



Tecnológico Nacional de México  
Dirección de Educación Tecnológica del Estado  
de Veracruz

Instituto Tecnológico Superior de Zongolica

TESIS

**COMPOSICIÓN QUÍMICA DE EXTRACTOS DE *BESSERA ELEGANS* Y SU BIOACTIVIDAD FRENTE A *SITOPHILUS ZEAMAI* EN MAÍZ NATIVO RAZA TEPECINTLE**

Presenta:

ALTERIO QUEVEDO HERNÁNDEZ

INGENIERÍA EN INNOVACIÓN AGRÍCOLA SUSTENTABLE

Asesor(es)

DR. GREGORIO HERNÁNDEZ SALINAS (DIRECTOR DE TESIS INTERNO).

DR. CÉSAR SOTELO LEYVA (DIRECTOR DE TESIS EXTERNO).

DRA. SUSANA ISABEL CASTILLO MARTÍNEZ (CO-DIRECTORA DE TESIS).

TEZONAPA, VERACRUZ, JUNIO 2024



## CONSTANCIA DE LIBERACIÓN



### ANEXO XXXIII. LIBERACIÓN DE PROYECTO PARA LA TITULACIÓN INTEGRAL

Zongolica, Ver., a 14 de junio de 2024.

ASUNTO: Liberación de Proyecto para la Titulación integral.

**M.A.F.O. ADELINA XOCUA GONZÁLEZ**  
**JEFA DE DEPARTAMENTO DE RESIDENCIAS PROFESIONALES Y SERVICIO SOCIAL**  
**PRESENTE.**

Por este medio informo que ha sido liberado el siguiente proyecto para la Titulación integral:

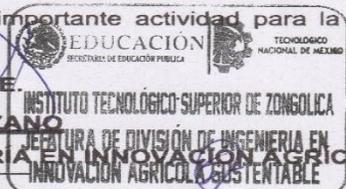
a) Nombre del Egresado:	Alterio Quevedo Hernández
b) Carrera:	Ingeniería en Innovación Agrícola Sustentable
c) No. de Control	196w0278
d) Nombre del proyecto	Composición química de extractos de Bessera elegans y su bioactividad frente a Sitophilus zeamais en maíz nativo raza Tepecintle
d) Producto	Tesis

Agradezco de antemano su valioso apoyo en esta importante actividad para la formación profesional de nuestros egresados.

**ATENTAMENTE,**

**MC. JORGE ARMIDA LOZANO**

**JEFE DE DIVISIÓN DE CARRERA DE LA INGENIERÍA EN INNOVACIÓN AGRÍCOLA SUSTENTABLE**



Dr. Gregorio Hernández Salinas	Dr. César Sotelo Leyva	Dra. Susana Isabel Castillo Martínez
Nombre y Firma del Asesor	Nombre y Firma del Revisor	Nombre y Firma del Revisor

**ITSZ**



Km 4 Carretera a la Compañía S/N Tepetitlanapa, Zongolica, Ver. C.P. 95005  
Tel. 2757326716 WhatsApp: 272 123 4274. zongolica.tecnm.mx



**2024**  
**Felipe Carrillo**  
**PUERTO**



## AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi profundo agradecimiento al Instituto Tecnológico Superior de Zongolica, por haber sido mi guía y apoyo durante mi formación como ingeniero y profesional. A lo largo de mi trayectoria académica, como estudiante y como parte de la familia "Mi padre, madre y hermana", el Instituto ha sido mi piedra angular. No tengo palabras suficientes para expresar la gratitud que siento hacia esta institución por todo lo que me ha brindado en la vida. Siempre estaré eternamente agradecido.

Asimismo, deseo agradecer a la Ingeniería en Innovación Agrícola Sustentable por su papel fundamental en mi vida profesional y familiar. Esta carrera no solo me ha formado como profesional, sino que también ha sido el pilar de apoyo de mi familia. Es una institución noble que cuida y prepara a sus estudiantes para afrontar los desafíos de la vida. Por todo esto, estoy enormemente agradecido.

Quiero expresar mi sincero agradecimiento al **Dr. Gregorio Hernández Salinas** por su amabilidad y respeto hacia sus estudiantes, así como por la invaluable ayuda que brindó para llevar a cabo este importante proyecto. Sin su colaboración, habría sido difícil alcanzar este logro. ¡Muchas gracias por su apoyo!

Asimismo, deseo agradecer al **Dr. César Sotelo Leyva**, de la Universidad Autónoma de Guerrero, por su constante respaldo como asesor y docente durante mi tiempo como estudiante en el programa de Tesis, lo cual fue fundamental para culminar con éxito mi carrera en Ingeniería en Innovación Agrícola Sustentable.

A la M. C. **Cristal Arany Guerrero Ortiz**, mi gratitud por sus palabras de aliento y su apoyo incondicional a lo largo de mi estancia en el Instituto Tecnológico Superior de Zongolica, lo cual fue crucial para alcanzar esta meta.

Al **Dr. Emmanuel de Jesús Ramírez Rivera** y al **Dr. Jasiel Valdivia Sánchez** por sus sabias sugerencias y orientación tanto durante mi etapa como estudiante como en mi desarrollo profesional. Su contribución fue esencial para alcanzar este objetivo.

Al Dr. Rafael Ortega Paczka, Profesor-Investigador de la Universidad Autónoma de Chapingo por haber clasificado racialmente el material genético usado en este estudio.

Finalmente, agradezco a la **Dra. Susana Isabel Castillo Martínez** por apoyarme en la mejora de esta tesis, ¡muchas gracias!



## **DEDICATORIA**

A mis queridos padres, que a lo largo de la vida me guiaron siempre por el buen camino, me brindaron su apoyo, amor y consejos en los momentos difíciles, me alentaron a seguir adelante y no rendirme. Hoy que he culminado mis estudios profesionales, con esfuerzos, dedicación, les digo que algo me llena de orgullo y siento que ese mismo orgullo está dentro de ustedes. Vale la pena compartir este triunfo y con quien mejor que mis padres, mi hermana, mis profesores (as), mis compañeros de toda la vida. Se inicia una nueva etapa de mi vida, un camino por recorrer en la que siempre estarían en mi corazón. Por todo ello, a ustedes y a Dios gracias.



## RESUMEN

El gorgojo del maíz (*S. zeamais*) es una plaga de importancia agrícola, especialmente en regiones tropicales y subtropicales del mundo, la cual causa daños significativos en los cereales almacenados. En este estudio, se evaluó el efecto del bioinsecticida del extracto de acetato de etilo y metanol del tallo de la planta arete (*B. elegans*) contra los adultos de *S. zeamais* en maíz nativo de la raza Tepecintle en Tezonapa, Veracruz, México. Además, se identificó los grupos de metabolitos secundarios presentes en el extracto mediante pruebas fitoquímicas cualitativas y cromatografía de gases. Se evaluaron siete tratamientos con concentraciones de 10, 50, 100, 200, y 300 gL<sup>-1</sup> de extracto de tallos de *B. elegans*, así como un control negativo al 100 % de acetato de etilo y metanol, y un control positivo con un 5 % de malatión, con cinco repeticiones bajo un diseño experimental al azar. Se evaluó la mortalidad, la pérdida de peso y la germinación de semillas en la raza Tepecintle. Para la comparación de los tratamientos se realizaron análisis de varianza y prueba de medias de Tukey (0.05). A los 7 días después de la infestación, las formulaciones de extractos en concentraciones de 300, 200, 100, 50 y 10 gL<sup>-1</sup> mostraron una mortalidad del 100 % de los gorgojos; mientras que, los controles positivo y negativo también alcanzaron el 100 %. Los resultados mostraron que el extracto del tallo de *B. elegans* tanto del metanol como acetato de etilo fueron efectivos contra *S. zeamais* en el maíz Tepecintle, posiblemente debido a la presencia de 21 compuestos bioactivos para el acetato de etilo, y flavonoides, antracenos, cumarinas, triterpenos y esteroides, con una prueba positiva débil para saponinas para el disolvente metanol. En general, los tratamientos aplicados no afectaron la pérdida de peso de los granos ni la capacidad de germinación de la raza Tepecintle. Nuestros hallazgos sugieren que los extractos botánicos tienen el potencial para suprimir el desarrollo de *S. zeamais* y pueden considerarse como una alternativa respetuosa con el medio ambiente al uso frecuente de insecticidas químicos.

Palabras clave: Maíz nativo, actividad bioinsecticida, metabolitos secundarios, disolventes orgánicos, extractos vegetales.



## ÍNDICE

<b>RESUMEN</b> .....	<b>iv</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>5</b>
<b>2. ANTECEDENTES</b> .....	<b>7</b>
<b>3. JUSTIFICACIÓN</b> .....	<b>8</b>
<b>4. OBJETIVOS</b> .....	<b>9</b>
4.1 General .....	9
4.2 Específicos .....	9
<b>5. HIPÓTESIS</b> .....	<b>9</b>
<b>6. MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>10</b>
6.1 El maíz ( <i>Zea mays</i> L.) .....	10
6.1.1 Origen del maíz e importancia .....	10
6.1.2 Clasificación taxonómica del maíz.....	10
6.1.3 Descripción botánica .....	11
6.1.4 Generalidades del maíz .....	11
6.1.5 Descripción del maíz raza Tepecintle .....	11
6.1.6 Plagas y enfermedades de maíz.....	13
6.1.7 Impacto de los insectos en los granos almacenados.....	14
6.1.8 Clasificación de las plagas .....	14
6.2 <i>Sitophilus zeamais</i> .....	15
6.2.1 Taxonomía del gorgojo .....	15
6.2.2 Distribución e importancia de <i>S. zeamais</i> .....	16
6.2.3 Descripción fenotípica de <i>S. zeamais</i> .....	16
6.2.3.1 Adulto.....	16
6.2.3.2 Huevo .....	16
6.2.3.3 Larva.....	17
6.2.3.4 Pupa.....	17
6.2.4 Biología, Hábitos y Daños .....	17
6.2.5 Ciclo Biológico .....	17
6.2.6 Daños.....	18
6.2.7 Control.....	18
6.2.7.1 Control biológico del gorgojo del maíz.....	19



6.2.7.2 Control químico de <i>S. zeamais</i> .....	19
6.2.8 Insecticidas químicos .....	19
6.2.9 Metabolitos secundarios.....	20
6.2.9.1 Principales clases de metabolitos secundarios .....	20
6.2.10 Extractos vegetales como insecticida .....	21
<b>6.3 Bessera elegans (Schulf. F.).....</b>	<b>21</b>
6.3.1. Nombres .....	21
6.3.2. Origen y distribución geográfica:.....	22
6.3.3. Identificación y descripción: .....	22
6.3.4. Impacto e importancia.....	23
<b>7. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA O LUGAR DE ESTUDIO .....</b>	<b>24</b>
7.1 Ubicación del experimento.....	24
<b>8. MÉTODO.....</b>	<b>25</b>
8.1 Material botánico.....	25
8.2 Recolección, cría y reproducción de <i>Sitophilus zeamais</i> .....	25
8.3 Bioensayos de mortalidad por contacto.....	26
8.4 Tratamientos.....	27
8.5 El diseño experimental y análisis estadístico .....	27
<b>9. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>28</b>
<b>10. CONCLUSIONES.....</b>	<b>36</b>
<b>11. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>37</b>
<b>12. ANEXOS .....</b>	<b>42</b>



## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Tabla 1.</b> Mortalidad de <i>S. zeamais</i> a las 24, 48 y 72 horas y 7 días después de la aplicación de los tratamientos del solvente de Acetato de Etilo. ....	28
<b>Tabla 2.</b> Mortalidad de <i>S. zeamais</i> a las 24, 48 y 72 horas y 7 días después de la aplicación de los tratamientos del solvente de Metanol. ....	29
<b>Tabla 3.</b> Medias de la pérdida de peso del grano de maíz raza Tepecintle después de 55 días de la infestación por <i>S. zeamais</i> . ....	30
<b>Tabla 4.</b> Medias de la pérdida de peso del grano de maíz raza Tepecintle después de 55 días de la infestación por <i>S. zeamais</i> . ....	31
<b>Tabla 5.</b> Medias de la germinación en semillas de maíz raza Tepecintle después de los 55 días de infestación por <i>S. zeamais</i> . ....	31
<b>Tabla 6.</b> Medias de la germinación en semillas de maíz raza Tepecintle después de los 55 días de infestación por <i>S. zeamais</i> . ....	32
<b>Tabla 7.</b> Los Rendimiento del extracto Metanol y Acetato de Etilo con <i>B. elegans</i> . ....	32
<b>Tabla 8.</b> Análisis fitoquímicos del extracto metanol de tallos de <i>B. elegans</i> . ....	33
<b>Tabla 9.</b> Grupos de metabolitos secundarios identificados en el extracto de metanol de tallos de <i>B. elegans</i> . ....	35



