEDS (*Azadirachta indica*), THEIR MIXTURE WITH
MINERAL POWDERS AND THEIR TOXICITY IN MAIZE WEEVIL (*Sitophilus
zeamais*)**

Lucero Contreras Pérez, M. en C

Colegio de Postgraduados, 2019

ABSTRACT

The insects that normally attack stored grains belong to the orders lepidoptera and coleoptera. Within this last order the maize weevil, *Sitophilus zeamais* Motschulsky, is a species of insect that can cause up to 90 % damage to the stored maize grains. This study evaluated the toxicity of dry pulverized seeds of Neem, *Azadirachta indica* A. Juss, with sizes of small particle diameter (< 0.25 mm), medium (0.25-0.85 mm) and large (0.85-1.6 mm), of mineral powders (calcium carbonate, calcium hydroxide and pozzolan) alone and in mixture with Neem seed powder (small particle size) to concentrations of 1, 3 and 8 % against *S. zeamais*. A completely randomized experimental design was used with four replicates. In glass jars of 250 mL of capacity, 100 g of cacahuacintle maize were added and mixed with 1 g of powder from the respective treatment. Subsequently, 10 pairs of *S. zeamais* (<7 D of age) were added. After 15 days of exposure to the treatment, the percentage of mortality was assessed and all the insects of the experimental unit were ruled out, leaving only the ovipositions. At 55 days after the treatments were applied, the percentage of adult emergency reduction of F1 compared to the untreated control and the percentage of weight loss reduction of the grain were assessed. As the particle size of Neem's seed decreased, its toxicity against the maize

weevil increased. There was a positive correlation between the concentration of neem and mortality. Calcium hydroxide at 8 % caused 95.8 % mortality. In terms of the percentage of emergency reduction of adult insects in F1, better results were obtained with pozzolan at 3 % with 98 %. The calcium hydroxide mixture (1:1) caused a mortality of 98.7 %.

Key words: Maize weevil, *Sitophilus zeamais*, particle sizes, nim, *Azadirachta indica*, mineral powders.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación se realizó con el apoyo del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT)

Al Colegio de Postgraduados por brindarme la oportunidad de continuar con mi formación profesional

A los investigadores de mi consejo particular: Dr. J. Concepción Rodríguez Maciel y Dr. Gonzalo Iván Silva Aguayo por su paciencia y colaboraciones, al Dr. Ángel Lagunes Tejeda principal colaborador quien con su conocimiento, dirección y colaboración hizo posible el desarrollo de este proyecto.

Al Dr. Juan José Escobar Aguayo por compartir sus conocimientos y todo su apoyo.

A todos mis amigos que me ayudaron de manera desinteresada y de buena voluntad, y compartí maravillosos momentos.

DEDICATORIA

A mis padres **José Contreras Flores** y **María del Carmen Pérez Méndez** por todo su apoyo incondicional, amor, confianza, esfuerzo, por sus consejos que hicieron de mí una mejor persona y por sus valores inculcados.

A mis hermanos **José Luis** y **Brenda** por su amor y apoyo en todo momento.

A la profesora **Sofía Minerva Gómez** y **Emmanuel Víctor** a quienes estimo tanto, agradezco por todo su apoyo incondicional durante este proyecto y en la vida.

A **José Mauricio** y **Jaime** con los que he compartido grandes momentos y por todo su apoyo incondicional.

A mis amigos por todos los bonitos momentos que pasamos y por su ayuda **Luis, Ricardo, Marta, Oscar Daniel, Rosendo** y **Filemón**.

CONTENIDO

	Páginas
RESUMEN	iv
ABSTRACT	vi
LISTA DE FIGURAS	xii
LISTA DE CUADROS	xiii
INTRODUCCIÓN GENERAL	1
OBJETIVOS	8
General	8
Específicos	8
HIPÓTESIS	8
LITERATURA CITADA	9
CAPÍTULO 1. EVALUACIÓN DE LA TOXICIDAD DE POLVOS MINERALES Y SEMILLAS DE NIM CONTRA EL GORGOJO DEL MAÍZ, <i>Sitophilus zeamais</i> Motschulsky	14
RESUMEN	14
ABSTRACT	15
1.1 INTRODUCCIÓN	16
1.2 MATERIALES Y MÉTODOS	18
1.2.1 Localización del área de estudio	18
1.2.2 Población de insectos	18
1.2.3 Polvo de semilla de nim	19
1.2.4 Polvos inertes	20
1.2.5 Mezcla de polvo de nim con polvos minerales	20

1.2.6 Bioensayos.....	20
1.2.7 Diseño experimental y análisis estadístico.....	21
1.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	22
1.3.1 Tamaño de partícula	22
1.3.2 Polvo de semilla de nim al 1, 3 y 8 %.....	23
1.3.3 Polvos minerales solos al 1, 3 y 8 %.....	24
1.3.4 Polvos minerales en mezcla con nim	25
1.4 CONCLUSIONES.....	26
1.5 AGRADECIMIENTOS	26
1.6 CUADROS	27
1.7 FIGURAS	31
1.8 LITERATURA CITADA.....	33
CONCLUSIONES GENERALES	36

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Tamaños de partícula de polvo de semilla de nim: chica (<0.25 mm)... 31

Figura 2. Tamaños de partícula de polvo de semilla de nim: mediana (0.25-0.85 mm)..... 31

Figura 3. Tamaños de partículas de polvo de semilla de nim: partícula grande (0.85-1.6 mm). 32

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Efecto del tamaño de partícula del fruto seco y pulverizado de nim sobre Mortalidad y emergencia en <i>S. zeamais</i> Motschulsky, y pérdida de peso del grano de maíz.	27
Cuadro 2. Efecto de semilla seca pulverizada de nim al 1 %, 3 y 8 % sobre la mortalidad y emergencia de <i>S. zeamais</i> Motschulsky, y pérdida de peso del grano de maíz.....	28
Cuadro 3. Efecto de polvos minerales al 1, 3 y 8 % sobre la mortalidad, emergencia de la F1 de <i>S. zeamais</i> Motschulsky, y pérdida de peso del grano de maíz.....	29
Cuadro 4. Efecto de semilla seca pulverizada de nim en mezcla con polvos minerales solos al 1 % sobre la mortalidad y emergencia de <i>S. zeamais</i> Motschulsky, y pérdida de peso del grano de maíz.	30

INTRODUCCIÓN GENERAL

El maíz, *Zea mays* L., es uno de los principales cultivos básicos en México. A nivel nacional se cultivan 7,540,942 ha de maíz, las cuales producen 27,762,480 toneladas por año (SIAP, 2017). Debido al valor alimenticio, económico, agrícola e industrial asociado al maíz, durante el tiempo que este en almacenaje se debe tener especial cuidado en su conservación para garantizar la disponibilidad, calidad de granos y semillas (Hernández y Carballo, 2017). La conservación implica proporcionar las condiciones adecuadas para que los productos almacenados no resulten afectados por las plagas o enfermedades. Los principales responsables de las pérdidas en productos almacenados son aves, roedores, hongos, artrópodos, temperatura y humedad, pero especialmente los insectos son los que provocan mayor daño económico. Normalmente los insectos que atacan los granos almacenados son de los órdenes Coleóptera y Lepidóptera. El desarrollo de estos insectos plaga en el almacén está influenciado por la temperatura, humedad en el ambiente y el grano (Rodríguez y Herrera, 2003), deterioran la calidad de los granos y ya no son aptos para el consumo humano y animal, perdiendo peso, poder germinativo y los desechos y secreciones en los granos dañados son vía de entrada y desarrollo para hongos y bacterias (García, 2009). Los hongos, principalmente de los géneros *Aspergillus*, *Fusarium* y *Penicillium*, producen micotoxinas causantes de graves efectos en la salud del consumidor (Hernández *et al.*, 2007; Martínez *et al.*, 2013). Existen dos tipos de plagas de granos almacenados: plagas primarias y plagas secundarias. Las plagas primarias atacan principalmente los granos intactos y las secundarias sólo se desarrollan en los granos que ya han sido atacados por las plagas primarias o bien afectados mecánicamente durante su proceso de almacenaje (De los Mozos, 1997).

