

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
PROGRAMA DOCENTE DE LA CARRERA DE
INGENIERO AGRÓNOMO PARASITÓLOGO



Evaluación de Extractos Vegetales para el Control de Hongos toxicogénicos
presentes en ensilados del cultivo de Maíz Forrajero (*Zea mays* L.).

Por:

JOSE DE JESUS HERNANDEZ SANCHEZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO PARASITÓLOGO

Saltillo, Coahuila de Zaragoza, México
Mayo 2026

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
PROGRAMA DOCENTE DE LA CARRERA DE
INGENIERO AGRÓNOMO PARASITÓLOGO

Evaluación de Extractos Vegetales para el Control de Hongos toxicogénicos
presentes en ensilados del cultivo de Maíz Forrajero (*Zea mays* L.).

Por:

JOSE DE JESUS HERNANDEZ SANCHEZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO PARASITÓLOGO

Aprobada por el Comité Asesor:


DRA. YISA MARIA OCHOA FUENTES
Asesor Principal


DRA. JAZMIN JANET VELAZQUEZ GUERRERO
Asesor Principal Externo


DR. ERNESTO CERNA CHAVEZ
Coasesor


DRA. ROCIO DE JESUS DIAZ AGUILAR
Coasesor


DR ALBERTO SANDOVAL RANGEL
Coordinador de la División de Agronomía



Saltillo, Coahuila de Zaragoza, México
Mayo 2026

Declaración de no plagio

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

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

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

Pasante

Jesus Hernandez

Nombre y firma

AGRADECIMIENTOS

A Dios le agradezco por la vida y la oportunidad que me ha dado de llegar hasta aquí, por poner a personas maravillosas en mi camino que me acompañaron en el transcurso de mi estudio donde tuve una de las mejores aventuras de mi vida gracias, padre.

A mi Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro “Mi Alma Terra Mater” por ser mi centro de estudios, donde tuve un techo donde dormir, una alimentación, mi segundo hogar donde supe apreciar lo que es estar fuera de casa, las cuales me han llevado al éxito profesional donde culmina un sueño más.

A la Dra. Jazmín J. Velázquez Guerrero, por estar para mí en el proceso de este proyecto, por su paciencia, su apoyo, su confianza y amistad, que fueron una de las herramientas más valiosas para el desarrollo de esta tesis, para mi vida profesional y personal.

¡Gracias Dra.!

A la Dra. Yisa María Ochoa Fuentes por su apoyo incondicional y por permitir la disposición en el laboratorio para la realización de mi tesis.

A todos mis compañeros por su confianza y amistad, apoyo y todos los momentos compartidos que llevare presentes en mi vida.

A todos mis profesores de esta prestigiosa universidad por haber compartido sus conocimientos y buena educación.

A mis amigos de los internados la Colorada, Palomares y Módulos, por su amistad, aventuras compartidas y anécdotas que formaron parte de mi vida (**Brayan G, Octavio M, Enrique R, Herminio, Héctor C, Juan Antonio “chole”, Jesús Gra, Kaleb, Rodrigo “la negra”, Daniel Ríos “Chester”, Juan Antonio F “Mafias”, Leobas, Cristian O, Diego G, Abiram “Ya tas bueno”, Fernando, Oscar los hermanos Chores**).

DEDICATORIA

A mis padres

J. Jesús Hernández Hernández y Tomasa Sánchez Galván

Gracias papa por ser un ejemplo a seguir, un hombre esforzado, responsable, trabajador, perseverante y amoroso por jamás tirar la toalla en aquellos retos que parecían muy difíciles, por siempre darnos lo necesario a mí y a mis hermanos para salir adelante en nuestra preparación profesional.

A mi mama por ser mi mayor inspiración y mi más grande fuente de fortaleza, por su amor y tus palabras de aliento que nunca me dejaron rendirme, ustedes son mi motivación en la vida para seguir adelante. Gracias por darme la vida y por enseñarme a vivirla con valentía que ahora me guía. ¡Los amo papas ¡

A mis hermanas

María de Jesús Hernández Sánchez, María Magdalena Hernández Sánchez, Ana Nohemí Hernández Sánchez, Alejandra Hernández Sánchez

Por su apoyo incondicional y por estar siempre a mi lado. Su fuerza y su amor han sido mi principal motivación para alcanzar esta meta, este logro es tanto mío como de ustedes “las quiero mucho”.

A mi novia Nancy Daniela Cervantes Aldaco

Por el apoyo que me has brindado incondicionalmente, tu paciencia, tu amor y fe inquebrantable en mí ha sido de gran importancia, has sabido estar en cada paso de mi vida, te agradezco y deseo compartir este gran momento a tu lado “Te Amo”.

A mis cuñados Daniel Carpio y Daniel Pérez, por su apoyo incondicional y su amistad.