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> El maíz. Obtenida de ASERCA.....	10
<b>Figura 2.</b> Muestra representativa de la raza Tepecintle. Foto tomada por Alterio Quevedo .....	12
<b>Figura 3.</b> Distribución de la raza de maíz Tepecintle en México.....	13
<b>Figura 4.</b> Gorgojo del maíz ( <i>S. zmais</i> ) .....	15
<b>Figura 5.</b> La avispa <i>Anisopteromalus calandrae</i> Howard .....	19
<b>Figura 6.</b> Planta <i>bessera elegans</i> (Schulf. F.) .....	22
<b>Figura 7.</b> <i>Bessera elegans</i> y <i>Milla biflora</i> .....	23
<b>Figura 8.</b> Localización del laboratorio Instituto Tecnológico Superior de Zongolica extensión Tezonapa .....	24
<b>Figura 9.</b> Cromatograma de gases y estructura química del ácido 9,12,15-octadecatrienoico, metil ester, identificado como el compuesto principal en el extracto de acetato de etilo de tallos de <i>B. elegans</i> .....	34



## 1. INTRODUCCIÓN

El maíz (*Zea mays* L.) es uno de los principales cereales para la dieta alimenticia del ser humano, además tiene importancia religiosa, cultural y económica (Sangermán-Jarquín et al., 2018). En los diferentes eslabones de producción de maíz, se producen pérdidas debido a plagas, enfermedades o eventos climáticos (Fernández et al., 2013), pero en el almacenamiento es donde se producen las mayores pérdidas económicas al verse afectada la calidad del grano.

La calidad del grano almacenado es afectada por las plagas primarias y secundarias, las cuales son responsables de la pérdida del producto y por tanto ya no sirve para alimento humano. En América Latina, se calcula que entre el 30 y el 40 % de la producción de maíz se pierde durante su almacenamiento (Lagunes, 1994).

Una de las principales plagas que daña al grano de maíz es el gorgojo (*Sitophilus zeamais* Motschulsky Coleoptera: Curculionidae), siendo una de las plagas más importantes que afectan los granos almacenados en zonas tropicales (Airenimar et al., 2005; de Souza et al., 2006). Se clasifica como una plaga primaria al infestar granos tanto en el campo como en el almacenamiento, siendo más agresiva en el grano de maíz, aunque también puede dañar el sorgo, trigo, arroz y otros productos industrializados (Rees, 1996).

Tradicionalmente, el control de *S. zeamais* en granos de maíz almacenado (silos o bodegas) ha sido mediante el uso de insecticidas químicos sintéticos, tanto protectores como fumigantes. Uno de los más utilizados, es el fosfuro de aluminio (AlPO<sub>4</sub>) que contiene fosfina como ingrediente activo. Además, como medida de control se realiza limpieza de las instalaciones de almacenamiento con otros agroquímicos como malatión o fenotritión en dosis de 1-2 mL L<sup>-1</sup> de agua (Franco, 1986). Sin embargo, los insecticidas químicos están compuestos por organofosforados y piretroides, que evitan la colonización de los insectos plaga en los granos almacenados con una sola aplicación, siendo eficientes y hasta a veces económicos. No obstante, el uso excesivo de éstos puede encaminar efectos adversos como: la intoxicación de productores agrícolas, la presencia de residuos tóxicos en los granos, el incremento en los costos de almacenamiento y el desarrollo de resistencia en los insectos plaga (Guedes et al., 1995; Silva, 2001; Tapondjou et al., 2002; Ribeiro et al., 2003; Obeng-Ofori y Amiteye, 2005).

Recientemente ha existido un gran interés en los consumidores por adquirir productos libres de plaguicidas y esto ha llevado al renacimiento de estudios encaminados al empleo de productos naturales de origen vegetal para el control de plagas tanto en campo como en almacenamiento (Lorini y Galley, 1999; Ayvaz et al., 2010). El uso de compuestos naturales a base de plantas con actividad insecticida ha sido una práctica ancestral en la agricultura (Isman, 2006).

Son diversas las plantas con actividad insecticida contra plagas de almacenamiento incluyendo al orden Coleoptera, a saber: se han extraído los aceites esenciales (AE) de ciertas familias como Meliaceae, Rutaceae, Verbenaceae, Asteraceae, Lamiaceae y Piperaceae (Aboua et al., 2010; Ayvaz et al., 2010; Saroukolai et al., 2010). Los AE de *Origanum basilicum* L. y *Origanum gratissimum* L. (Lamiaceae) han demostrado causar la mortalidad del gorgojo (*Callosobruchus maculatus* F.) en



granos almacenados, atribuyéndose este efecto al contenido de fenoles de carvacrol y timol (Sékou-Moussa et al., 2001).

Otros estudios han demostrado que los AE de *Piper aduncum* y *Piper hispidinervum* (Piperaceae) son tóxicos para los adultos de *S. zeamais* por acción de contacto, tópica y fumigación (Estrella, 2006). Bittner et al. (2008) reportaron que el AE de *Origanum vulgare* fue efectivo contra *S. zeamais* y *Acanthoscelides obtectus* debido al contenido de eugenol. Por su parte, Sotelo-Leyva et al. (2023) evaluaron la efectividad de extractos de flores de la planta “arete” (*Bessera elegans* Schult F.) contra el pulgón de la caña de azúcar (*Melanaphis sacchari* Zehntner) en el cultivo del sorgo (*Sorghum bicolor* L.) en bioensayos de contacto, quienes registraron hasta un 88.0 % de mortalidad de estos insectos debido a los compuestos fenólicos de los extractos de *B. elegans*. En otro trabajo reciente realizado por Hernández-Salinas et al. (2024) reportaron que los extractos de epazote (*Dysphania ambrosioides*) suprimen la emergencia de *S. zeamais* en la raza de maíz Ratón y que tampoco se ve afectada la germinación de las semillas.

Por lo anterior, el objetivo del presente estudio pretende evaluar el efecto insecticida del extracto de tallos de la planta arete (*Bessera elegans* Schult F.) para el control del gorgojo (*S. zeamais*) en maíz nativo de la raza Tepecintle en Las Altas Montañas de Veracruz.



## 2. ANTECEDENTES

El maíz a nivel mundial desempeña un papel relevante en la alimentación humana y animal, siendo la base para la elaboración de numerosos productos. En México, es el cultivo primordial, representando el 18% del valor de la producción agrícola y ocupando el 33% de la superficie sembrada en el país (FND, 2014).

No obstante, el maíz presente diversos problemas a saber: las plagas que dañan a los granos de maíz almacenados, destacando una de ellas, el *S. zeamais* es una de las más significativas, causando daños tanto en su estado larvario como adulto. Las larvas perforan los granos para depositar sus huevos; en tanto que, las larvas elaboran galerías en el endospermo de la semilla al alimentarse. Aun cuando existe un aumento en el uso de pesticidas, que alcanza aproximadamente 500 mil toneladas de ingredientes activos a nivel mundial, se calcula que la baja del rendimiento, debido a las plagas, es entre 20 y 30% de la producción agrícola en la mayoría de los cultivos, lo que refleja una crisis ambiental en la agricultura moderna (Altieri y Nicholls, 2000).

Ante esta situación, surge la necesidad de buscar alternativas naturales para el control de plagas y reemplazar los pesticidas químicos sintéticos en el futuro, dando lugar a los insecticidas botánicos los cuales ofrecen una opción segura para el medio ambiente y una alternativa tecnológica sustentable para el campo. Estos insecticidas botánicos tienen otra ventaja porque en lugar de matar plagas, buscan controlarlas ecológicamente. Aproximadamente 2,000 especies de plantas poseen actividades bioinsecticidas, lo que puede contribuir a la reducción de la contaminación ambiental y promover una alternativa equitativa hacia los seres vivos y los recursos naturales, fomentando así el desarrollo de una agricultura ecológica (Iannacone y Quispe, 2004). Algunas de estas plantas que tienen poder bioinsectida contra plagas de almacenamiento como el pulgón de la caña de azúcar y el gorgojo del maíz son los extractos de *B. elegans* y *D. ambrosioides*, respectivamente, las cuales poseen contenidos de metabolitos secundarios como polifenoles, cumarinas, flavonoides, triterpenos y esteroides (Sotelo-Leyva et al., 2023 y Hernández-Salinas et al., 2024).

Dado los desafíos actuales que enfrentan los sistemas de producción agrícola debido a la producción de alimentos sanos, inocuos, nutritivos, es elemental buscar nuevos modelos de producción que sustituyan el uso indiscriminado de insecticidas químicos sintéticos, siendo los insecticidas botánicos una de estas alternativas prometedoras para el control de plagas en almacenamiento como el gorgojo del maíz (*S. zeamais*), ya que son amigables con el medio ambiente y la salud de la persona quien lo aplica.



### 3. JUSTIFICACIÓN

La evaluación del extracto de las flores de *B. elegans* en el maíz almacenado podría proporcionar el beneficio de ser una solución biológica segura para el consumo humano y para maximizar el aprovechamiento del maíz frente al ataque del gorgojo (*S. zeamais*). Los criterios para la detección y evaluación de la resistencia del gorgojo en el maíz se basan en los siguientes aspectos: la cuantificación del daño causado por el insecto (porcentaje de daño, pérdida de peso y nivel de infestación), parámetros biológicos y reproductivos del insecto (supervivencia, oviposición, cantidad y calidad de la progenie, tiempo de desarrollo e índice de susceptibilidad) y características fenotípicas del grano (aspectos biofísicos, bioquímicos y fisiológicos) asociadas a la resistencia.

El control de plagas en los granos almacenados su finalidad es reducir o eliminar las pérdidas económicas, especialmente al dañarse la calidad del grano por infestación del insecto. Estos daños oscilan entre el 30 y el 40 % de la producción de maíz. En este sentido, es crucial buscar alternativas de bajo riesgo y fácil acceso para el pequeño agricultor de maíz. La utilización del extracto de *B. elegans* contra el gorgojo del maíz almacenado se presenta como una opción prometedora y sostenible que pudiera ayudar a reducir la reproducción de esta plaga. Sin embargo, solo existe evidencia científica que los extractos de *B. elegans* ayudan a reducir a las poblaciones del pulgón de la caña de azúcar. Por lo que es elemental evaluar los extractos de tallos de *B. elegans* contra el gorgojo (*S. zeamais*) en una raza de maíz nativo Tepecintle, que se cultiva ampliamente en la región de las Altas Montañas de Veracruz, México por parte de los pequeños agricultores. Este enfoque del empleo de insecticidas botánicos podría representar una alternativa viable y respetuosa con el medio ambiente y además no representan riesgos para la salud humana ni el entorno ecológico.



## 4. OBJETIVOS

### 4.1 General

Evaluar el efecto insecticida del extracto de *B. elegans* para el control de *S. zeamais* en maíz nativo de la raza Tepecintle en Las Altas Montañas de Veracruz, México.

### 4.2 Específicos

- a) Determinar la eficacia biológica del extracto de acetato de etilo y metanol obtenido de los tallos de *B. elegans* contra *S. zeamais* mediante bioensayos de contacto.
- b) Identificar los grupos de metabolitos secundarios presentes en los extractos de acetato de etilo y metanol de los tallos de *B. elegans*, utilizando cromatografía de gases y pruebas fitoquímicas cualitativas.

## 5. HIPÓTESIS

Los altos niveles de mortalidad del gorgojo del maíz en la raza Tepecintle se esperan alcanzar mediante la aplicación de dosis bajas del extracto de tallos de *B. elegans*.

Se espera que los extractos de acetato de etilo y metanol obtenidos de los tallos de *B. elegans* contendrán metabolitos secundarios con actividad insecticida contra *S. Zeamais*.

## 6. MARCO TEÓRICO

### 6.1 El maíz (*Zea mays* L.)

#### 6.1.1 Origen del maíz e importancia

La planta de maíz es una gramínea cuyo origen se remonta a una región específica de México y Mesoamérica entre los años 8,000 y 600 a.C. (Acosta, 2009), ha sido objeto de una amplia diversificación y domesticación en el país. Se han identificado 64 razas de maíz criollas en México, de las cuales 59 se consideran nativas, lo que representa aproximadamente el 29% del total estimado en el continente americano (CONABIO, 2020).