Las principales plagas del maíz almacenado son: el gorgojo del maíz, *Sitophilus zeamais* Motschulsky (Coleoptera: Curculionidae), el barrenador grande del grano *Prostephanus truncatus* (Horn) (Coleoptera: Bostrichidae) y la palomilla de los cereales *Sitotroga cerealella* (Lepidoptera: Gelechiidae) (García *et al.*, 2007). Tan solo se estima un 13 % de daño a granos a nivel mundial provocado por gorgojos (Mendoza *et al.*, 2016). El gorgojo del maíz es el principal causante de daños en el grano de maíz durante el almacenamiento (Quiñones *et al.*, 2017), puede causar graves daños si no se combate, ataca primordialmente al maíz, pero también puede atacar a un mayor número de cereales cosechados. Atacan desde campo en cualquier estado de desarrollo del cultivo (García *et al.*, 2007). Al momento de la cosecha, cerca del 1 al 10 % de los granos de cereales pueden ser infestados por esta plaga, y si la infestación continúa en el almacenaje, alrededor del 30 al 50 % de los granos pueden estar dañados al cabo de seis meses (Salvadores *et al.*, 2007) . La hembra perfora el grano con su aparato bucal, deposita los huevos dentro del grano para después cubrirlos con una sustancia gelatinosa que se endurece, y sobre el grano sólo queda un área elevada sobre la superficie indicando que está infestado, las etapas biológicas inmaduras de este insecto se completan dentro del grano antes de emerger como adulto (Rita *et al.*, 2017).

Diversas estrategias de manejo se utilizan para el control del gorgojo del maíz, como el uso de variedades resistentes, ya que, ofrecen una opción sostenible especialmente para productores de escasos recursos (Nhamucho *et al.*, 2017). Rodríguez & Iannacone (2012) documentaron que los granos de maíz de las variedades Marginal 28T, Varex, Chalera y Star son resistentes contra el ataque del gorgojo del maíz en Perú. Mientras que Tefera *et al.* (2013) mencionan que el híbrido

de maíz CKPH08004 se considera resistente a *S. zeamais* y puede implementarse en el manejo de esta plaga. García *et al.* (2009) documentaron 23 agentes que controlan plagas de granos almacenados, de los cuales 17 son parasitoides de las familias Bethyridae, Braconidae, Ichneumonidae, Pteromalidae y Trichogrammatidae, tres depredadores [dos chinches piratas *Lyctocoris campestris* (Hemiptera: Anthocoridae) y *Xylocoris flavipes* (Hemiptera: Anthocoridae)], un ácaro *Acarophenax lacunatus* de la familia Acarophenacidae), y tres parasitoides, *Adelina castana*, *A. palori* y *A. picei*. La utilización de silos herméticos o bolsas de almacenamiento para granos con atmósfera modificada entre otros productos pueden ayudar en su control. Baoua *et al.* (2014) evaluaron bolsas herméticas en maíz infestado con *P. truncatus*, *S. zeamais* y *Rhyzopertha dominica* (Coleoptera: Bostrichidae) y encontraron una mortalidad entre 95 y 100 % para ambas especies después de 6.5 meses de almacenado el grano en bolsas herméticas PICS y la viabilidad de las semillas se mantuvo en excelentes condiciones.

Productos de los grupos organofosforados, piretroides y fumigantes (bromuro de metilo y fosfina) se han utilizado por los productores los cuales han resultado ser una herramienta útil para este tipo de plagas, pero debido al mal uso y abuso han provocado problemas de salud humana, ambientales, entre otros. Diversas fuentes señalan que para la prevención de infestaciones de plagas de granos almacenados se pueden utilizar polvos vegetales con propiedades insecticidas o insectistáticas y minerales, ya que pueden ser una opción para no causar daños colaterales.

Algunos polvos inertes causan mortalidad en los insectos al provocarles deshidratación, ya que, cuando el cuerpo de los insectos rosan con algún polvo inerte producen abrasión en la cutícula de los mismos lo que lleva a una pérdida de la capa

cerosa y por lo tanto se deshidratan y mueren (Golob, 1997; Stadler, 2013). La puzolana es un material de origen volcánico o incluso de materiales artificiales, como subproductos industriales, que poseen compuestos como sílice o alúmina (Practical Action, 1994), se puede utilizar para controlar plagas de granos almacenados por ser un polvo abrasivo. Otros polvos minerales abrasivos son el hidróxido de calcio y el carbonato de calcio, ambos con capacidad de afectar a *S. zeamais*. Además Arellano *et al.* (1992) mencionan que el hidróxido de calcio presenta un efecto biocida contra mosquita blanca y áfidos.

Lagunes (1994) reportó que hidróxido de calcio, carbonato de calcio, ceniza del volcán Chichonal, marmol, primex, teckies ligero, teckies pesado, tezontle negro, tezontle rojo y salsorcite controlan el gorgojo del maíz y que las plantas *Acalypha arvensis*, *Brickellia cavallinesii*, *Brickella veronicaefolia*, *Cestrum anagyris*, *Cestrum nocturnum*, *Cestrum thyrsoideum*, *Chenopodium ambrosioides*, *Gnaphalium inortatum*, *Hippocratea* sp., *Neurolaena lobata*, *Pneumus boldus* y *Pyracantha koidzumii* también fueron efectivas contra *S. zeamais* evaluadas en forma de polvo al 1 %. Silva (2001) evaluó a nivel laboratorio 13 especies vegetales en forma de polvos solos e incorporados con un inerte mineral compuesto por 60 % cal, 20 % Teckies y 20 % de carbonato de calcio contra el gorgojo del maíz *S. zeamais*. Encontró una mortalidad del 100 % con *Chenopodium ambrosioides*, posteriormente *Peumus boldus* (99.1 %) y *Azadirachta indica* (88.4 %). Mientras que *Riccinus communis*, *Azadirachta indica*, *Ligustrum japonicum*, *Occinum basilicum*, *Citrus sinensis*, *Eucaliptus globulus*, *Laurus nobilis*, *Rosmarinus officinalis* y *Ruta graveolens* cuando se mezclaron con minerales inertes tuvieron efecto de potenciación y mejoraron su efecto insecticida. Torres *et al.* (2015), al evaluar el polvo de follaje de *Laurelia sempervirens* con un tamaño de partícula 1 mm (18 mesh), contra *S. zeamais*, encontraron que en bioensayos de

toxicidad por contacto con concentraciones de 0.25, 0.5, 1.0, 2.0 y 4.0 % (peso/peso (p/p)) obtuvieron una mortalidad mayor de 90 % en todas las concentraciones y al evaluar el efecto fumigante se obtuvo una mortalidad menor al 40 %, también observaron que *L. sempervirens* puede llegar a controlar *S. zeamais* y otras plagas de almacén sin dañar la germinación de las semillas. De la variedad de plantas destaca el nim (*Azadirachta indica* A.), es un árbol de la familia Meliaceae frondoso, robusto originario de la India, y con gran potencial para controlar plagas en granos almacenados, actúa por contacto e ingestión y sus modos de acción incluyen antialimentarios, hormonales, reguladores del crecimiento, acaricidas, nematocidas y repelentes, los cuales actúan desde el estado de larva hasta adulto, dependiendo de la plaga que se trate, afectan las diferentes funciones y formas de comportamiento (Ahmed y Grainge, 1986; Valencia *et al.*, 2004).

Del árbol de nim, la semilla es la principal fuente de ingredientes activos responsables de afectar a insectos de distintos órdenes (Schmutterer, 1990). Azadiractina es el compuesto principal al cual se le atribuyen las propiedades insecticidas y actúa sinérgicamente junto con otros compuestos (Cruz y del Ángel, 2004). Pero la cantidad de este compuesto en las semillas de nim se ve afectada por las condiciones ambientales y factores genéticos (Schmutterer, 1990). La madurez del fruto es determinante para obtener niveles más altos de azadiractina, debido a que, al avanzar de un color verde-amarillo a amarillo, ocurre una reducción del 35 % en el contenido de azadiractina (Angulo *et al.*, 2004). Tofel *et al.* (2015) mencionan que el contenido de azadiractina en el polvo de semilla de nim con diferente régimen de secado (sol y sombra) no se ve afectado por estos tipos de secado y que el polvo provocó una mortalidad significativa que varía de acuerdo a la dosis.

La azadiractina afecta de manera significativa el comportamiento de los insectos, regula el crecimiento, ya que reduce la síntesis de las hormonas de crecimiento (Ecdisona y Juvenil), desarrollo y reproducción de los insectos (Cermeli y Díaz, 2016). Cuando un insecto ingiere azadiractina no muere inmediatamente si no que su alimentación se ve reducida, puede pasar que el estado larval se alargue, existir una ecdisis incompleta, incluso pupas y adultos malformados (Morgan, 2009) hasta una disminución de la fecundidad (Gruber, 1992). Fromssa y Hagos (2016) mencionan que el polvo de semilla de nim contra adultos de *S. zeamais* en concentraciones de 1, 2, 3 y 0 % mostraron efectos significativos sobre la mortalidad a los 10 días de haber sido aplicado, la concentración de polvo de semilla de nim al 3 % fue significativamente diferente de la 2, 1 y 0 %, mientras que la concentración de 2 y 1 % eran estadísticamente iguales. Después de 45 días de exposición, concluyeron que el porcentaje más alto de mortalidad se registró con una concentración del 3 %. Mientras que Cerna *et al.* (2010) mencionan que extractos del nim (*A. indica*) sobre granos de maíz infestados con *S. zeamais* no afectan la germinación o cualquier otra propiedad fisiológica de las plántulas, y alcanza una mortalidad del 78.7 y 91.2 % a las 192 horas, en dicha plaga. Por otra parte, Lleke y Oni (2011) señalan que polvos de *A. indica* después de almacenarse durante tres meses brindan protección frente al ataque de *S. zeamais* sin afectar la viabilidad de las semillas por lo que pueden utilizarse para controlar este insecto en semillas que se utilizan para la siembra.