Por último, dedico esta tesis a MI FAMILIA con mucho cariño y amor, porque son lo más sagrado que tengo en la vida, ustedes han fomentado en mí el deseo de superación y salir adelante en la vida, les agradezco de todo corazón, espero siempre contar con ustedes y su apoyo incondicional.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS _____	ii
DEDICATORIA _____	ii
ÍNDICE DE CUADROS _____	v
ÍNDICE DE FIGURAS _____	vi
RESUMEN _____	vii
ABSTRACT _____	viii
INTRODUCCIÓN _____	1
Objetivo General: _____	4
Objetivo Específico: _____	4
Hipótesis: _____	4
REVISIÓN DE LITERATURA _____	5
Origen del maíz _____	5
Descripción de la planta _____	5
Tallo _____	6
Hojas _____	6
Inflorescencia _____	6
Grano _____	6
Raíces _____	7
Clasificación taxonómica _____	7
Producción de maíz _____	8
Producción Mundial de Maíz _____	8
Producción Nacional de Maíz Forrajero _____	9
Importancia económica _____	12
Principales patógenos que atacan al cultivo de maíz Error! Marcador no definido.	
Las Rizófagas (atacan la raíz): _____	12
Gallina ciega (<i>Phyllophaga</i> spp.) _____	12
Gusano de alambre (<i>Agrotis lineatus</i>) _____	12
Diabrotica (<i>Diabrotica virgifera zea</i>) _____	13
Las Plagas del follaje: _____	13
Gusano cogollero (<i>Spodoptera frugiperda</i>) _____	13
Gusano elotero (<i>Helicoverpa zea</i>) _____	13

Gusano soldado (<i>Mythimna unipuncta</i>)	13
Bacterias	13
<i>Pseudomonas alboprecipitans</i>	14
<i>Clavibacter michiganensis sbsp. nebrakensis</i>	14
Hongos	14
<i>Fusarium</i> spp.	14
Características morfológicas	14
Clasificación taxonómica	14
Ciclo de vida	15
Síntomas	15
<i>Aspergillus</i> spp.	16
Características morfológicas	16
Ciclo de vida	17
Clasificación taxonómica	17
Sintomatología	18
<i>Penicillium</i> spp	18
Características morfológicas	18
Clasificación taxonómica	18
Ciclo de vida	19
Sintomatología	19
Medidas de control	19
Micotoxinas	20
Extractos botánicos	20
Extracto de canela	22
Extracto gobernadora	22
Extractos de cítricos	22
MATERIALES Y MÉTODOS	24
Ubicación del Experimento	24
Obtención de Fitopatógenos	26
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	27
Literatura citada	¡Error! Marcador no definido.

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro.1 Hongos presentes en los ensilados de maíz	27
Cuadro 2. Identificación de los hongos presentes en cada uno de los tratamientos..	28
Cuadro 3. Hongos presentes en los tratamientos	29
Cuadro 4. Hongos presentes en el testigo absoluto.....	29

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.Publicacion de Toledo, R. (2023)	6
Figura 2. Fira con la información de USDA (2025)	9
Figura 3. Elaboración propia con datos obtenidos del SIAP (2023)	10
Figura 4. Principales estados productores de maíz forrajero (t) en México (2024)	11
Figura 5. Depto. de Parasitología de la UAAAN, Saltillo, Coah.	24

RESUMEN

El maíz forrajero tiene un rol importante en la dieta del ganado, sin embargo, este se es afectado por diversos hongos y demás fitopatógenos que se encuentran en el cultivo, estos macroorganismos no solo reducen el valor nutricional del forraje y provocan pérdidas económicas, sino que producen micotoxinas que presentan un riesgo severo de los consumidores, por esta razón se requieren estrategias de control, ante la creciente resistencia al uso excesivo de plaguicidas que puede representar un riesgo para el ganado. El objetivo de esta investigación fue realizar evaluaciones *in vitro* utilizando productos orgánicos como: Canela (*Cinnamomun verum*), Cítricos (*Citrus sinensis*) y Gobernadora (*Larrea tridentata*) sobre ensilaje de maíz para inhibir el desarrollo de hongos en este alimento.

A través de los bioensayos se identificaron géneros fúngicos predominantes confirmando la presencia de *Aspergillus* sp., *Fusarium* sp., *Monascus* sp. y *Penicillium* sp., los cuales degradan la calidad del forraje y producen micotoxinas peligrosas para el humano y los animales. El extracto (gobernadora) fue el mejor producto que obtuvo mayor inhibición superiores al 70 % mostrando un desempeño comparable para frenar el crecimiento de los hongos presentes.

Palabras Clave: extractos vegetales, fitopatógenos, inhibición

ABSTRACT

Forage corn plays an important role in the livestock diet, however, it is affected by various fungi and other plant pathogens found in the crop. These macroorganisms not only reduce the nutritional value of the forage and cause economic losses but also produce mycotoxins that pose a severe risk to consumers. For this reason, control strategies are needed, given the growing resistance to excessive pesticide use, which can pose a risk to livestock. The objective of this research was to conduct in vitro evaluations using organic products such as: Cinnamon (*Cinnamomum verum*), Citrus (*Citrus sinensis*), and Larrea (*Larrea tridentata*) on corn silage to inhibit fungal growth in this feed.

Through bioassays, predominant fungal genera were identified, confirming the presence of *Aspergillus* sp., *Fusarium* sp., *Monascus* sp., and *Penicillium* sp., which degrade forage quality and produce mycotoxins dangerous to humans and animals. The extract (Gobernadora) was the most effective product, achieving inhibition rates exceeding 70 % and demonstrating comparable performance in curbing the growth of the present fungi.

Keywords: plant extracts, phytopathogens, inhibition, mycotoxins, maize silage.