El maíz es un cultivo de suma importancia debido a su amplia adaptabilidad y múltiples usos en diferentes regiones geográficas. Además, es una fuente de nutrientes para los seres humanos y los animales, materia prima esencial para la industria (ASERCA, 2018). Su consumo abarca una amplia gama de gastronomía, desde tortillas, tostadas, totopos, bebidas, atoles, tamales, pozoles y palomitas de maíz (Oseguera y Ortega, 2016).

Desde el aspecto nutricional, el maíz es rico en calcio, fibra dietética, vitaminas del complejo B y ácidos grasos Omega 6, lo que contribuye a una alimentación saludable y equilibrada (Serna-Saldívar et al., 2013).



**Figura 1.** El maíz. Obtenida de ASERCA

(<https://www.gob.mx/aserca/articulos/maiz-grano-cultivo-representativo-de-mexico?idiom=es>).

#### 6.1.2 Clasificación taxonómica del maíz

Según la CONABIO (2011) el maíz se clasifica taxonómicamente de la siguiente manera:

- Reino: Plantae
- Subreino: Traqueobionta

- Superdivisión: Spermatophyta
- División: Magnoliophyta
- Clase: Liliopsida
- Subclase: Commelinidae
- Orden: Cyperales
- Familia: Poaceae
- Género: *Zea* L.
- Especie: *mays* L.

### **6.1.3 Descripción botánica**

La planta se clasifica como una monocotiledónea anual que puede alcanzar una altura de 60 a 80 cm. Es frondosa, con un sistema radicular fibroso y un tallo que presenta pocos macollos. Las yemas laterales en la axila de las hojas superiores de la planta desarrollan una inflorescencia femenina, conocida como mazorca, la cual está cubierta por hojas que actúan como reservas. Las mazorcas son espigas de forma cilíndrica que tienen un raquis central donde se insertan las espiguillas en pares. Cada espiguilla contiene dos flores, una fértil y otra abortiva, dispuestas en hileras paralelas (Sánchez, 2014).

### **6.1.4 Generalidades del maíz**

La planta de maíz es anual y generalmente tiene un ciclo de vida que varía de 110 a 150 días, dependiendo de la variedad y la época de siembra. El tallo puede alcanzar de uno a cinco metros de porte; mientras que, las raíces pueden alcanzar hasta dos metros de profundidad en el suelo. Este cultivo tiene altas demandas en cuanto a la intensidad de luz durante el día. El agua es esencial para el desarrollo del maíz, especialmente durante los períodos de germinación, floración y llenado del grano (López-Fleites et al., 2011).

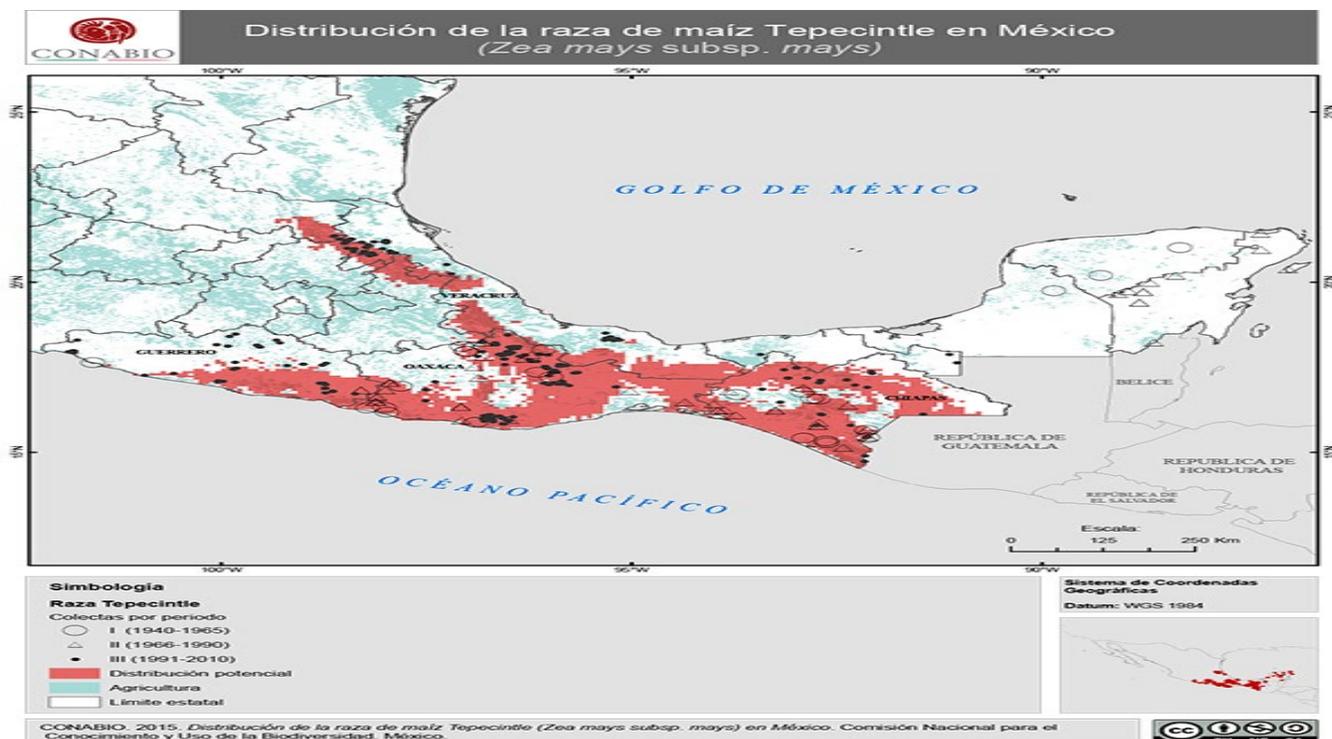
### **6.1.5 Descripción del maíz raza Tepecintle**

La raza Tepecintle (Figura 2) se caracteriza por tener mazorcas cilíndricas y granos dentados. Lo que la distingue son las puntas de sus olotes, que están descubiertas o desprovistas de grano. Esta variedad de maíz exhibe una amplia gama de colores, entre los que predominan los tonos blancos, amarillos y anaranjados (CONABIO, 2011; Wellhausen et al., 1951).



**Figura 2.** Muestra representativa de la raza Tepecintle. Foto tomada por Alterio Quevedo.

La raza de maíz Tepecintle es cultivada en zonas de ladera, de donde deriva su nombre ("Tepe" significa cerro o ladera y "cintle" significa maíz, lo que se traduce como "maíz de cerro"). También se cultiva en regiones de vega de río, conocidas como "chahuites" o "tonalmil", en los estados de Oaxaca y Chiapas (CONABIO, 2011; Wellhausen et al., 1951). Su distribución geográfica se muestra en la Figura 3.



**Figura 3.** Distribución de la raza de maíz Tepecintle en México. Obtenida de (<https://www.biodiversidad.gob.mx/diversidad/alimentos/maices/razas/grupo-DentadosT/Tepecintle>).

### 6.1.6 Plagas y enfermedades de maíz

Las plagas y enfermedades son factores significativos que pueden afectar la producción y calidad del grano de maíz, a continuación se enlistan algunas principales:

#### Plagas:

1. Gallina ciega (*Phyllophaga* spp.): Estos escarabajos son larvas que se alimentan de las raíces de las plantas de maíz, lo que puede causar daños significativos.
2. Gusano cogollero (*Helicoverpa armigera*): Esta plaga puede causar daños graves al alimentarse de las hojas y el cogollo del maíz, lo que puede resultar en una reducción del rendimiento.
3. Gorgojo de maíz (*Sitophilus zeamais*): Los gorgojos son insectos que se alimentan de los granos de maíz almacenados, lo que puede provocar pérdidas económicas significativas.
4. Palomilla dorada del maíz (*Sitotroga cerealella*): Esta plaga afecta los granos almacenados, causando daños en la calidad y reduciendo la vida útil del maíz almacenado (Hernández-Trejo et al., 2018).

## Enfermedades:

1. Roya por el género *Polysora*: Esta enfermedad fúngica afecta las hojas del maíz, causando manchas de color marrón rojizo que pueden reducir la capacidad fotosintética de la planta.
2. Tizón foliar por *Maydis*: Es una enfermedad causada por un hongo que provoca manchas necróticas en las hojas, lo que puede afectar el rendimiento del cultivo.
3. Tizón foliar por *Carbonum*: Otra enfermedad fúngica que afecta las hojas del maíz, causando manchas oscuras que pueden extenderse rápidamente y reducir la salud de la planta.
4. Mancha foliar por *Leptosphaeria*: Esta enfermedad también es causada por un hongo y puede provocar manchas necróticas en las hojas del maíz.
5. Pudrición de tallo por *Pythium*: Un hongo que afecta los tallos del maíz, causando pudrición y debilitando la planta.
6. Pudriciones de tallo por *Gibberella* y *Fusarium*: Estos hongos pueden causar pudrición de los tallos del maíz y afectar el rendimiento.
7. Pudriciones de mazorca por *Penicillium*: Los hongos del género *Penicillium* pueden causar pudrición en las mazorcas del maíz, lo que reduce su calidad y valor comercial.
8. Pudrición de mazorca por *Aspergillus*: Otro género de hongos que puede causar pudrición en las mazorcas del maíz, afectando su calidad y almacenabilidad (Hernández-Trejo et al., 2018).

### 6.1.7 Impacto de los insectos en los granos almacenados

Las pérdidas de rendimiento y la disminución del valor comercial del grano de maíz debido al ataque por el gorgojo del maíz conllevan a una disminución en los ingresos de los agricultores y pone en riesgo la seguridad alimentaria.

Según el estudio de Hernández-Mireles (2023), una gran proporción de pequeños agricultores en Las Altas Montañas de Veracruz enfrentan problemas con el gorgojo del maíz, así como con otras plagas y enfermedades que afectan el almacenamiento del maíz. Estos problemas pueden resultar en pérdidas en la calidad del grano, lo se convierte inercial e impacta negativamente en la economía de los agricultores y su capacidad para alimentar a sus familias. Es importante implementar estrategias efectivas de manejo integrado de plagas en el almacenamiento de maíz para reducir estas pérdidas y proteger los cultivos y los medios de vida de los agricultores. Esto puede incluir medidas de control biológico, uso de insecticidas naturales, mejoras en las prácticas de almacenamiento y monitoreo regular de los cultivos para detectar y abordar cualquier problema de manera oportuna.

### 6.1.8 Clasificación de las plagas

Es crucial comprender la clasificación de las plagas de almacenamiento para implementar estrategias efectivas de control.

Las plagas primarias son aquellas que atacan directamente los granos íntegros y pueden causar daños importantes durante el almacenamiento. El gorgojo del maíz, el barrenador grande del grano y la

palomilla de los granos son ejemplos de plagas primarias. Estas plagas suelen ser las más importantes y pueden multiplicarse rápidamente, causando daños graves en la calidad del grano si no se controlan adecuadamente.

Por otro lado, las plagas secundarias no atacan directamente los granos íntegros, sino que se alimentan de granos que ya han sido dañados por plagas primarias o que han sido sometidos a procesamiento o manejo. Aunque pueden no ser tan destructivas como las plagas primarias, las secundarias pueden causar daños y deben ser controladas para evitar pérdidas económicas. Ejemplos de plagas secundarias incluyen la polilla bandeada, el escarabajo castaño y el barrenillo de los granos.

Comprender la dinámica de estas plagas y tomar medidas preventivas y de control adecuadas es elemental para proteger los granos almacenados y evitar pérdidas económicas para los agricultores (Hernández-Trejo et al., 2018).

## 6.2 *Sitophilus zeamais*

### 6.2.1 Taxonomía del gorgojo

La taxonomía del gorgojo del maíz (*S. zeamais*) según Borror et al. (1979):

- Reino: Animalia
- Filo: Arthropoda
- Clase: Insecta
- Orden: Coleoptera
- Familia: Curculionidae
- Género: *Sitophilus*
- Especie: *zeamais*



**Figura 4.** Gorgojo del maíz (*S. zeamais*). Obtenida de (<https://plantwiseplusknowledgebank.org/doi/full/10.1079/pwkb.201578002881>)

### 6.2.2 Distribución e importancia de *S. zeamais*

*Sitophilus zeamais* es una plaga predominante en zonas cálidas y húmedas, particularmente se reproduce en regiones tropicales y subtropicales. Ha desplazado gradualmente al gorgojo del arroz en ciertos países con climas tropicales. Aunque su principal objetivo es el maíz, también puede atacar una variedad de otros cereales, causando enormes pérdidas en áreas con climas cálidos y húmedos, convirtiendo las semillas a polvo y cáscara (García et al., 2007).