Vayias *et al.* (2009) mencionan que el tamaño de partícula tiene una fuerte influencia sobre el efecto insecticida de un producto, y ésta es una característica que ha sido investigada para ser utilizada en el control de algunos insectos plagas (Stadler *et al.*, 2010). Las formulaciones de polvos minerales y vegetales basadas en tamaños de partículas menores tienen mayor capacidad de cobertura y adherencia (Sharma *et al.*,

2015). Rumbos *et al.* (2016) mencionan que aplicaciones de zeolita sobre granos de maíz, trigo, cebada y arroz con distintos tamaños de partícula 0–50, 0–150 y 0–500 µm no afectaron su eficacia para controlar *S. zeamais*.

Existen diversos productos a base de hojas y frutos de nim, como lo es el producto Granim® (Azadirachtin, Polvo, 0.0001 %) un bio-insecticida en polvo amigable con el medio ambiente y mamíferos, está compuesto por carbonato de calcio, hidróxido de calcio, puzolana (piedra pomez molida) y el polvo de follaje y semillas de nim como base, el cuál disminuye de manera significativa el daño producido por los gorgojos durante el almacenaje del maíz.

Después de lo anterior expuesto, es importante evaluar el efecto de tamaños de partículas de polvo de nim solos y en mezcla con polvos minerales y evaluados a distintas dosis con el fin de controlar *S. zeamais* y como resultado mejorar la actividad insecticida de Granim. Por lo tanto en la siguiente sección se muestran los resultados obtenidos de dichos bioensayos.

OBJETIVOS

General

Determinar el efecto insecticida, bajo condiciones de laboratorio, de los diferentes tamaños de partículas de polvo de semillas secas de nim (<0.25; 0.25-0.85; y 0.85-1.6 mm) sobre la mortalidad del gorgojo del maíz, porcentaje de reducción emergencia de la F1 respecto al testigo y pérdida de peso del grano de maíz.

Específicos

- Evaluar la toxicidad de polvos minerales (carbonato de calcio, hidróxido de calcio y puzolana) solos y en mezcla con polvo de semilla de nim contra *S. zeamais*.
- Comparar la acción insecticida de los polvos minerales y semilla de nim a distintas concentraciones.
- Mejorar con base en resultados el producto Granim®

HIPÓTESIS

El polvo de semilla de nim (*Azadirachta indica* A.) con un tamaño de partícula menor tiene mayor efecto tóxico para combatir el gorgojo de maíz ya que existe mayor cubrimiento en el grano.

LITERATURA CITADA

- Angulo E., M. A., A. A. Gardea B., R. Vélez de la Rocha, R. S. García E., A. Carrillo F., C. Cháidez Q., y J. I. Partida L. 2004 . Contenido de Azadiractina A en semillas de nim (*Azadirachta indica* A. Juss) colectadas en Sinaloa, México. Rev. Fitotec. Mex. 27: 305 – 311.
- Ahmed S. y M. Grainge. 1986. Potential of the neem tree (*Azadirachta indica*) for pest control and rural development. Economic Botany 40: 201-209.
- Arellano Molina, J. G. y otros, 1992. Utilización del hidróxido de calcio para el control de mosquitas blancas (*Bemisia tabaci*) y áfidos (*Aphis* sp.) en el cultivo de melón Cantaloup (*Cucumis melo*, var. Top Mark) en la región de tierra caliente Guerrero.
- Baoua I. B., L. Amadou, B. Ousmane, D. Baributsa y L. L. Murdock. 2014. PICS bags for post-harvest storage of maize grain in West Africa. Journal of Stored Products Research 58: 20-28.
- Cermeli, M. y G. Díaz. 2016. Control químico de insectos plaga, Venezuela. Disponible: http://www.ucv.ve/fileadmin/user_upload/facultad_agronomia/Zoologia_Agricola/Manejo_Integrado/Competencia2/GUIA_CONTROL_QUIMICO_FMIIP_2016.pdf [Último acceso: 20 de diciembre 2018].
- Cerna C., E., J. Landeros F., Y.M. Ochoa F., L. Guevara A., M.H. Badii Z., V. Olalde P. 2010. Evaluación de aceites y extractos vegetales para el control de *Sitophilus zeamais* y su efecto en la calidad de semilla de maíz. Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias, 42(1): 135-145.
- Cruz F., M. y R. Del Ángel S. 2004. El árbol de nim establecimiento y aprovechamiento en la huasteca potosina. Folleto técnico Num. 3. San Luis Potosí, México. 1-23.
- De los Mozos P., M. 1997. Plagas de los productos almacenados. Bol. Sociedad Entomológica Aragonesa, Issue 20, pp. 93-109.

- Fromssa E., T. y D. Hagos B. 2016. Effect of Neem Leaf and Seed Powders Against Adult Maize Weevil (*Sitophilus zeamais* Motschulsky) Mortality. International Journal of Agricultural Research. 11: 90-94.
- García L., S., C. Espinosa C., D.J. Bergvinson. 2007. Manual de Plagas en Granos Almacenados y Tecnologías Alternas para su Manejo y Control. CIMMYT. 1-55 p.
- García P., D. E., 2009. Evaluación de insecticidas de cuatro grupos toxicológicos para el control de *Sitophilus zeamais*, Saltillo, Coahuila, México.
- García G., F., M. Ramírez D., R. Torres Z., V. M. Pinto y S. Ramírez A. 2009. Agentes de control biológico de plagas de granos almacenados. Revista Chapingo Serie Zonas Aridas 8: 49-56.
- Golob, P., 1997. Current status and future perspectives for inert dusts for control of stored product insects. Journal of Stored Products Research, 33(1): 69-79.
- Gruber A. K., 1992. Biología y ecología del árbol de nim (*Azadirachta indica* A. Juss.) extracción, medición, toxicidad y potencial de crear resistencia. CEIBA, 33(8): 249-256.
- Hernández D., S., M. Á. Reyes L., J. G. García O., y N. Mayek P. 2007. Incidencia de Hongos Potencialmente Toxígenos en Maíz (*Zea mays* L.) Almacenado y Cultivado en el Norte de Tamaulipas, México. Revista Mexicana de Fitopatología 25: 127-133.
- Hernández G., J. A. y A. Carballo C. 2017. Almacenamiento y conservación de granos y semillas. Disponible en: <http://somossemilla.org/wp-content/uploads/2017/06/Almacenamiento-de-semillas.pdf> [Último acceso: 29 septiembre 2017].
- Lagunes T., Á. 1994. Uso de extractos, polvos vegetales y minerales para el combate de plagas del maíz y del frijol en la agricultura de subsistencia. Memoria, Colegio de Postgraduados-USAID-CONACYT-BORUCONSA. Montecillo. Texcoco. México. 31 p.
- Lleke K.D., M.O. Oni. 2011. Toxicity of some plant powders to maize weevil, *Sitophilus zeamais* (Motschulsky)[Coleoptera: Curculionidae] on stored wheat grains (*Triticum aestivum*). African Journal of Agricultural Research, 6(13): 3043-3048.