INTRODUCCIÓN

El maíz (*Zea mays L*) es fundamental en México gracias a su adaptabilidad, estabilidad productiva y a sus destacadas propiedades nutricionales, organolépticas y nutraceuticas, lo que lo convierte en un cultivo de alto valor para el consumo humano y animal (Turrent-Fernández *et al.*, 2017). Presenta una gran diversidad de colores; sin embargo, las variedades blanca y amarilla son las más utilizadas con fines alimentarios e industriales. Entre las principales formas de aprovechamiento para el consumo humano destaca la nixtamalización, un proceso tradicional que consiste en la cocción del grano con hidróxido de calcio, mediante el cual se obtiene la masa para la elaboración de productos como tortillas, tamales, atole y otros alimentos típicos (SIAP, 2024c).

En la alimentación animal, el maíz se utiliza principalmente como forraje, debido que forma un alimento de alto valor nutricional para el ganado, del cual se aprovechan hojas, tallos, olotes y granos, tanto en estado fresco como ensilado o en forma de rastrojo (SIAP, 2024b).

Se trata de una especie de ciclo anual y crecimiento vigoroso, que se distingue por presentar un solo tallo, el cual puede llegar a medir hasta 4 m de altura. Posee una inflorescencia masculina en forma de espiga con capacidad para generar entre 20 y 25 millones de granos de polen, así como una inflorescencia femenina integrada por estructuras llamadas espádices. Sus hojas son alargadas y extendidas, de forma lanceolada, con bordes afilados y vellosidades en la cara superior (SIAP, 2024b).

En México, la mayor producción de maíz forrajero se concentra en Jalisco, con 4,583,655 toneladas, seguido por Durango (2,296,025 t), Zacatecas (1,591,801 t), Aguascalientes (1,121,229 t), la zona centro del Estado de México (1,116,772 t) y Guanajuato, particularmente en sus regiones centro y occidente (1,113,371 t). Las demás entidades presentan volúmenes inferiores al millón de toneladas. En términos generales, la producción nacional promedio oscila entre 15 y 16 millones

de toneladas por año, con base en el promedio registrado durante la última década (SIAP, 2024a).

Sin embargo, tanto la cantidad producida como la calidad del maíz forrajero pueden verse afectadas por la presencia de plagas, enfermedades y diversos factores bióticos y abióticos que repercuten negativamente en su producción, aprovechamiento y comercialización (Elizondo, 2015).

Dentro de estas problemáticas, sobresalen los hongos fitopatógenos que afectan al cultivo ya sea en campo he incluso en almacenamiento, principalmente los pertenecientes a los géneros *Penicillium*, *Aspergillus* y *Fusarium*. Su desarrollo depende de la interacción con el hospedero y de las condiciones ambientales, lo que ocasiona disminuciones en la calidad y en el rendimiento del forraje, además de constituir un riesgo sanitario por su capacidad de producir micotoxinas como aflatoxinas, fumonisinas, tricotecenos y zearalenonas (Hernández - Martínez *et al.*, 2007; Montes *et al.*, 2009).

De acuerdo con Binder *et al.*, (2007), las micotoxinas provocan efectos perjudiciales en la salud animal, principalmente cuando se consumen alimentos contaminados. Estas sustancias alteran de forma importante el sistema digestivo y el inmunológico, lo que ocasiona menor rendimiento productivo, pérdida de peso y una mayor predisposición a enfermedades, con repercusiones económicas desfavorables para la producción pecuaria. Además, esta situación también implica un riesgo para la salud humana, debido al consumo de productos de origen animal procedentes de animales alimentados con forrajes contaminados.

Klich (2002) indicó que el género *Aspergillus* comprende hongos filamentosos saprófitos con una función esencial en la descomposición de materia orgánica. Su ambiente natural se localiza principalmente en el suelo, donde crecen y persisten sobre residuos orgánicos en proceso de descomposición. Debido a su amplia distribución en el ambiente, las especies de *Aspergillus* están presentes en distintos ecosistemas y pueden infectar plantas de maíz bajo condiciones de campo.

Las especies de *Fusarium* asociadas al maíz son patógenos comunes que deterioran de manera importante la calidad del grano y disminuyen el rendimiento. Estos hongos pueden invadir los granos y causar pudriciones, además de colonizar el tallo, lo que puede ocasionar la muerte anticipada de la planta (Moreno *et al.*, 2011).

El género *Penicillium* causa daños relevantes sobre todo durante el almacenamiento y la comercialización, debido a su capacidad para producir numerosas micotoxinas vinculadas con pudriciones severas en la producción alimentaria (Carrillo, 2003). Estos hongos sobresalen por generar micotoxinas altamente tóxicas, entre ellas aflatoxinas B1, B2 y M1, ocratoxina, fumonisinas, zearalenona y citrinina, que se forman bajo condiciones ambientales favorables, como niveles adecuados de humedad, temperatura, disponibilidad de nutrientes y oxígeno. Tales toxinas pueden contaminar distintos productos agrícolas, particularmente cereales y frutos secos. Se distinguen por causar efectos nocivos incluso en concentraciones bajas y por su alta resistencia al calor, lo que complica su eliminación. La exposición a estas sustancias puede ocasionar efectos teratogénicos, carcinogénicos, mutagénicos, inmunosupresión y, en situaciones graves, la muerte (Marroquín - Cardona *et al.*, 2014).

Aunado a ello, el empleo intensivo de plaguicidas para controlar plagas y enfermedades ha propiciado la resistencia de los patógenos y la disminución de organismos benéficos, además de provocar efectos adversos en el agua, suelo y ambiente. Frente a esta situación, ha aumentado el interés por utilizar extractos biorracionales como una opción para prevenir y controlar enfermedades en la agricultura moderna, ya que ayudan a mejorar la salubridad de los cultivos y se consideran de bajo riesgo para la salud humana (Robu *et al.*, 2015). En este contexto, se plantea el siguiente objetivo.