Los adultos de *S. zeamais* pueden volar desde los graneros hasta los campos, donde comienzan las infestaciones mediante la ovoposición de huevecillos. Estos huevecillos pueden continuar después de la cosecha, convirtiéndose en una plaga demoledora en el almacén. Se considera una plaga primaria porque los adultos pueden dañar los granos sanos y las larvas se alimentan desde el interior de los mismos. Los adultos dejan orificios característicos en los granos al emerger. Aunque en harina y productos molidos se considera de importancia secundaria, ya que no es capaz de reproducirse (Torres, 2011).

### 6.2.3 Descripción fenotípica de *S. zeamais*

Este individuo presenta similitudes con el gorgojo del arroz (*S. oryzae*), pero se diferencia por ser de un color más oscuro y de mayor tamaño, con una longitud aproximada de 3.8 mm. En el protórax, se pueden observar puntos redondos sin dividirlo, y el edeago tiene una curvatura en forma de gancho, con la superficie dividida por dos canales. Además, posee alas posteriores funcionales. Esta descripción morfológica proporciona características distintivas que ayudan en la identificación de esta plaga (Pérez, 2009).

#### 6.2.3.1 Adulto

El gorgojo del maíz presenta un rostro particular y antenas en forma de codo, que son rasgos distintivos de la familia Curculionidae. Los adultos tienen una longitud que oscila entre 2.5 y 4 mm, y su coloración va desde el café hasta el negro, con tonalidades rojizas en ejemplares recién emergidos. El pronoto, la parte dorsal del tórax, es casi tan largo como los élitros, las cubiertas de las alas. Estas últimas tienen ranuras longitudinales. Además, los adultos exhiben cuatro manchas amarillentas o rojizas en los élitros. La principal discrepancia morfológica con *S. oryzae* radica en sus genitales (Casey, 2010).

#### 6.2.3.2 Huevo

Las larvas del gorgojo del maíz son de color blanco aperlado, y en ocasiones pueden tener tonalidades de café claro. Tienen una forma ovalada y son depositadas dentro de pequeños huecos que la hembra realiza en el grano. Estos huecos son sellados con una secreción que la hembra produce para proteger los huevos y las larvas en desarrollo (García, 2009).

### 6.2.3.3 Larva

Las larvas de *S. zeamais*, son apodas y de color blanco sucio. Tienen una forma redondeada, con una cápsula cefálica de color café claro. La cabeza es de color oscuro y el cuerpo es recurvado. Estas larvas suelen encontrarse dentro de túneles que han excavado dentro del grano (Torres, 2011).

### 6.2.3.4 Pupa

La pupa de *S. zeamais*, es del tipo exarate, lo que significa que los apéndices del insecto adulto están libres y no están adheridos al cuerpo. Tiene un color blanco aperlado y mide aproximadamente 5 mm de tamaño. Se encuentra ubicada en el interior del grano de maíz (García, 2009).

## 6.2.4 Biología, Hábitos y Daños

Los adultos del gorgojo del maíz son voladores, lo que les permite iniciar sus infestaciones en el campo antes de la cosecha. Las hembras adultas utilizan sus mandíbulas para arealizar un agujero en el grano, donde depositan un huevo y luego lo sellan con secreciones gelatinosas. Por lo general, cada hembra deposita solo un huevo por postura, pero puede poner entre 300 y 400 huevos a lo largo de su vida, que puede extenderse hasta cinco meses.

Los huevos son ovipositados durante todo el período de adulto, pero aproximadamente el 50% se deposita en las primeras cinco semanas. Cuando los huevos eclosionan, las larvas se alimentan del interior del grano, destruyendo el embrión en el proceso. La larva pasa por cuatro instares, siendo el último instar el más grande, llegando a medir unos 4 mm de longitud.

Al emerger como adultos, estos cortan agujeros circulares en la testa del grano y se alimentan del mismo. El ciclo de vida, desde el huevo hasta el adulto, es de aproximadamente cuatro semanas en condiciones óptimas de temperatura (30°C) y humedad relativa (70%), pero puede ampliarse hasta cinco meses a temperaturas más bajas.

Los daños causados por este insecto son similares a los del gorgojo del arroz, pero el gorgojo del maíz tiene una preferencia notable por el maíz, de ahí su nombre que se le atribuye. Ataca a granos cosechados de diversas especies (frijol, maíz, arroz, etc.), lo que ocasiona considerables pérdidas. Prefiere los climas cálidos y húmedos, donde puede convertir los granos a polvo y cáscara. Los adultos invaden los almacenes cuando terminan las cosechas y viceversa. En México, se estima que las pérdidas por este insecto en maíz almacenado son arriba del 20% (García-González, 2009).

## 6.2.5 Ciclo Biológico

El ciclo biológico de *S. zeamais*, es muy similar al de *S. oryzae*. Cada generación completa su ciclo en un promedio de 35 días. El período de incubación, que es el tiempo desde la puesta del huevo hasta la eclosión, dura alrededor de tres a cinco días. La etapa larvaria, durante la cual las larvas se desarrollan y se alimentan del interior del grano, dura de tres a cuatro semanas (García-González, 2009).

Después de la etapa larvaria, sigue el período prepupal, que varía de uno a dos días, y luego la etapa pupal, que dura de tres a seis días. Durante la fase pupal, la larva se transforma en un adulto completamente desarrollado. Una vez que el adulto emerge, está listo para continuar el ciclo de vida, que incluye la búsqueda de alimento y la oviposición en los granos. Este ciclo se repite, con cada generación produciendo una nueva cohorte de adultos y larvas (García-González, 2009).

### 6.2.6 Daños

El gorgojo del maíz (*S. zeamais*) representa un peligro significativo para los cereales almacenados, especialmente en países con climas cálidos. Este insecto puede atacar una variedad de cereales, incluyendo maíz, trigo, arroz, así como productos derivados como fideos, arvejas, piñones, castañas y semillas de algodón. Además, el adulto puede alimentarse de una amplia gama de productos, desde harina y galletas hasta tabaco y semillas de cáñamo (García et al., 2007). El daño directo causado por el gorgojo del maíz se produce cuando los insectos se alimentan del embrión o endospermo del grano, lo que resulta en pérdida de peso, reducción de la germinación y disminución de nutrientes. Esto afecta negativamente la calidad y el valor comercial del grano, lo que puede resultar en una disminución en su cotización en el mercado (Torres, 2011).

Además del daño directo, el gorgojo del maíz también puede causar daños indirectos. Por ejemplo, la contaminación por las deposiciones de los insectos, las telas formadas por las polillas y los cuerpos de los insectos pueden reducir la calidad del grano. Además, los insectos pueden dañar las estructuras de madera, instalaciones y equipos de almacenamiento, creando escondites para otros insectos y estableciendo focos de infestación (García, 2007).

Los granos infestados por el gorgojo del maíz también pueden experimentar calentamiento debido a la actividad metabólica de los insectos. Este calentamiento puede provocar la formación de "bolsas de calor", donde la temperatura aumenta y estimula una mayor actividad de los insectos, lo que conduce a una mayor infestación (González, 2009).

Por último, el tratamiento químico contra los insectos puede causar daños adicionales, incluyendo costos asociados con la adquisición de insecticidas, equipos de tratamiento fitosanitario y la generación de residuos tóxicos que pueden afectar tanto a los trabajadores como a los consumidores (Torres, 2007).

### 6.2.7 Control

La conservación de este grano durante el almacenamiento representa una necesidad crucial tanto en términos alimentarios como sociales y económicos. Se estima que entre el 5% y el 10% de la producción mundial se desperdicia debido a insectos presentes en los almacenes, lo que anualmente equivale a la cantidad de granos requerida para alimentar a 130 millones de personas. En América Central y México, las pérdidas en la reserva de frijoles alcanzan hasta un 35% según estimaciones (Permuy et al., 2008). Saini y Rodríguez (2004) destacan la importancia del control de plagas en los almacenes debido a los graves daños directos e indirectos que ocasionan. El daño directo incluye la pérdida de peso del grano, la reducción de su capacidad germinativa y la disminución de su valor nutricional. Por otro lado, los efectos secundarios, como la contaminación del producto almacenado

y la aparición de enfermedades graves asociadas, pueden hacer que el grano sea inutilizable para consumo animal y humano. Estos efectos pueden ser causados por exuvias, heces, problemas alérgicos, enfermedades hepáticas, contaminación por hongos y otros agentes (Saini y Rodríguez, 2004).

#### 6.2.7.1 Control biológico del gorgojo del maíz

La avispa (*Anisopteromalus calandrae* Howard) es el principal depredador natural del gorgojo del maíz, y es común encontrarla en los almacenes de maíz donde también se encuentra esta plaga (García-Lara, 2007).



**Figura 5.** La avispa *Anisopteromalus calandrae* Howard. Obtenida de (<https://agroproductores.com/sitophilus-zeamais-motschulsky/>)

#### 6.2.7.2 Control químico de *S. zeamais*

Algunos de los productos químicos utilizados para el control de *S. zeamais* incluyen malatión, espinosad, fosfuro de aluminio y deltametrina (carrillo- Bergvinson, 2007).

#### 6.2.8 Insecticidas químicos

El *Sitophilus zeamais*, representa una de las principales amenazas para el maíz almacenado, causando considerables pérdidas económicas cada año. Para combatir esta plaga, se suelen emplear diversos insecticidas sintéticos, los cuales pueden tener impactos negativos en el medio ambiente. Como alternativa, los aceites esenciales (AEs) han surgido como una opción para el control de esta plaga. Los AEs están compuestos por una variedad de compuestos puros en diferentes proporciones, entre los cuales se encuentra la sulcatona, un compuesto volátil presente en varios AEs de plantas aromáticas (Nava- Pérez et al., 2012); siendo el propósito de este estudio investigar la efectividad de la sulcatona contra el gorgojo del maíz. Los autores evaluaron la actividad insecticida, colocaron distintas cantidades del compuesto en un papel de filtro suspendido en la tapa de un frasco de vidrio de 100 mL (con concentraciones entre 33,54 y 134,1  $\mu$ M; con 10 repeticiones cada una), y se calculó

la CL95 utilizando el software SPSS. Además, para evaluar su capacidad repelente, se empleó un olfatómetro de dos vías que consistió en dos frascos conectados por una varilla de vidrio con un orificio central por donde se introdujeron 20 insectos, experimentando tres concentraciones (40  $\mu\text{M}$ , 4  $\mu\text{M}$  y 0,4  $\mu\text{M}$ ; con 10 repeticiones cada una) (García et al., 2007).

Los resultados mostraron que la CL95 de la sulcatona fue de 115,4  $\mu\text{M}$  (con un intervalo de confianza del 95% entre 110,7 y 121,1). Además, las tres concentraciones evaluadas resultaron ser repelentes, con valores medios y desviaciones estándar del porcentaje de repelencia de  $-92,1 \pm 3,2 \%$ ,  $-60,7 \pm 5,2 \%$  y  $-32,1 \pm 6,5 \%$  para las concentraciones de 40  $\mu\text{M}$ , 4  $\mu\text{M}$  y 0,4  $\mu\text{M}$ , respectivamente. Estos hallazgos sugieren que la sulcatona podría ser una alternativa natural prometedora para el control de *S. zeamais* durante el almacenamiento del maíz (García, 2007)

## 6.2.9 Metabolitos secundarios

Los metabolitos secundarios de las plantas engloban una amplia gama de compuestos químicos, generalmente producidos por la mayoría de las especies vegetales como respuesta al estrés biótico y abiótico (Hartmann, 2007). Estos compuestos poseen diversas propiedades biológicas y desempeñan funciones ecológicas; además, de ser reconocidos por sus múltiples usos y aplicaciones, tales como medicamentos, insecticidas, herbicidas, perfumes y colorantes (Ávalos y Pérez, 2009).

### 6.2.9.1 Principales clases de metabolitos secundarios

**Los terpenos o terpenoides**, con una cantidad conocida de más de 30,000 metabolitos, constituyen el grupo más diverso de productos secundarios de las plantas (PSM). Son los principales componentes de los aceites esenciales y poseen propiedades que incluyen la repelencia, la inhibición del apetito y la prevención de la ovoposición (Hartmann, 2007).