- Martínez P., H. Y., S. Hernández D., C. A. Reyes M. y G. Vázquez C. 2013. El Género *Aspergillus* y sus Micotoxinas en Maíz en México: Problemática y Perspectivas. *Revista Mexicana de Fitopatología* 31: 126-146.
- Mendoza E., M., G. Rodríguez P., L. P. Guevara A., E. Andrio E., J. A. Rangel L., J. G. Rivera R., y F. Cervantes O. 2016 . Bioinsecticidas para el control de plagas de almacén y su relación con la calidad fisiológica de la semilla. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7: 1599-1611.
- Morgan, E. D., 2009. Azadirachtin, a scientific gold mine. *Bioorg. Med. Chem.*, 17: 4096–4105. Doi:10.1016/j.bmc.2008.11.081
- Nhamucho, E., S. Mugo, L. Gohole, T. Tefera, M. Kinyua, y E. Mulima. 2017. Resistance of selected Mozambican local and improved maize genotypes to maize weevil, *Sitophilus zeamais* (Motschulsky). *Journal of Stored Products Research* 73: 115-124. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jspr.2017.07.003>
- Practical Action. 1994. Puzolanas. [Último acceso: 8 de diciembre de 2017]. Disponible en: www.solucionespracticas.org.pe/Descargar/579/5158
- Quiñones D., H., M. Flores D., E. Cerna C., L.A. Aguirre U., J. Landeros F., Y.M. Ochoa F. y G.A. Frías T. 2017. Efectividad de polvos vegetales sobre adultos de *Sitophilus zeamais* Motschulsky Coleoptera: Curculionidae. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 8: 721-726.
- Rita D., S., A. Thomas, K. B. Rebijith, V. V. Ramamurthy. 2017. Biology, morphology and molecular characterization of *Sitophilus oryzae* and *S. zeamais* (Coleoptera: Curculionidae). *Journal of Stored Products Research* 73: 135-141. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2017.08.004>
- Rodríguez R., R. y F. J. Herrera R. 2003. Insectos y hongos en los granos almacenados en Yucatán. *Revista de la Universidad Autónoma de Yucatán*. Número 227: 44-53.
- Rodríguez C., A. y J. Iannacone. 2012. Resistencia de granos almacenados de cultivares de maíz amarillo duro a *Sitophilus zeamais* Mostchulsky, 1855 (Coleoptera: Curculionidae) en el Perú. *Rev. Peru. Entomol.* 47(1): 1-6.

- Rumbos C.I, M. Sakka, P. Berillis, and C. Athanassiou. 2016. Insecticidal potential of zeolite formulations against three stored-grain insects, particle size effect, adherence to kernels and influence on test weight of grains. *Journal of Stored Products Research* 68: 93-101. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jspr.2016.05.003>
- Salvadores U., Y., G. Silva A., V. Tapia M. y R. Hepp G. 2007. Polvos de Especies Aromáticas para el Control del Gorgojo del Maiz, *Sitophilus zeamais* Motschulsky, en Trigo Almacenado. *Agricultura técnica* 67(2): 148.
- Schmutterer, H., 1990. Properties and potential of natural pesticides from the neem tree, *Azadirachta indica*. *Annual Review of Entomology*, 35: 271-297.
- Sharma R. R., S. V. Rakesh R. y S. C. Datta. 2015. Particle films and their applications in horticultural crops. *Applied Clay Science*, 54-68.
- Stadler, T., M. Buteler y D. K. Weaver. 2010. Nanoinsecticidas: Nuevas perspectivas para el control de plagas. *Revista de la Sociedad Entomológica Argentina*, 69: 149-156.
- Stadler, T., 2013. Polvo Inerte con Actividad Insecticida Fabricado a partir de Cenizas, Argentina.
- SIAP, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Anuario estadístico de la producción agrícola. 2017. Disponible en: <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/> [Último acceso: 20 enero 2019].
- Silva A., G. I., 2001. Evaluación de polvos vegetales solos y en mezcla con inertes minerales para el combate de *Sitophilus zeamais* Motschulsky en maiz almacenado. Colegio de Postgraduados, Motecillo, Texcoco, México. Tesis de maestría.
- Tefera, T., G. Demissie, S. Mugo, & Y. Beyene. 2013. Yield and agronomic performance of maize hybrids resistant to the maize weevil *Sitophilus zeamais* Motschulsky (Coleoptera:Curculionidae). *Crop Protection* 46: 94-99. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cropro.2012.12.010>
- Tofel, K. H., E. N. Nukenine, M. Stähler y C. Adler. 2015. Insecticidal efficacy of *Azadirachta indica* powders from sun- and shade-dried seeds against *Sitophilus zeamais* and *Callosobruchus maculatus*. *Journal of Entomology and Zoology Studies* 3(1): 100-108.

- Torres, C., G. Silva, M. Tapia, J. C. Rodríguez, A. Urbina, I. Figueroa, A. Lagunes, C. Santillán O., S. Aguilar M. 2015. Propiedades insecticidas del polvo de *Laurelia sempervirens* L. para el control de *Sitophilus zeamais* Motschulsky (Coleoptera: Curculionidae). Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas, 14(1): 48 - 59.
- Valencia B., A. J., N. Bautista M. y J. A. López B. 2004. Uso de extractos acuosos de nim, *Azadirachta indica* A. Juss, en la oviposición de la mosca mexicana de la fruta *Anastrepha ludens* Loew (Diptera: Tephritidae) en naranja valencia. Fitosanidad, 8(4): 57-58.
- Vayias, B. J., C. G. Athanassiou, Z. Korunic y V. Rozman. 2009. Evaluation of natural diatomaceous earth deposits from south-eastern Europe for stored-grain protection: the effect of particle size. Pest Manag Sci, 65: 1118–1123.

CAPÍTULO 1. EVALUACIÓN DE LA TOXICIDAD DE POLVOS MINERALES Y SEMILLAS DE NIM CONTRA EL GORGOJO DEL MAÍZ, *Sitophilus zeamais* Motschulsky

RESUMEN

El gorgojo del maíz, *Sitophilus zeamais* Motschulsky, es considerada una de las especies más destructivas en los granos almacenados, provoca daños hasta del 90 % en los granos de maíz almacenado. En este estudio se evaluó la toxicidad de semillas secas pulverizadas de nim, *Azadirachta indica* A. Juss, con tamaños de diámetro de partícula pequeño (<0.25 mm), mediano (0.25-0.85 mm) y grande (0.85-1.6 mm), de polvos minerales (carbonato de calcio, hidróxido de calcio y puzolana) solos y en mezcla con polvo de semillas de nim (tamaño de partícula pequeño) a las concentraciones de 1, 3 y 8 % sobre *S. zeamais*. Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con cuatro repeticiones. A los 15 días de exposición al tratamiento se evaluó el porcentaje de mortalidad y a los 55 días el porcentaje de reducción de la emergencia de adultos de la F1 respecto al testigo sin tratar y el porcentaje de reducción de pérdida de peso del grano. A medida que decreció el tamaño de partícula de la semilla de nim, su toxicidad contra el gorgojo del maíz aumentó. El hidróxido de calcio al 8 % causó 95.8 % de mortalidad. En cuanto a porcentaje de reducción de la emergencia de insectos adultos de la F1, se obtuvieron mejores resultados con puzolana al 3 % con 98 %. La mezcla de hidróxido de calcio (1:1) ocasionó una mortalidad de 98.7 %.

Palabras clave: gorgojo del maíz, *Sitophilus zeamais*, tamaños de partículas, nim, *Azadirachta indica*, polvos minerales.

ABSTRACT

The maize weevil, *Sitophilus zeamais* Motschulsky, is considered one of the most destructive species in stored grains, causing damage to up to 90 % in stored maize grains. This study evaluated the toxicity of dry pulverized seeds of Neem, *Azadirachta indica* A. Juss, with sizes of small particle diameter (< 0.25 mm), medium (0.25-0.85 mm) and large (0.85-1.6 mm), of mineral powders (calcium carbonate, calcium hydroxide and Pozzolan) alone and in combination with Neem seed powder (small particle size) at concentrations of 1, 3 and 8 % over *S. zeamais*. A completely randomized experimental design was used with four replicates. At 15 days of exposure to the treatment, the percentage of mortality was assessed and at 55 days the percentage of adult emergency reduction of F1 compared with the untreated control and the percentage of reduction of weight loss of the grain. As the particle size of Neem's seed decreased, its toxicity against the maize weevil increased. Calcium hydroxide at 8 % caused 95.8 % mortality. In terms of the percentage of emergency reduction of adult insects in F1, better results were obtained with Pozzolan at 3 % with 98 %. The calcium hydroxide mixture (1:1) caused a mortality of 98.7 %.

Key words: Maize weevil, *Sitophilus zeamais*, particle sizes, neem, *Azadirachta indica*, mineral powders.

1.1 INTRODUCCIÓN

En México, se estima que durante la fase de campo y de almacenamiento de maíz, los insectos plaga provocan pérdidas del 20 al 80 % (Lagunes, 1994). Además del daño físico que le ocasionan al grano genera puertas de entrada a bacterias y hongos, haciendo a los granos inapropiados para el consumo humano, animal, e inviables para la siembra (Hernández y Carballo, 2017).

El gorgojo del maíz, *Sitophilus zeamais* Motschulsky (Coleoptera: Curculionidae), es el principal causante de daños en el grano de maíz durante el almacenamiento (Quiñones *et al.*, 2017), considerada como una de las especies más destructivas de los granos de almacén, ya que, causa graves daños y elevadas pérdidas económicas (Hincapié *et al.*, 2008), provoca pérdidas del 20 al 90 % principalmente en zonas tropicales (García *et al.*, 2007). Las pérdidas en la producción causadas por éste y otros artrópodos son más acentuadas en el caso de campesinos de subsistencia, puesto que no cuentan con recursos, información y tecnología para realizar un buen manejo de postcosecha y minimizar los daños.