Objetivo General:

Evaluar el efecto de distintos extractos botánicos en la inhibición del crecimiento de hongos en ensilados elaborados a partir de maíz rolado.

Objetivos Específicos:

Determinar el efecto inhibitorio del extracto botánico de canela (*Cinnamomum verum*) sobre el crecimiento de hongos presentes en el ensilado de maíz.

Determinar el efecto inhibitorio del extracto botánico de cítricos (*Citrus sinensis*) sobre el crecimiento de hongos presentes en el ensilado de maíz.

Determinar el efecto inhibitorio del extracto botánico de gobernadora (*Larrea tridentata*) sobre el crecimiento de hongos presentes en el ensilado de maíz.

Hipótesis:

Al menos uno de los extractos botánicos evaluados inhibirá significativamente el crecimiento de los hongos presentes en el ensilado de maíz.

REVISIÓN DE LITERATURA

Origen del maíz

El cultivo de maíz (*Zea mays L*) tuvo su origen en Mesoamérica. La evidencia más antigua de su uso como alimento humano procede de un sitio en México habitado por grupos que vivían en cuevas, donde se halló una pequeña mazorca con una antigüedad estimada de más de 5000 años. Por ello, se considera una de las primeras plantas cultivadas por los agricultores más antiguos (Acosta, 2009).

Este cultivo es uno de los más relevantes para la población mexicana, ya que representa la base de la dieta de millones de personas. En el país se consumen entre 26 y 27 millones de toneladas de maíz al año, cifra que varía de acuerdo con los volúmenes de producción del grano (SIAP, 2024c).

Descripción de la planta

La planta de maíz presenta un porte robusto, un desarrollo relativamente sencillo y un ciclo anual. A lo largo de sus fases vegetativa y reproductiva muestra diferencias morfológicas que son resultado de su proceso de evolución y domesticación.

Las fases de crecimiento se clasifican en dos grandes categorías:

- Vegetativa (V)
- Reproductiva (R)

Asimismo, estas fases de crecimiento se organizan en cuatro periodos:

- 1- Desarrollo de las plántulas (etapas VE y V1)
- 2- Desarrollo vegetativo (etapas V2, V3... Vn)
- 3- Floración y proceso de fecundación (etapas VT, R0 y R1)
- 4- Llenado del grano y madurez (etapas R2 a R6)

(CIBIOGEM 2020)

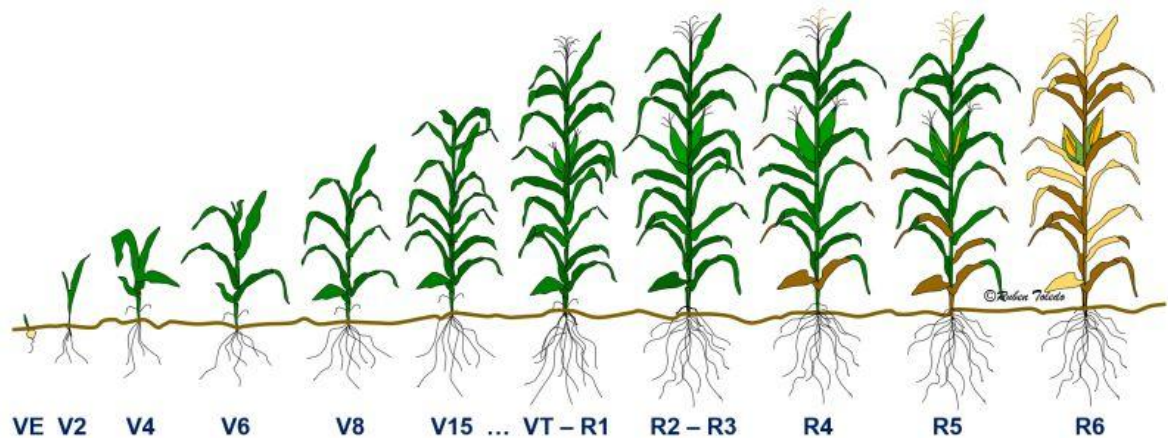


Figura 1.Publicacion de Toledo. (2023)

Tallo

El tallo es simple y erecto, con gran longitud, ya que puede alcanzar hasta 4 metros de altura. Se caracteriza por ser robusto, carecer de ramificaciones y presentar una apariencia semejante a la de una caña; además, no muestra entrenudos y su función principal consiste en conducir agua y nutrientes para el desarrollo de la planta (Toledo, 2023).

Hojas

Las hojas son largas, de un tamaño grande y forma lanceolada; se disponen de manera alterna, presentan nervaduras paralelas y se encuentran abrazando el tallo. En la superficie superior poseen vellosidades, mientras que sus extremos son afilados y cortantes (SADER, 2020).

Inflorescencia

La planta presenta inflorescencias monoicas, con estructuras masculina y femenina separadas dentro del mismo individuo. La inflorescencia masculina consiste en una panícula o espiga de color amarillo que contiene entre 20 y 25 millones de granos de polen; cada flor de la panícula posee tres estambres, donde se desarrolla dicho polen. Por su parte, la inflorescencia femenina contiene una menor cantidad, aproximadamente entre 800 y 1000 granos de polen, y se forma en estructuras vegetativas llamadas espádices, las cuales se disponen lateralmente (SIAP, 2019).