**Los compuestos fenólicos**, con alrededor de 10,000 aislados hasta la fecha, exhiben una gran diversidad. Las ligninas y los taninos, compuestos hidroxilados, pueden actuar como agentes antialimentarios; particularmente, los taninos funcionan como barreras debido a su sabor amargo, mientras que las cumarinas inhiben el crecimiento de hongos y son tóxicas para nematodos, ácaros e insectos (Hopkins, 2003).

**Los alcaloides**, con unos 10,000 compuestos aislados, son el grupo más diverso de metabolitos secundarios, presentando una amplia variedad de efectos tóxicos. Un ejemplo notable es la nicotina (Cushnie, Cushnie y Lamb, 2014).

**Los glicósidos**, metabolitos vegetales de gran importancia, incluyen las saponinas, los glicósidos cardiacos y los glicósidos cianogénicos. El nombre deriva del enlace glicosídico formado cuando una molécula de azúcar se une a otra que contiene un grupo hidroxilo (Ávalos y Pérez, 2011).



### 6.2.10 Extractos vegetales como insecticida

- En un estudio realizado por Iannacone et al. (2005), se investigó la efectividad de infusiones acuosas de cilantro (*Coriandrum sativum* L), tara (*Caesalpinia spinosa*), amor seco (*Bidens pilosa* L) y saúco (*Sambucus peruviana*) sobre adultos de *Sitophilus zeamais* Motschulsky y *Stegobium paniceum*.
- Mora-Ojendiz et al. (2012) utilizaron aceite de extracto de orégano (*Lippia berlandieri*) para el control de *S. zeamais*.
- De Assis et al. (2014) evaluaron extractos vegetales como *Piper nigrum* L. y *Annona squamosa* L. para el control de *S. zeamais*, encontrando un porcentaje de repelencia del 86-75% y una mortalidad del 98% en adultos.
- Reyes-Zavala et al. (2018) demostraron la efectividad de extractos de *Baccharis heterophylla*, *Argemone ochroleuca*, *T. lucida* y *B. salicifolius* en la mortalidad de adultos de *S. zeamais*.

### 6.3 *Bessera elegans* (Schulf. F.)

#### 6.3.1. Nombres

##### Otros nombres comunes en español:

- Arete
- Zarcillo

##### Taxonomía:

- **Reino:** Plantae
- **Subreino:** Traqueobionta (plantas vasculares)
- **Superdivisión:** Spermatophyta (plantas con semillas)
- **División:** Magnoliophyta (plantas con flor)
- **Clase:** Liliopsida (monocotiledóneas)
- **Subclase:** Liliidae
- **Orden:** Liliales.



**Figura 6.** Planta *bessera elegans* (Schulf. F.). Obtenida de <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/amaryllidaceae/bessera-elegans/fichas/ficha.htm>

### 6.3.2. Origen y distribución geográfica:

- Área de origen: México (Bailey y Bailey, 1976).
- Distribución en México: Reportada en Aguascalientes, Colima, Estado de México, Guerrero, Jalisco, Michoacán, Morelos, Nayarit, Sinaloa y Veracruz, según el sitio de Trópicos.
- Estatus migratorio en México: Nativa y endémica al país.

### 6.3.3. Identificación y descripción:

- Descripción técnica:
  - Hábito y forma de vida: Hierbas con bulbos globosos cubiertos de capas membranosas, secas y de color café.
  - Tamaño: Aproximadamente 90 cm de alto.
  - Hojas: Basales, una o más, verdes, largas y muy angostas.
  - Inflorescencia: Varias flores, generalmente colgantes, en largos pedicelos que forman una umbela en la punta de un largo tallo florífero (escapo) que sale directamente del bulbo.
  - Flores: Vistasas, de color escarlata a púrpura, con un perianto en forma de tubo corto y acampanado que se divide en 6 largos lóbulos con anchas bandas blancas en su cara interna; estambres 6, con filamentos unidos desde la base hasta la mitad de su longitud, más largos que el perianto.
  - Frutos y semillas: Cápsula que se abre en la madurez, con semillas negras y aplanadas.



**Figura 7.** *Bessera elegans* y *Milla biflora*. Obtenida de ([https://www.actahort.org/books/1240/1240\\_1.htm](https://www.actahort.org/books/1240/1240_1.htm))

#### 6.3.4. Impacto e importancia

- Usos:

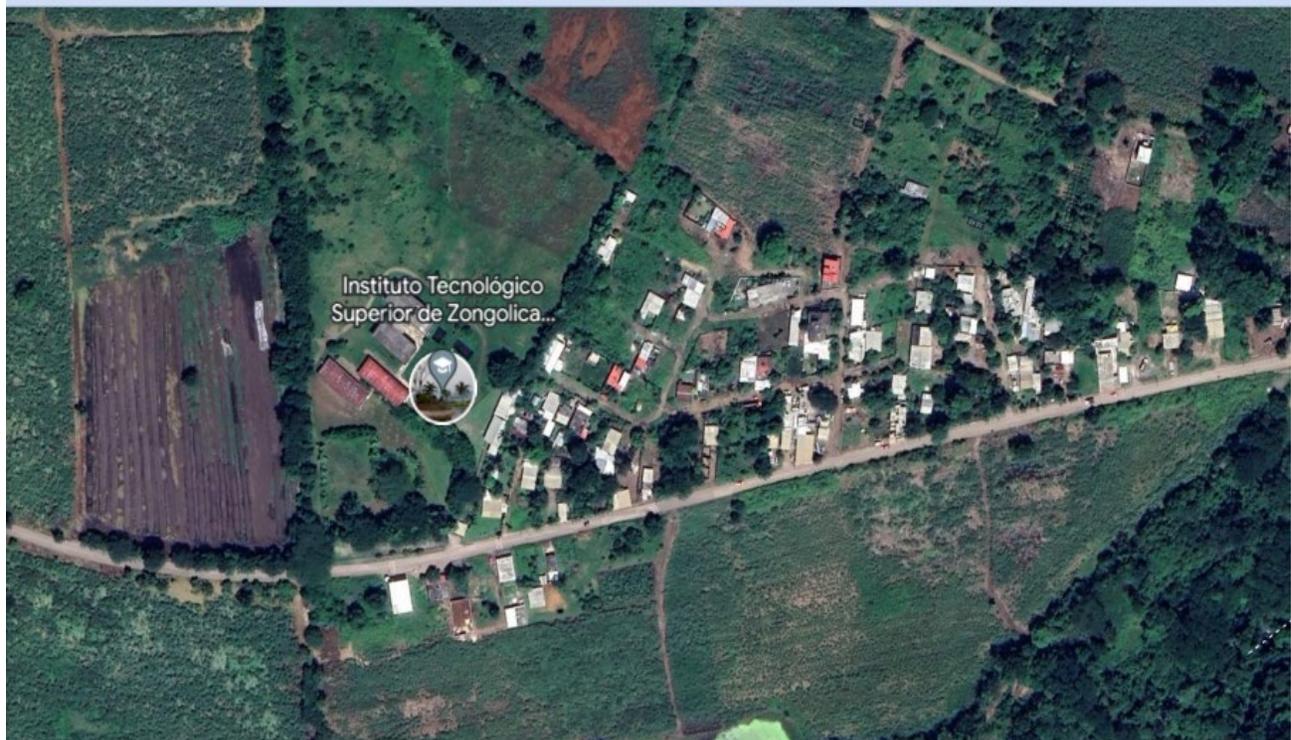
La planta de *B. elegans* se cultiva como planta ornamental, con variedades mejoradas disponibles. Aunque en algunas regiones de México, se utiliza por sus propiedades insecticidas (Bailey, 1976).

- El Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco (CIATEJ) en México lleva a cabo programas de domesticación y mejoramiento de diversas especies ornamentales de *B. elegans* nativas de México. Estas especies, recolectadas del medio silvestre, ahora forman parte de una colección mantenida en el CIATEJ.

## 7. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA O LUGAR DE ESTUDIO

### 7.1 Ubicación del experimento

El estudio se llevó a cabo desde agosto hasta diciembre de 2023 en el laboratorio del Instituto Tecnológico Superior de Zongolica, extensión Tezonapa, Veracruz. El municipio de Tezonapa se encuentra ubicado en el estado de Veracruz, con las siguientes coordenadas geográficas: Latitud  $18^{\circ}36'25''$  N, Longitud  $96^{\circ}41'03''$  O, y una altitud sobre el nivel del mar de aproximadamente 1500 m (Figura 8).



**Figura 8.** Localización del laboratorio Instituto Tecnológico Superior de Zongolica extensión Tezonapa. Obtenida de Google Earth.

## 8. MÉTODO

### 8.1 Material botánico

Las plantas de *B. elegans* fueron recolectadas entre los meses de julio y agosto de 2021 en el camino a Llanos de Tepoxtepec, Km 1.3, Chilpancingo, Guerrero, México (17°47'66.89" LN; -99°52'77.58" LO; 2,334 m). Para la identificación de la especie vegetal, se envió un ejemplar al taxónomo Gabriel Flores Franco, curador del Herbario del Centro de Investigación en Biodiversidad y Conservación de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Una muestra fue depositada en dicho herbario con el número de voucher 34,995.

Los tallos de *B. elegans* se secaron a la sombra y a temperatura ambiente. Posteriormente, el material seco (145 g) se trituró manualmente y se maceró con disolventes de polaridad intermedia: Metanol (500 mL, 72 h, tres veces) y acetato de etilo (500 mL, 72 h, tres veces) (Sotelo-Leyva et al., 2023). El disolvente se eliminó completamente por destilación a presión reducida utilizando un evaporador rotatorio a 45°C. El extracto se refrigeró a 4°C hasta su uso posterior (Sotelo-Leyva et al., 2023).

### 8.2 Recolección, cría y reproducción de *Sitophilus zeamais*

Los insectos fueron recolectados en los almacenes del productor Alterio Quevedo Prieto, de la comunidad Ixtacapa el Grande, Veracruz. Posteriormente, fueron trasladados al laboratorio del Instituto Tecnológico Superior de Zongolica, donde se llevó a cabo la primera fase de la investigación. Se inspeccionó una población de gorgojos adultos y fueron colocados en recipientes con capacidad de 5 kg para su alimentación y observación durante un período de cuatro semanas. Este período sirvió para eliminar a todos aquellos especímenes que estuvieran enfermos o contagiados de alguna enfermedad (período cuarentenario). Una vez transcurridas las cuatro semanas, se observó la población y se seleccionaron nuevamente todos los gorgojos en buenas condiciones, es decir, aquellos que presentaban facilidad de movilidad, estructuras completas, limpieza y buena salud. Estos gorgojos se colocaron en otro recipiente de plástico con capacidad para 5 kg para su alimentación y reproducción, los cuales sirvieron para pie de cría. A cada recipiente se le confeccionó una ventana con tela de malla para facilitar la ventilación. Para la conservación y reproducción del gorgojo, se revisó la cámara cada 15 días para suministrarles su alimentación, que consistió en grano de maíz.



Durante este tiempo se estuvo monitoreando y obteniendo la emergencia de los insectos F1 que fueron empleados en los bioensayos (Hernández-Salinas et al., 2024).

### **8.3 Bioensayos de mortalidad por contacto**

Se adquirieron frascos de plástico con capacidad de 1 litro, a los cuales se les realizó una perforación en la parte superior de la tapa y se cubrieron con malla para permitir la ventilación del insecto. El maíz utilizado perteneció a la raza Tepecintle, clasificada por el Dr. Rafael Ortega Paczka, y fue recolectado en la localidad de Ixtacapa el Grande, Tezonapa, Veracruz, siendo la raza más comúnmente cultivada en la zona por los agricultores locales. Las mazorcas fueron desgranadas y se utilizaron en los bioensayos cuando alcanzaron una humedad del 11.0%, medida con un medidor de humedad de grano AMTAST USA INC. Cada frasco de plástico contenía 100 gramos de maíz raza Tepecintle, mezclado con 5 mL de una solución de extracto de *B. elegans* diluida en acetato de etilo y metanol a concentraciones de 10, 50, 100, 200 y 300 gL<sup>-1</sup> de extracto, además de un control negativo de 100% acetato de etilo y metanol, y un control positivo de 5% de Malatión (Hernández-Salinas et al., 2024). Cada tratamiento se replicó 5 veces bajo un diseño experimental completamente al azar. Los granos de maíz fueron lavados y sometidos a las condiciones sugeridas por Palavecino-De la Fuente et al. (2022).