Para combatir esta plaga se ha recurrido a distintas estrategias, y el método químico es el más utilizado (García *et al.*, 2009). Su combate se sustenta en el uso de insecticidas organofosforados, piretroides y fumigantes (bromuro de metilo y fosfina), mismos que pueden ocasionar severos problemas como contaminación ambiental, afectaciones a la salud humana, y desarrollo de poblaciones resistentes (Park *et al.*, 2003; Goudoungou *et al.*, 2015). Por tanto, se buscan alternativas al uso de plaguicidas convencionales. Entre estas alternativas se encuentra el uso de polvos vegetales y minerales con efecto insectistático o insecticida; no contaminan el ambiente y disminuyen el riesgo de residuos en los alimentos (Celis *et al.*, 2008).

Según Rajapakse (2006) los polvos inertes funcionan como una barrera, evitan que las hembras ovipositen sobre los granos y dificulta la búsqueda de pareja entre los adultos recién emergidos. Subash (2017) menciona que los productos botánicos tienen gran potencial como insecticidas. El nim, *Azadirachta indica* A. Juss) es una especie de planta originaria de la India; contiene al limonoide azadiractina, mismo que afecta adversamente el crecimiento, comportamiento, desarrollo, fisiología y alimentación normal de una amplia variedad de especies de insectos plaga de los órdenes Coleoptera, Diptera, Homoptera, Himenoptera, Lepidoptera, Ortoptera y Thysanoptera (Cruz y del Ángel, 2004).

Los bioinsecticidas que se obtienen del nim se pueden usar para controlar un gran número de especies de insectos, ácaros y nematodos que atacan tanto plantas cultivadas como granos almacenados (Estrada *et al.*, 2007). Fromssa y Hagos (2016) mencionan que el polvo de las hojas y semillas del nim al 3 % son efectivos para controlar *S. zeamais*. La mezcla de nim con polvos minerales ha incrementado su eficacia para controlar varias especies de insectos plaga como el gorgojo del maíz (Silva *et al.*, 2003; Silva 2006), larvas de *Spodoptera eridania* y *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) (Constanski *et al.*, 2016). Por tanto, el objetivo de la presente investigación fue evaluar el efecto que tienen, bajo condiciones de laboratorio, los diferentes tamaños de partículas de polvo de semillas de nim, polvos minerales y mezclas de ellos, sobre la mortalidad del gorgojo del maíz, porcentaje de reducción emergencia de la F1 respecto al testigo y pérdida de peso del grano de maíz.

1.2 MATERIALES Y MÉTODOS

1.2.1 Localización del área de estudio

El estudio se realizó, bajo condiciones de laboratorio, de enero a diciembre de 2018 en el Área de Toxicología del Colegio de Postgraduados Campus Montecillo, Texcoco, México.

1.2.2 Población de insectos

Se utilizaron individuos de gorgojo de maíz provenientes de la cría que se tiene en el Colegio de Postgraduados, y que han estado libres de exposición a insecticidas por 20 años. La población objeto de estudio se inició con aproximadamente 1000 parejas de insectos. Para su alimentación se utilizó maíz cacahuacintle libre de plagas y enfermedades, mismo que previamente se lavó con agua potable, se secó a temperatura ambiente durante dos días y se mantuvo en refrigeración a $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante dos semanas con la finalidad de que estuviera en mejores condiciones de inocuidad para alimentación de esta especie de plaga. En envases de vidrio y plástico de 1 L de capacidad, acondicionados en sus tapas con una ventana cubierta de tela de tul para permitir aireación, se colocaron 500 g de maíz cacahuacintle y se agregaron 50 parejas de insectos adultos para iniciar la cría. Los adultos emergentes de cada generación, se colocaron como se indicó anteriormente, en frascos con maíz nuevo con la finalidad de asegurar la suficiente cantidad de adultos para realizar los bioensayos. Dicha cría se mantuvo a $27 \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$, $70 \pm 5\%$ de humedad relativa y fotoperiodo de 12:12 h L:O.

Para diferenciar hembras y machos se empleó el criterio descrito por Halstead (1963), el cual señala que el rostrum del macho es claramente más corto y más rugoso que el de la hembra.

1.2.3 Polvo de semilla de nim

De una plantación de árboles de nim de aproximadamente 30 años de edad, propiedad del Campus Córdoba del Colegio de Postgraduados, se recolectaron frutos y se despulparon a los 5 días de su cosecha mediante el uso de una despulpadora manual para café (número 2 Bonasa, México, 90850) y las semillas con endocarpio se secaron a la sombra durante tres semanas. Posteriormente, se pulverizaron en un molino de martillos (Azteca®, México, modelo 6 de 18 martillos, 5 HP, 110 v), después en un molino eléctrico (Arisa®, México, modelo Sara núm. 7, 1 HP, 110 v), y en una licuadora (marca Oster®, USA, 4 OZ de capacidad). Luego, el polvo que se obtuvo se hizo pasar, de manera secuenciada, por tamices del No. 60 (0.250 mm), 20 (0.850 mm) y No. 12 (1.66 mm), con el fin de lograr, por su diámetro, tres tamaños de partícula: chica (<0.25 mm) (figura 1), mediana (0.25-0.85 mm) (figura 2), y grande (0.85-1.6 mm) (figura 3). El polvo que se obtuvo, en cada tipo de tamiz, se almacenó hasta su uso, en bolsas de polietileno (Calibre 250) a temperatura ambiente, protegidos de la luz solar y en un ambiente aireado. El tamaño de partícula chica de la semilla de nim se evaluó a las concentraciones de 1, 3 y 8 %.

1.2.4 Polvos inertes

Se evaluaron tres polvos minerales comerciales: carbonato de calcio, hidróxido de calcio y puzolana (Yacimientos y Derivados S. A. de C. V., Perote, Veracruz, México). Cada polvo mineral se evaluó, en forma individual, a las concentraciones de 1, 3 y 8 %.

1.2.5 Mezcla de polvo de nim con polvos minerales

Los polvos minerales indicados también se evaluaron en mezcla con el polvo de la semilla de nim en proporción (1:1).

1.2.6 Bioensayos

En recipientes de 250 mL de capacidad, se colocaron 100 g de maíz cacahuacintle con una humedad <12 %. Posteriormente, se pesó en una balanza de precisión 1 g del tratamiento respectivo, se agregó al frasco con maíz y se mezcló manualmente durante 3 minutos. En seguida, se adicionaron 10 parejas de insectos (<7 d de edad). El testigo sin tratar consistió solo del maíz y las parejas indicadas de insectos. A los 15 días de exposición al tratamiento, se evaluó el porcentaje de mortalidad y se extrajeron los adultos, esto para evitar que los nuevos adultos de la primera generación se mezclaran con los insectos colocados al inicio (Cuevas *et al.*, 2006). Se consideraron como insectos muertos los que después de ser perturbados con una pinza no mostraron movimientos normales, incluso si mostraban algún movimiento lento en sus patas o alas se consideraba como muerto. Cuando el porcentaje de mortalidad era superior al 10 % en el testigo, las repeticiones se descartaron y se

volvieron a realizar. Posteriormente estos valores se corrigieron con la ecuación de Abbott (1925).

Una vez estimada la mortalidad, todos los adultos se retiraron del frasco y quedaron solo las oviposturas. A los 55 días de haber aplicado los tratamientos, se volvieron a revisar para determinar el porcentaje de reducción de emergencia de adultos de la *F1* en comparación con el testigo sin tratar, así como el porcentaje de reducción de peso del grano tratado. Para esta última variable, se pesaron 100 g de grano antes de aplicarle el tratamiento y se registró su peso a los 55 días. Por diferencia entre el peso inicial y el peso final, del grano de maíz, se estimó el porcentaje de reducción de peso.

1.2.7 Diseño experimental y análisis estadístico

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar, con cuatro repeticiones y un testigo sin tratar. Para lograr normalidad, los datos se transformaron a la función arcoseno de la raíz cuadrada de p (donde p es el dato de variable expresada en porcentaje). Posteriormente se sometieron a un análisis de varianza con el procedimiento PROC ANOVA el paquete estadístico Statistical Analysis System (SAS, 2016). Para ordenar la significancia estadística de los promedios se utilizó la prueba de comparación de medias Tukey ($\alpha = 0.05$).