Grano

Tras la fecundación se originan granos tiernos y de consistencia lechosa que conforman la mazorca. El fruto es una cariósida integrada por el pericarpo; la capa de aleurona, responsable de aportar el color al grano (amarillo o blanco) y de contener proteínas; el endospermo, proporciona el peso al grano; para fines forrajeros, este debe encontrarse en estado masoso; y finalmente, el embrión (Elizondo, 2015).

Raíces

Las raíces son de tipo fasciculado y cumplen la función de brindar anclaje y soporte mecánico a la planta. En algunos casos, los nudos radiculares sobresalen a nivel del suelo, situación que suele presentarse en raíces secundarias o adventicias (Toledo, 2023).

Clasificación taxonómica

Se trata de una planta monocotiledónea que se cultiva en todo el mundo y se emplea como uno de los alimentos básicos de consumo en numerosas poblaciones y regiones. Pertenece a la familia Poáceas y a la tribu Maydeas (Sánchez, 2014).

Reino: Vegetal

División: Tracheophyta

Clase: Angiosperma

Subclase: Monocotiledoneae

Orden: Graminales

Familia: Graminea

Género: *Zea*

Especie: *Mays*

Nombre científico: *Zea Mays*

Producción de maíz

La Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER, 2024), indica que el cultivo de maíz es de tipo anual o cíclico, por lo que su producción se concentra en dos periodos: primavera/verano y otoño/invierno. Su ciclo vegetativo es menor a 12 meses y presenta dos modalidades de siembra: de riego y de temporal; en la primera, la cosecha depende de un sistema de riego, mientras que en la segunda está condicionada por el comportamiento de las lluvias. La siembra puede realizarse en suelos preparados, con mínima labranza o de forma manual, colocando la semilla en surcos o con maquinaria a una profundidad de 5 cm, con una distancia entre hileras de 60 a 80 cm y una separación entre matas que varía según la densidad de siembra que decida el productor (Urango, 2018).

Es importante señalar que, de los 32 estados de la República Mexicana, Sinaloa figura entre las entidades con mayor producción de maíz en grano, al aportar el 22 % de la producción nacional con un total de 6,656,331 millones de toneladas; esto significa que cerca de una quinta parte de la producción depende de este estado, asimismo, Sinaloa, Jalisco, Michoacán, Estado de México y Guanajuato lograron generar poco más de la mitad de la producción nacional, mientras que el resto de las entidades contribuyen en conjunto con la otra mitad (SIAP, 2024b).

Producción Mundial de Maíz

De acuerdo con información del Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA, 2025), en su boletín se reporta una producción mundial de maíz en grano de 1,228.1 millones de toneladas, obtenida a partir de 203.2 millones de hectáreas sembradas en el mundo. De ese total, la agricultura de Estados Unidos participa con 31.7 %, China con 23.5 %, Brasil con 9.9 %, la Unión Europea con 5.0 % y Argentina con 4.3 %; por su parte, México ocupa el octavo lugar a nivel mundial, con una participación de 1.9 % de la producción total.

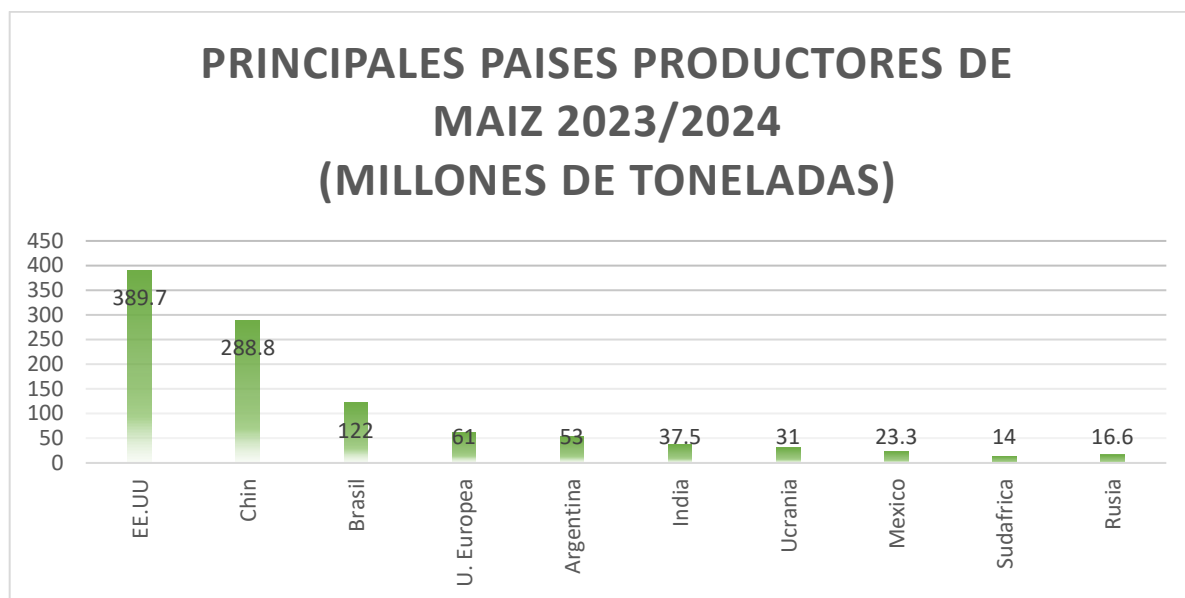


Figura 2. Fira con la información de USDA (2025)

Producción Nacional de Maíz Forrajero

El maíz constituye un alimento de amplio uso pecuario en México. En 2023 se sembraron 549,000 ha, de las cuales se cosecharon 459,000 ha, alcanzando una producción de maíz forrajero de 15 millones 432 mil toneladas. Esta cifra representó una disminución de 568 mil toneladas con respecto al promedio de los últimos diez años y de 10.5 % en comparación con el año anterior, con un valor estimado superior a 10 millones de pesos (SIAP 2024a).