Con la ayuda de una jeringa, se depositaron 5 mL de la solución en los distintos frascos de plástico que contenían 100 g de maíz de la raza Tepecintle, previamente pesados y etiquetados con el número correspondiente de tratamiento. Se esperó 24 horas para que ocurriera la evaporación del disolvente. Pasado este tiempo, cada frasco se infestó con 10 pares de gorgojos de maíz en una proporción sexual de 1:1, y se evaluó la mortalidad de los insectos a las 24, 48, 72 horas y 7 días después de la infestación (DDI), siguiendo el método descrito por Palavecino-De la Fuente et al. (2022).

A los 55 DDI se evaluó la pérdida de peso y la germinación del grano. La pérdida de peso del grano se calculó mediante la diferencia de peso entre el peso inicial (100 gramos) y el peso final del grano a los 55 DDI. Se realizó, a los 55 DDI, la prueba de germinación para cada tratamiento, tomando al azar 20 semillas (sin ningún daño físico o biológico) de cada unidad experimental. Estas semillas se pusieron a germinar en el método entre papel propuesto por la ISTA (2016).



#### **8.4 Tratamientos**

Se evaluaron cinco tratamientos correspondientes al extracto de tallos de *B. elegans*, siendo: 10, 50, 100, 200 y 300 g L<sup>-1</sup>, más un control positivo (5 % Malatión) y un control negativo (100 % solvente de Metanol y Acetato de etilo), sumando un total siete tratamientos con cinco repeticiones.

#### **8.5 El diseño experimental y análisis estadístico**

Los siete tratamientos se sometieron a un diseño experimental completamente al azar. Los datos de todas las variables evaluadas (mortalidad de insectos, peso de semillas y germinación de semillas) fueron analizados mediante las pruebas de Shapiro-Wilk y Levene para contrastar los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas, respectivamente. Posteriormente, con las variables que cumplieron con los supuestos de normalidad se realizó un análisis de varianza (ANOVA) y una prueba de Tukey para la comparación de medias ( $P \leq 0,05$ ) entre tratamientos. Los análisis se llevaron a cabo utilizando el programa de cómputo SPSS versión 21.

## 9. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**Bioensayos de mortalidad por contacto.** En el estudio, las concentraciones de 10, 50, 100, 200 y 300 g.L<sup>-1</sup> de acetato de etilo del tallo de *B. elegans* mostraron una alta mortalidad (>96%;  $P \leq 0.05$ ) de los adultos de *S. zeamais* después de 7 días, en comparación con el control negativo (100% acetato de etilo). A los 7 DDI, la concentración de 10 gL<sup>-1</sup> de acetato de etilo del *B. elegans* demostró una efectividad similar ( $P \geq 0.05$ ) a los tratamientos de 50, 100, 200 y 300 gL<sup>-1</sup>. Además, a los 7 días después de la aplicación de los tratamientos, las concentraciones de 10, 50, 100, 200 y 300 gL<sup>-1</sup> de acetato de etilo de *B. elegans* mostraron una mortalidad estadísticamente similar de los gorgojos adultos ( $P \geq 0.05$ ) en comparación con el control negativo (acetato de etilo) (Cuadro 1). En contraste, el control negativo (malatión) demostró una significativa mortalidad del 80.5% después del día 7. Este resultado difiere de otros estudios como el de Barre y Jenber (2022), quienes reportaron una mortalidad del 100% de los gorgojos adultos frente a varios tratamientos en granos de maíz. Rangel-Fajardo et al. (2020) también encontraron que el componente genético del maíz influye en la efectividad contra el gorgojo con polvos de *D. ambrosioides*. Además, Jiménez-Galindo et al. (2023) identificaron altos niveles de resistencia al gorgojo en ciertas razas de maíz mexicanas.

**Tabla 1.** Mortalidad de *S. zeamais* a las 24, 48 y 72 horas y 7 días después de la aplicación de los tratamientos del solvente de Acetato de Etilo.

Tratamiento (gL <sup>-1</sup> )	24 horas (%)	48 horas (%)	72 horas (%)	7 días (%)
10	10 ± 0.0 f	20 ± 0.0 f	60 ± 0.0 c	100 ± 0.0 a
50	10 ± 0.0 f	25 ± 0.0 e	50 ± 0.0 e	100 ± 0.0 a
100	20 ± 0.0 e	30 ± 0.0 d	45 ± 0.0 f	100 ± 0.0 a
200	24 ± 2.2 d	44 ± 2.2 c	55 ± 0.0 d	100 ± 0.0 a
3008	30 ± 0.0 c	45 ± 0.0 c	60 ± 0.0 c	100 ± 0.0 a
Control positivo (Malatión)	33 ± 2.7 b	52 ± 2.7 b	69 ± 2.2 b	100 ± 0.0 a
Control negativo (Acetato de etilo)	40 ± 0.0 a	60 ± 0.0 a	80 ± 0.0 a	100 ± 0.0 a

Medias con letras iguales en cada columna no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05).

En el presente estudio las concentraciones de 10, 50, 100, 200 y 300 gL<sup>-1</sup> de metanol del tallo de *B. elegans* mostraron una alta mortalidad (>96%;  $P \geq 0.05$ ) de los adultos de *S. zeamais* en comparación

con el control negativo (100% metanol) a los 24 h, 48 h y 7 días. A los 24 h, 48 h y 7 DDI, la concentración de 10 gL<sup>-1</sup> de metanol del *B. elegans* demostró una efectividad similar ( $P \geq 0.05$ ) a los tratamientos de 50, 100, 200 y 300 gL<sup>-1</sup>. En el análisis comparativo, a los 24 h después de la aplicación de los tratamientos, las concentraciones de 10, 50, 100, 200 y 300 gL<sup>-1</sup> de metanol del *B. elegans* tuvieron una mortalidad estadísticamente mayor de los gorgojos adultos ( $P \leq 0.05$ ) que el control negativo (metanol) (Cuadro 2). Estudios anteriores, como el de Silva et al. (2005), utilizaron polvos de hojas de *Chenopodium ambrosioides* y encontraron que a mayores concentraciones del 1.0%, la mortalidad del gorgojo superaba el 90% después de 15 DDI. Esto sugiere que el tiempo de exposición del gorgojo a los tratamientos de extractos de plantas juega un papel importante en el aumento de la mortalidad del insecto. Además, otros estudios han señalado que características morfológicas y genéticas del maíz también pueden influir en la susceptibilidad de los granos al ataque de *S. zeamais*.

**Tabla 2.** Mortalidad de *S. zeamais* a las 24, 48 y 72 horas y 7 días después de la aplicación de los tratamientos del solvente de Metanol.

Tratamiento (gL <sup>-1</sup> )	24 horas (%)	48 horas (%)	72 horas (%)	7 días (%)
10	12 ± 2.7 a	26 ± 4.1 a	37 ± 4.4 d	100 ± 0.0 a
50	17 ± 2.7 a	27 ± 4.4 a	44 ± 5.4 cd	100 ± 0.0 a
100	14 ± 2.2 a	25 ± 3.5 a	47 ± 2.7 c	100 ± 0.0 a
200	14 ± 2.2 a	26 ± 4.1 a	48 ± 2.7 bc	100 ± 0.0 a
300	16 ± 4.2 a	26 ± 4.1 a	51 ± 4.2 bc	100 ± 0.0 a
Control positivo	13 ± 2.7 a	23 ± 2.7 a	56 ± 4.2 ab	100 ± 0.0 a
Control negativo	13 ± 2.7 a	27 ± 4.4 a	60 ± 6.1 a	100 ± 0.0 a

Medias con letras iguales en cada columna no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05).

**Pérdida de peso.** Después de los 55 DDI, el peso del grano de maíz de la variedad Tepecintle varió entre el 1.5% y el 4.2%. Sin embargo, el análisis estadístico no reveló diferencias significativas ( $P \geq 0.05$ ) entre el tratamiento que empleó el solvente de acetato de etilo con el extracto de *B. elegans* y los controles positivo y negativo (Cuadro 3). La concentración más alta de extracto de tallo con acetato de etilo de *B. elegans* registró un valor del 4.2% (Cuadro 3). Este promedio es similar al reportado por Rangel-Fajardo et al. (2020), quienes usaron polvos de la planta completa de *D. ambrosioides* y observaron promedios de pérdida de peso más bajos (3.15%) con dosis altas de 10 g de epazote por kg de semillas.

**Tabla 3.** Medias de la pérdida de peso del grano de maíz raza Tepecintle después de 55 días de la infestación por *S. zeamais*.

Tratamiento (gL <sup>-1</sup> ) de solvente de acetato de etilo	Media (%)	Desviación estándar
10	2.5 bcd	0.27
50	2.0 cd	0.60
100	1.5 d	0.67
200	2.0 cd	1.53
300	4.2 a	0.85
Control positivo	4.1 ab	0.71
Control negativo	3.7 abc	0.48

Medias con letras iguales en cada columna no son estadísticamente diferentes (Tukey,  $P \geq 0.05$ ).

El peso del grano de maíz raza Tepecintle después de 55 DD osciló entre el 2.3% y el 3.7%. Sin embargo, el análisis de varianza no mostró diferencias significativas ( $P \geq 0.05$ ) entre el tratamiento que utilizó solvente de metanol con extracto de *B. elegans* y los controles positivo y negativo (Cuadro 4). La concentración más alta de extracto de tallo con metanol de *B. elegans* registró un valor del 3.7% (Cuadro 4). Hernández-Salinas et al. (2024) encontraron que el peso del grano de maíz Ratón a los 55 DDI osciló entre 0,3 y 3,4%, pero el análisis de varianza no mostró diferencias significativas ( $P \geq 0,05$ ) entre los tratamientos con extracto de *D. ambrosioides* y los controles positivos y negativos. En un estudio realizado por Higuera et al. (2021) con polvos de hojas de *Eucalyptus*, se reportaron valores menores de pérdida de peso en granos de maíz, alcanzando un máximo del 11.3% con concentraciones de 8.0%. Barre y Jenber (2022), al estudiar polvos de semillas de *Azadirachta indica* y hojas de *Allium sativum*, encontraron promedios de pérdida de peso de 0.0% y 1.4%, respectivamente, en granos de maíz. Estos mismos autores registraron una alta pérdida de peso del 5.0% en la raíz de *Zingiber officinale*. Esto sugiere que la especie de la planta con propiedades insecticidas y el órgano utilizado pueden ser determinantes en la infestación por *S. zeamais*, conllevando a una pérdida de peso de la semilla de maíz.

**Tabla 4.** Medias de la pérdida de peso del grano de maíz raza Tepecintle después de 55 días de la infestación por *S. zeamais*.

Tratamiento (gL <sup>-1</sup> ) de solvente de Metanol	Media (%)	Desviación estándar
10	2.6bc	0.59
50	2.4c	0.68
100	2.6bc	0.53
200	2.3c	0.33
300	3.7a	0.20
Control positivo	3.4ab	0.280
Control negativo	3.6a	0.36

Medias con letras iguales en cada columna no son estadísticamente diferentes (Tukey,  $P \geq 0.05$ ).

**Germinación.** El tratamiento con 10 gL<sup>-1</sup> de solvente de acetato de etilo mostró los mejores resultados, alcanzando una media de germinación del 72.00% en comparación con el control negativo (100% acetato de etilo) y la formulación con 300 g de extracto de *B. elegans*, los cuales presentaron una menor germinación de semillas de maíz (Cuadro 5). Estos resultados contrastan con los informados por Barre y Jenber (2022), quienes evaluaron diversas dosis de polvos de *Azadirachta indica*, *Lantana camara*, *Zingiber officinale*, *Allium sativum* y *Schinus molle*, así como el control positivo (Malatión), y reportaron una germinación del 100% en las semillas de maíz.

**Tabla 5.** Medias de la germinación en semillas de maíz raza Tepecintle después de los 55 días de infestación por *S. zeamais*.

Tratamiento (gL <sup>-1</sup> ) de solvente de acetato de etilo	Media (%)	Desviación estándar
10	72 a	20.1
50	61 a	6.5
100	51 a	2.2
200	63 a	10.3
300	56 a	6.5
Control positivo	58 a	9.1
Control negativo	57 a	13.0

Medias con letras iguales en cada columna no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05).