1.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1.3.1 Tamaño de partícula

A medida que se incrementó el tamaño de partícula de la semilla seca y pulverizada de nim, la mortalidad de *S. zeamais* disminuyó, el porcentaje de emergencia de insectos de la F1 se incrementó, pero no hubo diferencias respecto al porcentaje de pérdida de peso del grano de maíz (Cuadro 1). Se observó que en los tamaños de partículas menores (<0.25 mm) (Figura 1) el polvo de semilla de nim se adhirió mejor al grano. En el tratamiento con el menor tamaño de partícula (<0.25 mm de diámetro) se observó la mortalidad más elevada (68.7 %), y la mayor reducción de la emergencia de adultos de la F1 (79.7 %) (Cuadro 1). El efecto del tamaño de partícula sobre la mortalidad del gorgojo del maíz, coincide con los estudios documentados de López *et al.* (2007) quienes mencionan que a menor tamaño de partícula, mayor toxicidad al evaluar raíz seca pulverizada de chilca *Senecio salignus* sobre *Zabrotes subfasciatus*. Por otra parte, estos resultados contrastan con Rumbos *et al.* (2016) quienes reportaron que el tamaño de partícula de zeolita no fue estadísticamente diferente sobre la mortalidad de *S. oryzae*, *T. confusum* y *O. surinamensis*, pero también registraron un 94 % de adherencia de partículas de zeolita sobre granos de cebada con tamaños de partículas más pequeñas (0-50 µm) en comparación a las más grandes (0-500 µm) con 73 % de adherencia. Estos mismos autores indican que un menor tamaño de partícula podría mejorar la absorción del polvo en el cuerpo del insecto. Silva *et al.* (2003) encontraron que el polvo de la semilla de *A. indica* triturado y pasado por un tamiz de malla 60 causó una mortalidad de 88.4 % sobre *S. zeamais*. Talla *et al.* (2012) evaluaron diversos tamaños de partículas de olotes de maíz en polvo para controlar *S. zeamais*, e indican que a concentraciones iguales, el tamaño

no tiene efectos significativos sobre la mortalidad del gorgojo. Por otra parte, Vayias *et al.* (2009) reportaron que un menor tamaño de partícula ($< 45 \mu\text{m}$) tiene mayor cubrimiento sobre la superficie del grano por lo que la toxicidad del producto aumenta, esto debido a que la zona de contacto aumenta y hay más probabilidad de que el cuerpo del insecto roce con las partículas del insecticida.

1.3.2 Polvo de semilla de nim al 1, 3 y 8 %

A medida que aumentó la concentración del polvo de semilla de nim, aumentó su toxicidad (Cuadro 2). El nim al 8 % ocasionó una mortalidad de 82.9 % y un porcentaje de reducción de la emergencia de 47.2 %. Los resultados de mortalidad son similares con los documentados por Fromssa y Hagos (2016) quienes encontraron que con el polvo de semillas del nim al 1,3 y 8 % ocasionó mortalidades contra *S. zeamais*, de 63.3, 70.7 y 82 %, respectivamente; mientras que con el polvo de hojas de nim a las mismas concentraciones encontraron 61.1, 68.8 y 77.8 % de mortalidad en adultos de la misma especie. Arias *et al.* (2017), evaluaron el polvo de frutos de *Schinus molle* al 8 % contra *S. zeamais* y obtuvieron una mortalidad del 63.8 %.

Los efectos del polvo de semilla de nim no son tan notorios en la primera generación, por lo que, es posible que los efectos de los limonoides presentes en la semilla de nim son más evidentes a partir de la segunda generación, y eviten que las hembras ovipositen su carga completa de huevos. En los granos se observaron pequeñas horadaciones que probablemente fueron provocadas por los insectos colocados desde el inicio de la infestación y que fueron retirados a los 15 días, por lo que la

pérdida de peso que se muestra en el Cuadro 2 puede deberse principalmente a los padres y muy poco a la F1.

1.3.3 Polvos minerales solos al 1, 3 y 8 %

Los niveles de mortalidad más elevados se observaron en hidróxido de calcio al 3 y 8 % con una mortalidad del 91.7 y 95.8 %, respectivamente (Cuadro 3). Silva *et al.* 2003, evaluaron el carbonato de calcio al 1 % contra esta especie y documentaron una mortalidad de 41.8 %. Sin embargo, Silva *et al.* (2004), con el mismo tratamiento reportaron 70.2 %. Es posible que estas diferencias en mortalidad se deban a la variabilidad natural en la respuesta de la plaga. Por otra parte Cuevas *et al.* (2006) observaron a los seis días de infestación una mortalidad del 100 % sobre *S. zeamais* con cal (1 g por cada 100 g de granos de maíz). La reducción más elevada de la emergencia de adultos de la F1 (98 %) ocurrió con puzolana al 3 % (Cuadro 3), aunque en los demás tratamientos en donde se presentó un mayor porcentaje de mortalidad hubo menor emergencia de insectos en comparación con el testigo sin tratar. La menor pérdida de peso del grano de maíz se obtuvo con puzolana al 3 % en con valor de 0.5 %. Sin embargo, los demás tratamientos presentaron diferencias estadísticas significativas con el testigo a excepción de carbonato de calcio al 1 y 3 % (Cuadro 3). Estos resultados de pérdida de peso con el uso de carbonato de calcio al 1 %, en esta especie de insecto, son similares con los encontrados por Silva *et al.* (2004), quienes observaron un valor de 4.9 %.

1.3.4 Polvos minerales en mezcla con nim

El tratamiento que presentó el nivel de mortalidad más elevado (98.7 %) y una mayor reducción del porcentaje de emergencia de adultos de la F1 (100 %), fue la mezcla de nim + hidróxido de calcio (Cuadro 4). Nim + carbonato de calcio presentó una mortalidad mayor (61 %) que cuando se evaluó sólo, por lo que se puede decir que hubo un efecto de potenciación. En número de insectos emergidos con hidróxido y carbonato de calcio fueron significativamente diferentes ($p < 0.05$) respecto al testigo. En este caso tampoco se detectaron diferencias significativas entre tratamientos respecto al porcentaje de pérdida de peso del grano de maíz (Cuadro 4). Silva *et al.* (2006) reportaron un efecto de potenciación al evaluar polvo de follaje de *Peumus boldus* y cal apagada (50:50) al 1 % (p/p) contra *S. zeamais* en donde obtuvieron una mortalidad del 97.7 % a diferencia de cuando evaluó sólo la cal a la misma concentración (66 %). Estos mismos autores observaron un menor porcentaje de emergencia (1.6 %) con la mezcla boldo:cal (1:1) al 1 %, lo que concuerda con los resultados de este estudio (Cuadro 4), y una pérdida de peso en granos de maíz del 1 %, en comparación con el tratamiento de sólo cal al 1 % con una emergencia del 27.5 % y pérdida de peso de 3.7 %.

1.4 CONCLUSIONES

Los tamaños de partícula pequeños (<0.25 mm) de semillas de nim secos y pulverizados ocasionan un nivel de mortalidad más elevada, en comparación con tamaños de partícula superiores. Dentro de los tratamientos evaluados solos, el hidróxido de calcio al 8 % presentó la mortalidad más elevada (95.8 %), mientras que la puzolana al 3 y al 8 % ocasionaron la más significativa reducción de la emergencia de la F1 de adultos del gorgojo del maíz. La mejor mezcla se observó con hidróxido de calcio más polvo de semillas de nim, en la proporción 1:1 con una mortalidad de 98.7 % y un porcentaje de reducción del 100 % de la emergencia de adultos de la F1. No se observó un claro efecto de los tratamientos sobre el porcentaje de pérdida de peso del grano de maíz.

1.5 AGRADECIMIENTOS

Esta investigación se realizó con el apoyo del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y del Colegio de Postgraduados.

1.6 CUADROS

Cuadro 1. Efecto del tamaño de partícula del fruto seco y pulverizado de nim sobre Mortalidad y emergencia en *S. zeamais* Motschulsky, y pérdida de peso del grano de maíz.

Tamaño de partícula de polvo de semilla de nim	Mortalidad (%) [†]	Reducción de la emergencia de adultos de la F1 (%) ^{‡,§,¶}	Pérdida de peso del grano de maíz (%) [¶]
<0.25 mm	68.7 ± 10.4 a	79.7 ± 3.5 a	1.5 ± 0.2 a
0.25-0.85 mm	43.7 ± 5.5 ab	56.2 ± 4 b	2.5 ± 0.5 a
0.85-1.6 mm	41.2 ± 3.7 b	50.2 ± 2.2 b	2.5 ± 0.6 a
Testigo	3.7 ± 1.2 c		2.7 ± 0.4 a

Medias de tratamientos con diferente letra en la misma columna son estadísticamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$).

[¶] Medias ± error estándar.