Figura 3. Elaboración propia con datos obtenidos del SIAP (2023)

En la figura 3 se aprecia una tendencia de crecimiento a partir de 2018, salvo en 2019, año en el que el volumen de maíz forrajero disminuyó respecto al periodo previo. No obstante, en 2020 la producción volvió a incrementarse, debido a que la superficie sembrada alcanzó 600,000 ha y se obtuvo un rendimiento de entre 16 y 17 millones de toneladas, esta tendencia se mantuvo hasta 2023, cuando se presentó una reducción atribuida a una menor superficie de siembra y a condiciones desfavorables para el cultivo, lo que repercutió en las cosechas de forraje (SIAP 2024a).

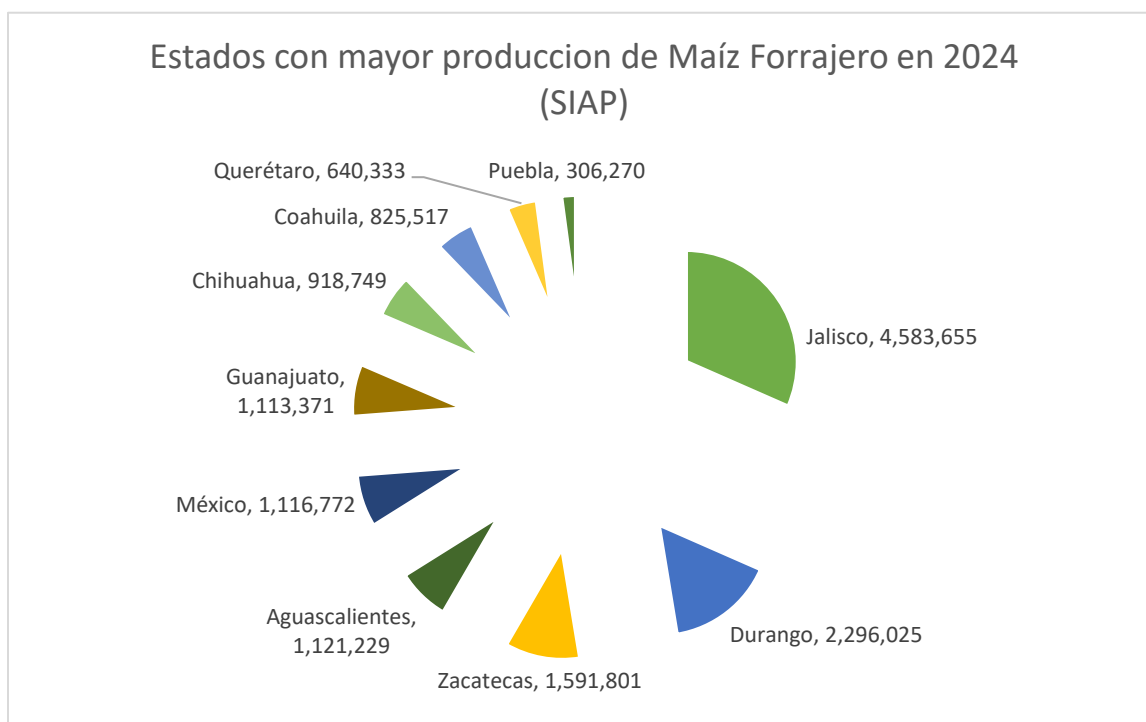


Figura 4. Principales estados productores de maíz forrajero (t) en México (2024).

De acuerdo con los datos del SIAP (2024a) presentados en la figura 4, Jalisco es la entidad con la mayor producción de maíz forrajero, al superar los 4 millones de toneladas (30.3 %), razón por la cual también se le reconoce como el estado con mayor población ganadera del país, en segundo lugar se ubica Durango, con más de 2 millones de toneladas (19.4 %), y en tercer lugar Zacatecas, con más de 1 millón de toneladas (8.9 %). En conjunto, estas entidades aportan más del 50 % de la producción nacional. Asimismo, se observa que el estado de Guanajuato ocupa la sexta posición a nivel nacional, con una producción superior al millón de t.

Importancia económica

Mazzani *et al.*, 2004 indican que el maíz es uno de los alimentos más importantes en numerosos países de América, además de ser uno de los cultivos anuales de mayor valor y, para muchos pueblos del mundo, una fuente básica de alimentación. Su aprovechamiento es muy amplio, ya que se destina al consumo humano, animal e industrial, tanto de forma directa como a través de subproductos. Asimismo, cuando se utiliza para ensilaje, se convierte en uno de los cereales más relevantes, debido a su elevada producción de materia seca por unidad de superficie, su alto contenido energético y la facilidad con la que puede cosecharse, conservarse y emplearse como forraje (Montemayor - Trejo *et al.*, 2012).