El tratamiento con 50 gL<sup>-1</sup> de solvente de metanol mostró el mejor resultado al alcanzar una media de germinación del 79.00% en comparación con el control positivo (100% metanol) y la formulación con 300 g de extracto de *B. elegans*, los cuales presentaron una mayor germinación de semillas de maíz (Cuadro 6). Palavecino-De-La-Fuente et al. (2022), al estudiar extractos hidroalcohólicos del hongo *P. ostreatus* contra el gorgojo, registraron valores de germinación que oscilaban entre el 77.5% y el 97.5%. A partir de nuestros hallazgos, se puede inferir que los solventes de extracto de *B. elegans* afectan parcialmente a la germinación del maíz de la raza Tepecintle, ya que se obtuvo una fluctuación entre el 51 y 79 % de germinación (Cuadros 5 y 6). Por lo tanto, esta tecnología podría ser utilizada en el futuro por los pequeños productores de maíz nativo de México para la conservación de los granos después de la cosecha (Hernández-Salinas et al., 2024).

**Tabla 6.** Medias de la germinación en semillas de maíz raza Tepecintle después de los 55 días de infestación por *S. zeamais*.

Tratamiento (gL <sup>-1</sup> ) de disolvente de Metanol	Media (%)	Desviación estándar
10	60 a	22.4
50	79 a	17.5
100	62 a	13.0
200	57 a	10.4
300	61 a	19.2
Control positivo	63 a	13.0
Control negativo	69 a	15.2

Medias con letras iguales en cada columna no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05).

**Rendimiento.** Los rendimientos obtenidos fueron de 11.04% a 7.1% en el extracto del tallo seco de *B. elegans* (150 g) en 1 L de disolvente tanto de metanol como de acetato de etilo (Cuadro 7). El mayor rendimiento con metanol podría explicarse porque se extraen los remanentes de lípidos después de una extracción exhaustiva. Ambos disolventes por su polaridad intermedia, también extraen componentes no polares que no se extraen con otros disolventes (Cuadro 7). Según Kulbat-Warycha et al. (2022) el rendimiento de extracción más alto se obtuvo con EASU (20.58%) ( $P \leq 0.05$ ), lo que representó un 39.33% más que el de EC (Figura 1). Aunque la EABU tuvo un rendimiento menor (10.11%), su tiempo de proceso fue 216 veces inferior al de EC (60 min frente a 216 h).

**Tabla 7.** Rendimiento del extracto Metanol y Acetato de Etilo con *B. elegans*.

Disolvente	Material vegetal (g)	Total de extracto (g)	Rendimiento (%)
Metanol	150 g	16.56 g	11.04 %
Acetato de etilo		10.91 g	7.27%

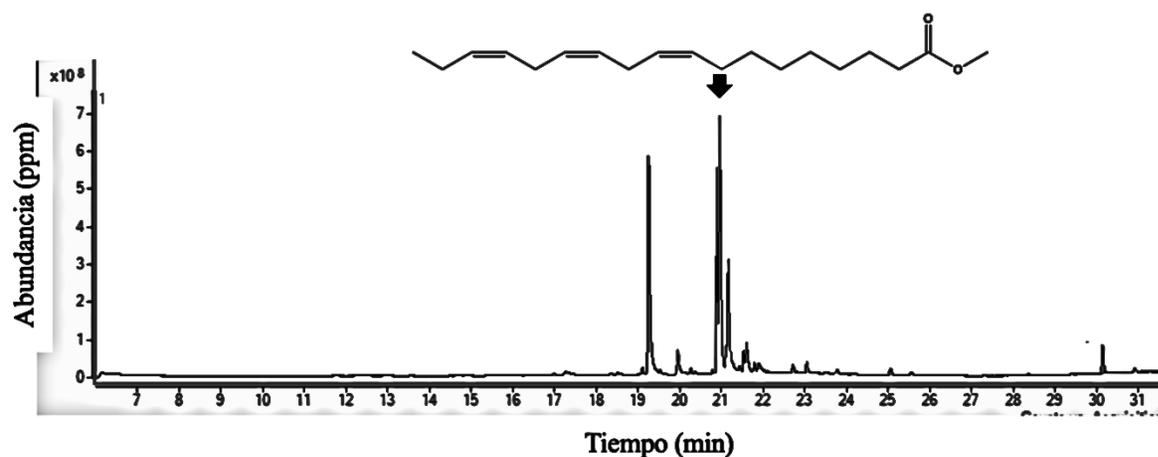
## Análisis fitoquímicos del extracto *B. elegans*

Las pruebas químicas no detectaron la presencia de alcaloides ni taninos (Cuadro 8). En un estudio realizado por Ramos et al. (2020) en extractos hidroalcohólicos de tallos y hojas de Huayrul (*Erythrina velutina*), se encontraron diversos metabolitos, como taninos condensados, flavonoides, derivados cinámicos, terpenos y esteroides, cumarinas, saponinas, azúcares reductores y alcaloides, con diferencias significativas entre las partes de la planta. Además, según Wu et al. (2020), muchos metabolitos activos de las plantas se expresan en respuesta a estímulos bióticos o abióticos. Por otro lado, Godlewska et al. (2021) sugieren que los compuestos bioactivos como las cumarinas y los flavonoides son metabolitos secundarios aromáticos, lo cual concuerda con el perfil fitoquímico del epazote (*Dysphania ambrosioides*) una hierba aromática utilizada en la gastronomía mexicana. Sotelo-Leyva et al. (2023) en pruebas cuantitativas encontraron en el extracto de *n-hexano* de flores en *B. elegans* hallaron principalmente compuestos saturados, esteroides, y ácidos grasos y ésteres alifáticos en menores proporciones, pero juntos suman el 99.76 % del extracto total. De lo anterior, se puede deducir que el tipo de disolvente orgánico y el tipo de órgano de la planta es determinante en la presencia de ciertos compuestos bioactivos.

**Tabla 8.** Análisis fitoquímicos del extracto metanol de tallos de *B. elegans*.

N o	Compuestos	Tiempo de retención (min)	Fórmula molecular	Abundancia (%)
1	Ácido 7-Hexadecenoico, metil ester, (Z)-	17.272	C <sub>17</sub> H <sub>32</sub> O <sub>2</sub>	1.02
2	Ácido 9-Hexadecenoico, metil ester, (Z)-	19.107	C <sub>17</sub> H <sub>32</sub> O <sub>2</sub>	0.48
3	Ácido hexadecanoico, metil ester	19.25	C <sub>17</sub> H <sub>34</sub> O <sub>2</sub>	24.97
4	Ácido ciclopropanobutanoico, 2-[[2-[[2-(2-pentilciclopropil)metil]ciclopropil]metil]ciclopropil]metil]-, éster metílico	19.53	C <sub>25</sub> H <sub>42</sub> O <sub>2</sub>	0.69
5	Ácido hexadecanoico, etil ester	19.951	C <sub>18</sub> H <sub>36</sub> O <sub>2</sub>	3.04
6	Ácido hexadecanoico, 14-metil-, metil ester	20.276	C <sub>18</sub> H <sub>36</sub> O <sub>2</sub>	0.48
7	Ácido 9,12-Octadecadienoico (Z,Z)-, metil ester	20.897	C <sub>19</sub> H <sub>34</sub> O <sub>2</sub>	13.01
8	Ácido 9,12,15-Octadecatrienoico, metil ester	20.965	C <sub>19</sub> H <sub>32</sub> O <sub>2</sub>	28.97
9	Estearato de metilo	21.171	C <sub>19</sub> H <sub>38</sub> O <sub>2</sub>	14.10
10	Acetato de Z-(13,14-epoxi)tetradec-11-en-1-ol	21.449	C <sub>16</sub> H <sub>28</sub> O <sub>3</sub>	0.35

1	1	Ácido linoléico etil ester	21.536	C <sub>20</sub> H <sub>36</sub> O <sub>2</sub>	1.57
1	2	Ácido 9,12,15-octadecatrienoico, etil ester	21.608	C <sub>20</sub> H <sub>34</sub> O <sub>2</sub>	3.17
1	3	Ácido octadecanoico, etil ester	21.801	C <sub>20</sub> H <sub>40</sub> O <sub>2</sub>	0.69
1	4	1,18-Nonadecadieno-7,10-diona	21.904	C <sub>19</sub> H <sub>32</sub> O <sub>2</sub>	1.27
1	5	Acetato 7-metil-Z-tetradecen-1-ol	22.72	C <sub>17</sub> H <sub>32</sub> O <sub>2</sub>	0.58
1	6	Ácido eicosanoico, metil ester	23.048	C <sub>21</sub> H <sub>42</sub> O <sub>2</sub>	1.00
1	7	Acetato 7-metil-Z-tetradeceno-1-ol	23.772	C <sub>17</sub> H <sub>32</sub> O <sub>2</sub>	0.33
1	8	Heptacosano	25.06	C <sub>27</sub> H <sub>56</sub>	0.64
1	9	Ácido docosanoico, metil ester	25.565	C <sub>23</sub> H <sub>46</sub> O <sub>2</sub>	0.36
2	0	Escualeno	30.148	C <sub>30</sub> H <sub>50</sub>	2.89
2	1	Tris(terc-butildimetilsililoxi) arsano	30.92	C <sub>18</sub> H <sub>45</sub> AsO <sub>3</sub> Si <sub>3</sub>	0.38
1		Total			99.31



**Figura 9.** Cromatograma de gases y estructura química del ácido 9,12,15-octadecatrienoico, metil ester, identificado como el compuesto principal en el extracto de acetato de etilo de tallos de *B. elegans*.

### Identificación de metabolitos secundarios

Las pruebas fitoquímicas clásicas realizadas al extracto de etanol de *B. elegans* revelaron una alta presencia de flavonoides y antracenos, así como resultados positivos para cumarinas, triterpenos y esteroides, y una débil positividad para saponinas (Cuadro 9). En un estudio realizado por Hernández-Salinas et al. (2024) con extracto de acetona de *D. ambrosioides*, reportaron metabolitos secundarios como cumarinas, flavonoides, triterpenos y esteroides. La investigación sobre el efecto insecticida de compuestos polifenólicos de tipos flavonoides es escasa; sin embargo, Sotelo-Leyva et al. (2020) identificaron el flavonoide rutina en un extracto metanólico de las hojas de *D. viscosa*, que tuvo un efecto tóxico en una dieta artificial contra *M. sacchari*. El efecto insecticida de los flavonoides glicosilados también se ha demostrado contra otros insectos. Ramos et al. (2020) encontraron metabolitos en extractos hidroalcohólicos de tallos y hojas de *Erythrina velutina*; por ejemplo, en las hojas encontraron taninos condensados, flavonoides, derivados cinámicos, terpenos, esteroides, cumarinas, saponinas, azúcares reductores y alcaloides. Wu et al. (2020) encontraron varios metabolitos activos de plantas expresados en función de una respuesta biótica o abiótica. Según Godlewska et al. (2021), compuestos bioactivos como las cumarinas y flavonoides son metabolitos secundarios aromáticos lo que coincide con que el epazote es una hierba aromática utilizada en la gastronomía mexicana.

**Tabla 9.** Grupos de metabolitos secundarios identificados en el extracto de metanol de tallos de *B. elegans*.

Alcaloides	Cumarinas	Flavonoides	Taninos	Saponinas	Triterpenos y esteroides	Antracenos
-	++	+++	-	+	++	+++

(+) Prueba positiva débil, (++) prueba positiva, (+++) prueba positiva fuerte, (-) prueba negativa.



## 10. CONCLUSIONES

La formulación del extracto de tallo de *B. elegans* con acetato de etilo y metanol muestra una alta efectividad bioinsecticida en términos de suprimir a los insectos adultos de *S. zeamais* en granos de maíz de la raza Tepecintle. Esta respuesta podría atribuirse a la presencia de diversos compuestos bioactivos del tallo de *B. elegans* ya que así lo demostraron las pruebas clásicas y cromatografía de gases. Estos insecticidas botánicos derivados de *B. elegans* muestran un potencial para el control del gorgojo en el maíz Tepecintle, y podrían ser una alternativa al uso de insecticidas químicos.



## 11. BIBLIOGRAFÍA

Aldrich, S.R., Scott, W.O. y Leng, E.R. 1975. Producción moderna de maíz, 2ª ed. Champaign, IL, EE. UU., Publicaciones A & L.

Altieri, M. y Nicholls C. I. 2000. Agroecología: teoría y práctica para una agricultura sustentable. Serie de textos básicos para la formación ambiental. Primera edición. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Red de Formación Ambiental para América Latina y el Caribe. 250 p.