[†] La mortalidad se evaluó a los 15 días de aplicado el tratamiento

[§] El porcentaje de reducción de la emergencia de adultos de la (F1) respecto al testigo sin tratar, se evaluó a los 55 días.

[¶] En el testigo sin tratar emergieron en promedio 181.7 ± 6 adultos

Cuadro 2. Efecto de semilla seca pulverizada de nim al 1 %, 3 y 8 % sobre la mortalidad y emergencia de *S. zeamais* Motschulsky, y pérdida de peso del grano de maíz.

Tratamiento	Mortalidad (%) [†]	Reducción de la emergencia de adultos de la F1 (%) ^{‡,§,¶}	Pérdida de peso del grano de maíz (%) [¶]
Nim, 1 %	65.7 ± 3.3 b	26.2 ± 4.4 b	6.2 ± 1.1 a
Nim, 3 %	72.3 ± 4.4 ab	34.1 ± 2.1 ab	7.5 ± 2.1 ab
Nim, 8 %	82.9 ± 2.5 a	47.2 ± 3.8 a	5.2 ± 1.3 a
Testigo	1.39 ± 2.1c		13.2 ± 0.4 b

Medias de tratamientos con diferente letra en la misma columna son estadísticamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$).

[¶] Medias \pm error estándar.

[†] La mortalidad se evaluó a los 15 días de aplicado el tratamiento

[§] El porcentaje de reducción de la emergencia de adultos de la (F1) respecto al testigo sin tratar, se evaluó a los 55 días.

[¶] En el testigo sin tratar emergieron en promedio 161 ± 5.7 adultos.

Cuadro 3. Efecto de polvos minerales al 1, 3 y 8 % sobre la mortalidad, emergencia de la F1 de *S. zeamais* Motschulsky, y pérdida de peso del grano de maíz.

Tratamiento	Mortalidad (%) [†]	Reducción de la emergencia de adultos de la F1 (%) ^{¶,§,ª}	Pérdida de peso del grano de maíz (%) [¶]
Puzolana, 1 %	60.2 ± 10.5 bcde	88.7 ± 4.5 abc	2.2 ± 0.4 bcd
Puzolana, 3 %	84.9 ± 5.1 abc	98.0 ± 1.3 a	0.5 ± 0.2 a
Puzolana, 8 %	87.6 ± 6.8 ab	95.5 ± 2.1 ab	1.0 ± 0.40 ab
Carbonato de calcio, 1 %	38.3 ± 5.6 de	84.1 ± 3.8 bcd	2.7 ± 0.2 cde
Carbonato de calcio, 3 %	39.7 ± 11.6 cde	77.0 ± 3.6 cd	3.2 ± 0.4 de
Carbonato de calcio, 8 %	42.4 ± 3.5 cde	81.0 ± 1.7 cd	2.2 ± 0.2 bcd
Hidróxido de calcio, 1 %	76.7 ± 7.8 abcd	80.9 ± 4.4 cd	2.2 ± 0.4 bcd
Hidróxido de calcio, 3 %	91.7 ± 1.5 ab	88.6 ± 4.1 abc	2.0 ± 0.40 abcd
Hidróxido de calcio, 8 %	95.8 ± 2.6 a	88.1 ± 3.7 abc	1.2 ± 0.25 abc
Testigo	1.0 ± 0.3 f		8.2 ± 1.31 e

Medias de tratamientos con diferente letra en la misma columna son estadísticamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$).

[¶] Medias \pm error estándar.

[†] La mortalidad se evaluó a los 15 días de aplicado el tratamiento

[§] El porcentaje de reducción de la emergencia de adultos de la (F1) respecto al testigo sin tratar, se evaluó a los 55 días.

^ª En el testigo sin tratar emergieron en promedio 156 ± 21 adultos.

Cuadro 4. Efecto de semilla seca pulverizada de nim en mezcla con polvos minerales solos al 1 % sobre la mortalidad y emergencia de *S. zeamais* Motschulsky, y pérdida de peso del grano de maíz.

Tratamiento	Mortalidad (%) [†]	Reducción de la emergencia de adultos de la F1 (%) ^{‡,§,¶}	Porcentaje de pérdida de peso del grano de maíz (%) [¶]
Nim+Hidróxido de calcio (1:1)	98.7 ± 1.2 a	100 ± 0 a	2.2 ± 0.4a
Nim+Carbonato de calcio (1:1)	61.0 ± 6.8 b	98.3 ± 1.6 ab	3.0 ± 0.4 a
Nim+Puzolana (1:1)	50.6 ± 8 b	70.9 ± 23 abc	2.2 ± 0.2 a
Nim solo	62.3 ± 4.4 b	48.3 ± 18 bc	2.5 ± 0.2 a
Testigo	1.9 ± 2.4c		3.2 ± 0.6 a

Medias de tratamientos con diferente letra en la misma columna son estadísticamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$).

[¶] Medias \pm error estándar.

[†] La mortalidad se evaluó a los 15 días de aplicado el tratamiento

[§] El porcentaje de reducción de la emergencia de adultos de la (F1) respecto al testigo sin tratar, se evaluó a los 55 días.

[¶] En el testigo sin tratar emergieron en promedio 15.5 ± 7.1 adultos.

1.7 FIGURAS

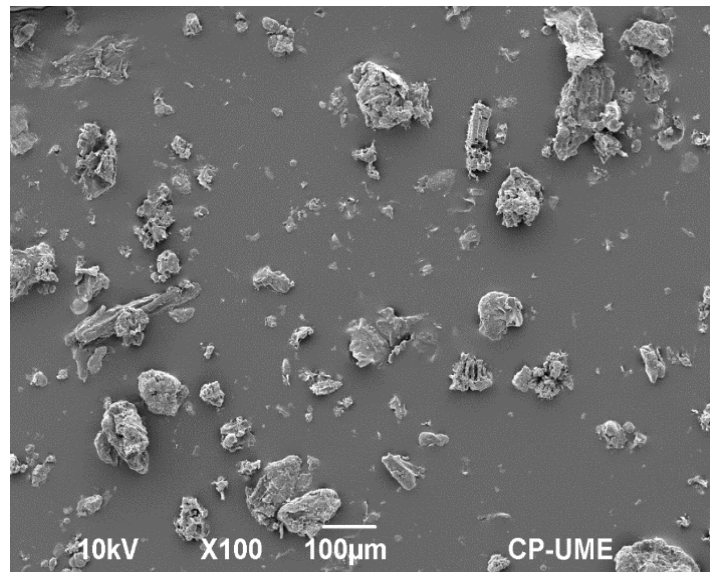


Figura 1. Tamaños de partícula de polvo de semilla de nim: chica (<0.25 mm).

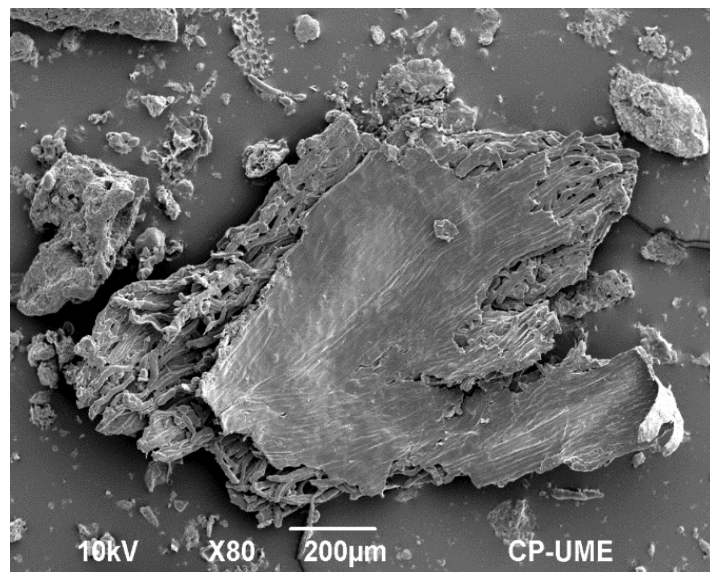


Figura 2. Tamaños de partícula de polvo de semilla de nim: mediana (0.25-0.85 mm).