De acuerdo con la SADER (2020), el cultivo de maíz se ve gravemente afectado por diversas plagas y enfermedades, cuya incidencia se ha incrementado como consecuencia del cambio climático. Estos organismos son cada vez más frecuentes y resistentes, debido a su continua evolución, lo que puede ocasionar daños importantes, generar desequilibrios, afectar el desarrollo de la planta y disminuir considerablemente los rendimientos productivos. Entre las plagas más importantes que atacan este cultivo se encuentran las siguientes:

Las Rizófagas (atacan la raíz):

Gallina ciega (*Phyllophaga* spp.) conocida también como gusano blanco o mayate de junio, presenta hábitos subterráneos y se alimenta de las raíces de los cultivos. El daño más severo lo provocan sus larvas, ya que retrasan el crecimiento de la planta y ocasionan amarillamiento seguido de marchitez, como resultado de la destrucción parcial o total del sistema radicular (SADER, 2020).

Gusano de alambre (*Agrotis lineatus*) recibe este nombre por su aspecto semejante al de un alambre, sus larvas, lisas, duras y brillantes, alcanzan entre 20 y 30 mm de longitud. Esta plaga afecta diferentes partes de la planta mediante su aparato bucal, perforando los granos antes y durante la germinación, además de atacar las plántulas por debajo del suelo, dañar el punto de crecimiento y provocar la muerte de la planta (SADER, 2020).

Diabrotica (*Diabrotica virgifera zea*) el principal daño lo causa la larva al alimentarse de las raíces y formar túneles en ellas. Como consecuencia, los tallos pueden crecer curvos o inclinados. Las plantas manifiestan síntomas de deficiencia hídrica aun cuando el suelo tenga suficiente humedad y, además, disminuye su capacidad de anclaje y soporte, favoreciendo el acame (Posos, 1989).

Las Plagas del follaje:

Gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*) está constituido por larvas de tamaño mediano a grande que actúan como barrenadores en la base del tallo de las plántulas, en plantas pequeñas puede causar la muerte, mientras que en plantas más desarrolladas destruye el cogollo, lo que favorece el macollamiento (Casmuz *et al.*, 2010).

Gusano elotero (*Helicoverpa zea*) agrede principalmente los frutos, a los que daña al alimentarse, los huevos se depositan en los estigmas, de los cuales se nutren inicialmente las larvas al emerger; después avanzan hacia la mazorca, donde consumen los estigmas tiernos y los granos lechosos en la punta, sitio donde por lo general se concentra el daño (Souza *et al.*, 2008).

Gusano soldado (*Mythimna unipuncta.*) es una plaga sumamente voraz que puede consumir por completo las plantas hospederas, su alimentación deja mordeduras circulares extensas y puede eliminar casi toda la superficie foliar, excepto la nervadura central; además, deja abundantes excrementos acumulados en las axilas de las hojas (Ramírez & Esquivel, 2012).

Bacterias

Las enfermedades bacterianas en el cultivo de maíz suelen generar daños y pérdidas económicas relativamente menores, debido a que muchas plantas cultivadas poseen inmunidad innata o resistencia frente a ciertos patógenos sin manifestar síntomas visibles (Agrios, 2005). Entre las principales enfermedades bacterianas que afectan al maíz se encuentran las siguientes:

Pseudomonas alboprecipitans: se presenta en forma de manchas blancas con tonalidades rojizas sobre las hojas y puede originar pudrición del tallo (Pérez-Terrón *et al.*, 2012)

Clavibacter michiganensis* sbsp. *nebrakensis: produce lesiones de apariencia húmeda que se disponen paralelamente a las nervaduras de las hojas, además de pequeñas manchas de color verde intenso a negro (Osborne, 2012).

Hongos

Por otra parte, en el cultivo de maíz se ha documentado la presencia de hongos fitopatógenos, destacando principalmente los géneros *Aspergillus* spp., *Fusarium* spp. y *Penicillium* spp., los cuales generan efectos adversos tanto en el desarrollo del cultivo como en la salud de los consumidores (Munkvold *et al.*, 2003).

***Fusarium* spp.**

Williams (2004) menciona que varias especies del género *Fusarium* actúan como patógenos del maíz forrajero, causando reducciones en el rendimiento y pérdidas en la calidad del forraje, ya sea fresco o ensilado, debido a la producción de micotoxinas como tricotecenos (T-2), deoxinivalenol, zearalenona y fumonisinas. El consumo de forraje contaminado con estos hongos por parte de rumiantes se relaciona con una menor ingesta alimenticia, disminución en la ganancia de peso, mayor frecuencia de enfermedades y reducción de la capacidad reproductiva (Binder *et al.*, 2007).

Características morfológicas

En laboratorio, *Fusarium* spp. presenta rasgos microscópicos característicos del género. Las fíalides suelen ser delgadas y con forma de botella, pudiendo aparecer simples o ramificadas, cortas o largas. Los macroconidios son hialinos, septados y con forma de medialuna; en cambio, los microconidios pueden no presentarse en algunas especies o adoptar formas diversas, como fusiformes, ovaladas o clavadas, agrupándose en cadenas cortas o largas que originan estructuras mucoides denominadas “falsas cabezas”. También es frecuente la presencia de clamidosporas con pared doble y engrosada, de superficie lisa o rugosa, dispuestas de forma aislada, en pares o en grupos. Estas características pueden variar según el medio de cultivo

utilizado; por ejemplo, en PDA pueden observarse diferencias en la morfología de la colonia y una amplia gama de colores como café, rojo, violeta, naranja, gris y blanco (Tapia & Amaro, 2014).

En campo, *Fusarium* spp. se caracteriza principalmente por producir lesiones hundidas de color negro o café en la base de los tallos. Además, es posible observar manchas rojizas en los pecíolos cercanos a la parte superior de la planta (Buechel, 2018).