Anderson, E. 1945. What is *Zea mays*? A report of progress. Chron. Bot., 9: 88-92.

Aslam, M. K.; Ali, K. and Bajwa, M. 2002. Potency of some spice against *Callosobrochus chinensis* Linnaeus. Online J. Biol. Sci. 2:449-452.

Barnes, D. 1954. Biología, ecología y distribución de las chicharritas, *Dalbulus elimatus* (Ball) y *Dalbulus maidis* (De Long W.). Fol. Tec. No. 11. México, DF, Sec. de Agric. y Gan., Ofic. de Estudios Especiales. 112 pp.

Beadle, G.W. 1939. Teosinte and the origin of maize. J. Hered., 30: 245-247.

Beadle, G.W. 1978. Teosinte and the origin of maize. In D.B. Walden, ed. Maize breeding and genetics, p. 113-128. New York, NY, USA, J. Wiley & Sons.

Beadle, G.W. 1980. The ancestry of corn. Sci. Am., 242: 112-119.

Brandolini, A. 1970. Maize. In O.H. Frankel & E. Bennett, eds. Genetic resources in plants: their exploration and conservation, p. 273-309. Philadelphia, PA, USA, F.A. Davis.

Byerlee, D. y Saad, L. 1993. El entorno económico del CIMMYT hasta el año 2000 y más allá: un pronóstico revisado. México, DF, CIMMYT.

Casal, J. y Mateu, E. 2003. Tipos de muestreo. Rev. Epidem. Med. Prev. 1:3-7.



Cerna, Ch. E.; Landeros, F. J.; Ochoa, F. Y.; Guevara, A. L.; Badii, Z. M. y Olalde, P. V. 2010.

CIMMYT. 1994. Datos y tendencias mundiales del maíz en 1993/94. México DF.

Cotton, R.T. 1956. *Pests of stored grain and grain products*. Minneapolis, MN, USA, Burgess Publishing.

Cuevas, S. M. y Romero, N. C. 2008. Insecticidas naturales para el control de la principal plaga de maíz, frijol y garbanzo almacenado. *Inv. Agr.* 5(2):117-126.

Dowswell, C.D., Paliwal, R.L. y Cantrell, R.P. 1996. El maíz en el tercer mundo. Boulder, CO, EE. UU., Westview Press. Evaluación de aceites y extractos vegetales para el control de *Sitophilus zeamais* y su efecto en la calidad de la semilla de maíz. *Rev. FCA.* 42:135-145.

FND. 2014. Panorama del maíz. Mayo. 2 p.

Galinat, W.C. 1988. El origen del maíz. En GF Sprague y JW Dudley, eds. Maíz y mejoramiento del maíz, 3ª ed., p. 1-31. Madison, WI, EE.UU., Sociedad Estadounidense de Agronomía.

Gómez, P. M.; Lacayo, M. J.; Rosales, R. M. 2009. Hojas de chan (*Hyptis suaveolens*) para el control de *Sitophilus zeamais* y *Zabrotes subfasciatus*. *Agron. Mesoam.* 20(2):263-273.

González, S.; Pino, O.; Herrera, S. R.; Valenciaga, N.; Fortes, D. y Sánchez, Y. 2011. Potencialidades de los polvos de *Lonchocarpus punctatus* en el control de *Sitophilus zeamais*. *Rev. Cubana Cienc. Agríc.* 45:89-94.

González, S; Pino, O; Herrera, R; Valenciaga, N; Fortes, D; Sánchez, Y. 2009. Control de *Sitophilus zeamais* con polvos vegetales de una especie de la familia Fabácea. *Rev. Cubana Cienc. Agríc.* 43:321-325.



Hernández-Salinas, G., Morales-Mendoza, J., Ramírez-Rivera, EJ., Andrés-Meza, P., Aguilar-Marcelino, L., et al. 2004. Southwestern Entomologist, 49(1): 155-164. <https://doi.org/10.3958/059.049.0112>.

Hincapié, L. L. C.; Lopera, A. D. y Ceballos, G. M. 2008. Actividad de insecticida de extractos de semilla de *Annona muricata* (Anonacea) sobre *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae). Rev. Colomb. Entomol. 34(1):76-82.

ISTA (International Seed Testing Association). 2016. Reglas Internacionales para el Análisis de las Semillas. Montevideo, Uruguay. [https://vri.umayor.cl/images/ISTA\\_Rules\\_2016\\_Spanish.pdf](https://vri.umayor.cl/images/ISTA_Rules_2016_Spanish.pdf).

Iannacone, J. y Quispe, C. 2004. Efecto insecticida de dos extractos vegetales sobre el gorgojo del maíz, *Sitophilus zeamais* Mostchulsky, 1885 (Coleoptera: Curculionidae) Rev. Per. Ent. 44:81-87.

Imms, A.D. 1957. A general textbook of entomology, 9th ed. London, Methuen. 886 pp.

Juárez, F. B.; Jasso P. Y. y Aguirre R. J. 2010. Efectos de polvos de asteráceas sobre el gorgojo del maíz (*Sitophilus zeamais* Mostchulsky). Polibotánica. 30:123-135.

Jugenheimer, R.W. 1985. Mejoramiento del maíz, producción de semillas y usos . Malabar, FL, EE.UU., Robert E. Krieger Publishing.

King, A.B.S. y Saunders, J.L. 1984. Las plagas invertebradas de cultivos alimenticios anuales en América Central. Londres, Agencia de Desarrollo de Ultramar (ODA).

Koul, AK y Paliwal, R.L. 1964. Morfología y citología de una nueva especie de Coix con 32 cromosomas. Citología, 29: 375-386.



Kumar, M. y Sachan, J.K.S. 1991. El maíz y sus parientes asiáticos. En KR Sarkar, NN Singh y JKS Sachan, eds. *Perspectivas de la genética del maíz*, pág. 32-52. Nueva Delhi, Sociedad India de Genética y Fitomejoramiento.

Lagunés, A. 1994. Extractos de polvos vegetales y polvos minerales para el combate de plagas del maíz y del frijol en la agricultura de subsistencia. Memoria. Colegio de Posgraduados/USAID-

CONACYT- BORUCONSA. Montecillo. Texcoco, Estado de México. 32 p.

Mazzonetto, F. 2002. Efeito de genótipos de feijoeiro e de pós de origem vegetal sobre *Zabrotes subfasciatus* (Boh.) e *Acanthoscelides obtectus* (Say) (Col: Bruchidae). Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, Piracicaba. 134 p.

Metcalf, C.F., Flint, W.P. & Metcalf, R.L. 1962. *Destructive and useful insects, their habits and control*. New York, NY, USA, McGraw Hill Book. 1087 pp.

Moreno, M. E. 1996. *Análisis físico y biológico de semillas agrícolas*. Editorial LITO RODA Tercera edición. México, D. F. 393 p.

Ortega, A.C. 1987. *Insect pests of maize: a guide for field identification*. Mexico, DF, CIMMYT.

Pears, L.M. & Davidson, R.H. 1956. *Insect pests of farm, garden, and orchard*, 5th ed. New York, NY, USA, J. Wiley & Sons. 661 pp.

Pérez, F.; Silva, G. y Tapia, R. 2007. Variación anual de las propiedades insecticidas de *Peumus boldus* sobre *Sitophilus zeamais*. *Pesq. Agrop. Bras.* 42:633.

Ramírez, G.M. 1996. *Almacenamiento y conservación de granos y semillas*. México City, Compañía Editorial Continental.



Reeves, RG y Mangelsdorf, P C. 1942. Un cambio taxonómico propuesto en la tribu Maydeae. Soy. J. Bot., 29: 815-817.

Schoenherr, W.H. & Rutledge, J.H. 1967. Insect pests of the food industry. IL, USA, Lauhoff Grain Company. 59 pp.

Silva, G. y Hepp, R. 2004. Oportunidad de los plaguicidas de origen vegetal en la agricultura chilena In: Memoria Seminario Internacional: Alternativas ecológicas para el control de plagas y enfermedades agrícolas. Noviembre 5, 2004. Universidad de concepción, Chillán. Chile. 530-532 pp.

Silva, G.; Lagunés, A. y Rodríguez, J. C. 2003. Control de Sitophilus zeamais (coleóptera: Curculionidae) con polvos vegetales solos y en mezcla con carbono de calcio en maíz almacenado. Cien. Inv. Agr. 30:153-160.

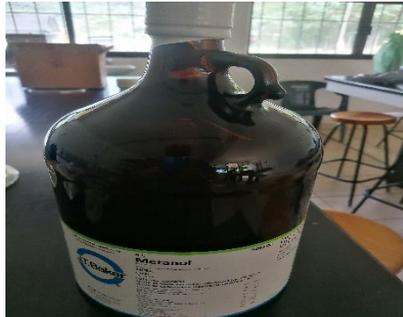
Sotelo- Leyva, C., Flores-Juárez, C., Bernal-Linares, A.K., González-Cortazar, M., Toledo-Hernández, E., Marquina-Bahena, S., Álvarez-Fitz, P., and Zamilpa, A. 2023. Chemical composition of Bessera elegans (Asparagaceae) flower extracts and their insecticidal effect against Melanaphis sacchari Zehnrner (Hemiptera: Aphididae). South African Journal of Botany 156: 186-191. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2023.03.015>.

Wilkes, HG 1985. Teosinte: el pariente más cercano del maíz revisitado. Maydica, 30: 209-223.

## 12. ANEXOS



Anexo 1. Frasco de acetato de etilo.



Anexo 2. Frasco de metanol.



Anexo 3. Peso de frasco



Anexo 4. Peso seco frasco de metanol.



Anexo 5. Cubriendo con aluminio el frasco de vidrio.



Anexo 6. Peso del tallo *B. elegans*.



Anexo 7. Porcentaje de humedad del maíz.



Anexo 8. Concentrado de acetato de etilo.



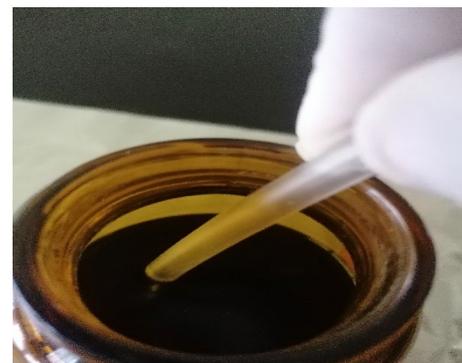
Anexo 9. Solución al frasco de metanol.



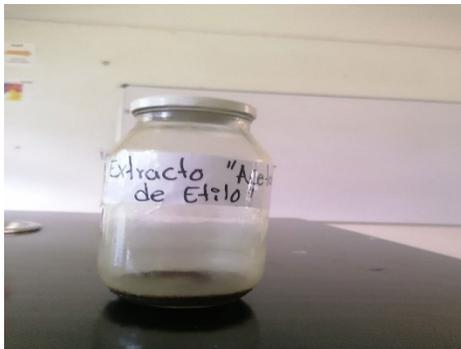
Anexo 10. Estufa.



Anexo 11. Bomba de aire.



Anexo 12. Proceso de ebullición del extracto de metanol.



Anexo 13. Pasta de acetato de etilo.



Anexo 14. Pasta de metanol.



Anexo 15. Los tratamientos de metanol.



Anexo 16. Los gorgojos de *S. zeamais*.



Anexo 17. Aplicación del insecticida de metanol.



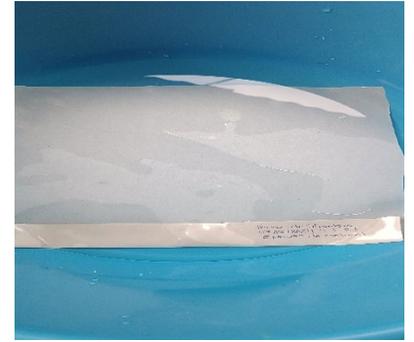
Anexo 18. Conteo de mortalidad *S. zeamais* después de la infestación.



Anexo 19. 20 pares de semillas de maíz raza Tepecintle



Anexo 20. Lavado de la semilla de maíz



Anexo 21. Papel estraza.



Anexo 22. Siembra de maíz raza Tepecintle.



Anexo 23. Germinación de la raza Tepecintle a los 7 días.



Anexo 24. Germinación del maíz bajo el extracto de acetato de etilo.



Anexo 25. Germinación del maíz bajo el extracto de metanol.