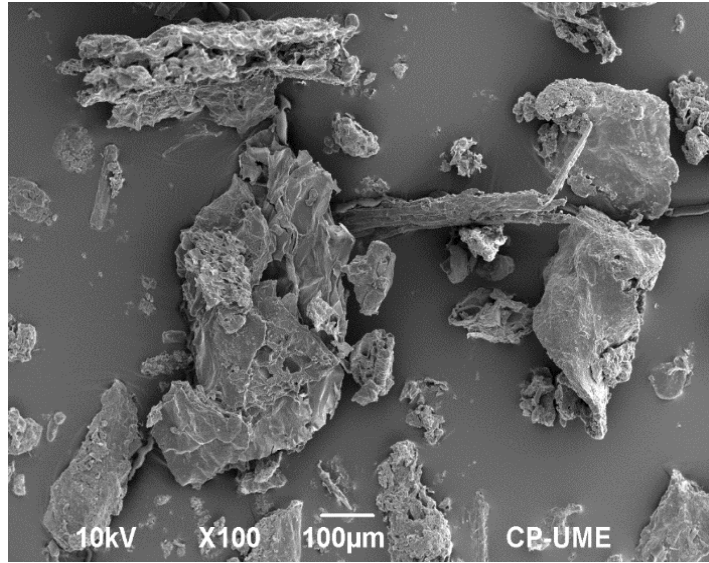


Figura 3. Tamaños de partículas de polvo de semilla de nim: partícula grande (0.85-1.6 mm).

1.8 LITERATURA CITADA

- Abbott, W. S. 1925. A Method of Computing the Effectiveness of an Insecticide. J. Econ. Entomol. 18: 265–267.
- Arias P., J., G. Silva A., I. Figueroa C., S. Fischer G., A. Robles B., J. C. Rodríguez M. y A. Lagunes T. (2017). Actividad insecticida, repelente y antialimentaria del polvo y aceite esencial de frutos de *Schinus molle* L. para el control de *Sitophilus zeamais* (Motschulsky). Chilean journal of agricultural & animal sciences, 33: 93-104. <https://dx.doi.org/10.4067/S0719-38902017005000301>
- Celis, Á., C. Mendoza, M. Pachón, J. Cardona, W. Delgado y L.E. Cuca. 2008. Extractos vegetales utilizados como biocontroladores con énfasis en la familia *Piperaceae*, una revisión. Agronomía Colombiana, 26: 97-105.
- Cruz F., M. y R. Del Ángel S. 2004. El árbol de nim establecimiento y aprovechamiento en la huasteca potosina. Folleto técnico Num. 3. San Luis Potosí, México. 1-23.
- Constanski, K. C., J. Zorzetti, P. H. Santoro, A. Thibes H., P. M. Oliveira J. N. 2016. Inert powders alone or in combination with neem oil for controlling *Spodoptera eridania* and *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) larvae. Ciencias Agrárias, Londrina, 37: 1801-1810.
- Cuevas S., M. I., J. C. García M. y C. A. Romero N. 2006. Productos naturales para el control de la principal plaga de maíz, frijol y garbanzo almacenados. Boln. Asoc. esp. Ent. 30: 83-92.
- Estrada, J., M. López T., B. Castillo Z. y N. Puig, 2007. Bioinsecticidas de nim en la Agricultura Urbana. Agricultura orgánica, pp. 44-45.
- Fromssa E., T. y D. Hagos B. 2016. Effect of Neem Leaf and Seed Powders Against Adult Maize Weevil (*Sitophilus zeamais* Motschulsky) Mortality. International Journal of Agricultural Research. 11: 90-94.
- García L., S., C. Espinosa C., D.J. Bergvinson. 2007. Manual de Plagas en Granos Almacenados y Tecnologías Alternas para su Manejo y Control. CIMMYT. 1-55 p.

- García G., F., M. Ramírez D., R. Torres Z., V. M. Pinto y S. Ramírez A. 2009. Agentes de control biológico de plagas de granos almacenados. Revista Chapingo Serie Zonas Aridas 8: 49-56.
- Goudoungou J., W., N. Elias N., N. Dieudonné, S. Christopher y C. Adler. 2015. Efficacy of diatomaceous earth and wood ash for the control of *Sitophilus zeamais* in stored maize. Journal of Entomology and Zoology Studies, 3: 390-397.
- Halstead, D. G. H. 1963. External sex differences in stored products Coleoptera. Bull. Entomol. Res. 54: 119-134.
- Hernández G., J. A. y A. Carballo C. 2017. Almacenamiento y conservación de granos y semillas. Disponible en: <http://somossemilla.org/wp-content/uploads/2017/06/Almacenamiento-de-semillas.pdf> [Último acceso: 29 septiembre 2017].
- Hincapié Ll., C. A., D. Lopera A. y M. Ceballos G. 2008. Actividad insecticida de extractos de semilla de *Annona muricata* (Anonaceae) sobre *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae). Revista Colombiana de entomología, 34(1): 76-82.
- Lagunes T., Á. 1994. Uso de extractos, polvos vegetales y minerales para el combate de plagas del maíz y del frijol en la agricultura de subsistencia. Memoria, Colegio de Postgraduados-USAID-CONACYT-BORUCONSA. Montecillo. Texcoco. México. 31 p.
- López P., E., C. Rodríguez H., L.D. Ortega A. y R. Garza G. 2007. Actividad biológica de la raíz de *Senecio salignus* contra *Zabrotes subfasciatus* en frijol almacenado. Agrociencia. 41: 95-102.
- Park I. K., S. Gil L., D. Hwa C., J. Doo P. y Y. Joon A. 2003. Insecticidal activities of constituents identified in the essential oil from leaves of *Chamaecyparis obtusa* against *Callosobruchus chinensis* (L.) and *Sitophilus oryzae* (L.). Journal of Stored Products Research. 39: 375-384.
- Quiñones D., H., M. Flores D., E. Cerna C., L.A. Aguirre U., J. Landeros F., Y.M. Ochoa F. y G.A. Frías T. 2017. Efectividad de polvos vegetales sobre adultos de *Sitophilus*

zeamais Motschulsky Coleoptera: Curculionidae. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. 8: 721-726.

Rajapakse R.H.S. 2006. The potential of plants and plant products in stored insect pest management. Journal of Agricultural Sciences 2: 11–21. Doi: <http://doi.org/10.4038/jas.v2i1.8109>

Rumbos C.I, M. Sakka, P. Berillis, and C. Athanassiou. 2016. Insecticidal potential of zeolite formulations against three stored-grain insects, particle size effect, adherence to kernels and influence on test weight of grains. Journal of Stored Products Research 68: 93-101. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jspr.2016.05.003>

SAS Institute. 2016. Statistical Analysis System. The Sas System for Windows release 9.4. SAS Institute, Cary, North Carolina, USA

Silva A., G., A. Lagunes T. y J. C. Rodríguez M. 2003. Control de *Sitophilus zeamais* (Coleoptera:Curculionidae) con polvos vegetales solos y en mezcla con carbonato de calcio en maíz almacenado. Ciencia e investigación agraria. 30: 153-160.

Silva A., G., P. González G., R. Hepp G. y P. Casals B. 2004. Control de *Sitophilus zeamais* Motschulsky con polvos inertes. Agrociencia. 38: 529-536.

Silva A., G., R. Hepp G., M. Tapia V., P. Casals B., G. Bustos F. y F. Osses R. 2006. Evaluación de boldo (*Peumus boldus* Molina) y cal para el control de *Sitophilus zeamais* Motschulsky. Agrociencia. 40: 219-228.

Subash S., 2017. Natural plant products-As protectant during grain storage: A review. Journal of Entomology and Zoology Studies, 5: 1873-1885.

Talla G., M., P. Seyni C., G. Goergen, S. Ndiaye, D. Seck, G. Gueye, J. P. Wathelet and G. Lognay. 2012. Efficacy of powdered maize cobs against the maize weevil *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae) in stored maize in Senegal. International Journal of Tropical Insect Science. 32:94-100. Doi:10.1017/S1742758412000148.

Vayias, B. J., C. G. Athanassiou, Z. Korunic y V. Rozman. 2009. Evaluation of natural diatomaceous earth deposits from south-eastern Europe for stored-grain protection: the effect of particle size. Pest Manag Sci, 65: 1118–1123.

CONCLUSIONES GENERALES

Los resultados indican que en la evaluación de productos botánicos frecuentemente los resultados son erráticos, debido a que las concentraciones no son exactas, en este trabajo encontramos variaciones que pueden atribuirse a esta razón. Se observó que no siempre en los tratamientos donde se obtuvo mayor mortalidad en la población parental se obtiene menor emergencia. Con lo anterior se puede decir que el comportamiento de las variables no fue constante.

Las mezclas con polvos vegetales y polvos minerales pueden ser una opción para disminuir los daños producidos por el gorgojo del maíz *S. zeamais* en granos de maíz que se encuentran confinados en recipientes que obligan a la fricción del cuerpo de los insectos con las paredes de los granos. Además, así se necesitaría menos material de ambas partes manteniendo su eficiencia (Silva *et al.*, 2006). Los resultados indican que la uniformidad del contenido de Azadiractina en las plantas de nim afecta su toxicidad, pues la variación de los resultados así lo sugiere.