Clasificación taxonómica

Fusarium spp. pertenece a:

Phylum: Ascomycota

Clase: Sordariomycetes

Orden: Hypocreales

Familia: Nectriaceae

Género: *Fusarium*

Especie: *Fusarium* spp.

(EPPO, 2025)

Ciclo de vida

El inóculo primario se localiza en el suelo y en los residuos del cultivo, mientras que la infección comienza desde las primeras etapas de desarrollo del maíz. La pudrición de la raíz se presenta durante la fase vegetativa y se agrava cuando inicia el traslado de fotosintatos hacia las espigas; en ese momento, las clamidosporas o conidios germinan, penetran y colonizan el xilema, bloqueando los tejidos y limitando el movimiento del agua, lo que debilita a la planta. Esta enfermedad se considera monocíclica debido a que los agentes causales permanecen principalmente en el suelo; aunque pueden ocurrir infecciones secundarias, las pérdidas están determinadas por la cantidad de inóculo presente al momento de la siembra (Koike *et al.*, 2019; FAUBA, 2025).

Síntomas

En maíz, *Fusarium* spp. puede causar daños durante todas las etapas del cultivo, afectando follaje, raíces y semillas, incluso en árboles de vivero. Entre los síntomas que ocasiona se encuentran manchas en las hojas, marchitez y pudriciones en esquejes, copa, bulbo y raíz. En las semillas, el micelio invade la cubierta externa, lo que reduce la germinación debido a la muerte del embrión (Figueroa - Rivera *et al.*, 2010).

Tanto en plántulas como en plantas adultas, este hongo puede provocar acame, es decir, el doblamiento del tallo. Cuando la enfermedad se presenta con severidad, las plantas se marchitan y mueren rápidamente. Además, en el sistema radicular se observan lesiones de color café chocolate a nivel del suelo, lo cual permite distinguir las plantas enfermas por marchitez (Broders *et al.*, 2007)

***Aspergillus* spp.**

Klich (2002) menciona que *Aspergillus* es uno de los géneros más ampliamente distribuidos en la naturaleza, ya que puede encontrarse prácticamente en cualquier ambiente. La contaminación de productos alimenticios con aflatoxinas resulta de la interacción entre el hongo, el hospedero y el ambiente; dichos factores determinan tanto el grado de infestación y colonización del sustrato como el tipo y la cantidad de aflatoxinas producidas.

Características morfológicas

Aspergillus es un hongo filamentoso, hialino y saprófito que pertenece al filo Ascomycota. Está formado por hifas hialinas septadas y puede reproducirse sexualmente mediante la formación de ascosporas dentro de ascas, y asexualmente mediante la producción de conidios. Las especies se distinguen principalmente por su tamaño, velocidad de crecimiento y textura de la colonia, que puede ser aterciopelada, granulosa o algodonosa. La coloración colonial varía según la especie: verde amarillento en *A. flavus*, blanco amarillento que cambia a negro en *A. niger* y marrón en *A. terreus*. Esta pigmentación puede apreciarse en las estructuras aéreas, tanto en el micelio como en las cabezas conidiales (Abarca, 2000).

Se han descrito alrededor de 180 especies de *Aspergillus*; no obstante, solo algunas son consideradas patógenas, entre ellas *A. fumigatus*, responsable de aproximadamente el 90 % de las infecciones micóticas, además de *A. niger*, *A. terreus*, *A. flavus* y *A. parasiticus*. Estas dos últimas producen aflatoxinas, compuestos tóxicos para animales y seres humanos (Perrone *et al.*, 2007). La combinación entre actividad de agua y temperatura representa uno de los factores más importantes para el crecimiento de este género. *Aspergillus* puede desarrollarse en temperaturas de 8 a 55 °C, con un rango óptimo de 36 a 38 °C para su crecimiento y de 25 a 35 °C para la producción de aflatoxinas. En cuanto a la actividad de agua, los valores adecuados para la formación de estas toxinas van de 0.82 a 0.99 (Soriano del Castillo, 2007).

Ciclo de vida

Visagie *et al.*, (2014) señalan que *Aspergillus* es un género sumamente diverso y con gran impacto social y económico, ya que habita en múltiples ambientes, como el aire, el polvo doméstico o de oficinas, el material orgánico, los cereales, los forrajes y diversos alimentos. En maíz, los granos pueden ser invadidos por *A. flavus* cuando las conidias son transportadas por el viento o por insectos; estas ingresan a través de los estigmas o pelos de la mazorca tierna y penetran en los ovarios de forma semejante al polen (Payne, 1988; Carvajal, 2010).

Clasificación taxonómica

Reino: Fungi

Phylum: Ascomycota

Clase: Eurotiomycetidae

Orden: Eurotiales

Familia: *Aspergillaceae*

Género: *Aspergillus*

(Abarca, 2000).

Sintomatología

La infección causada por *Aspergillus* puede provocar pudrición de la mazorca, en particular cuando se presentan altas temperaturas, sequía y elevada humedad relativa. Durante las etapas de polinización y llenado del grano, es común observar un moho de aspecto polvoriento con tonalidades verde grisáceas, oliváceas, verde amarillentas o marrones. Aunque la infección se presenta con mayor frecuencia en la punta de la mazorca, puede desarrollarse en cualquier zona, especialmente si existen daños previos ocasionados por insectos, granizo u otras lesiones mecánicas (Klich, 2002).

***Penicillium* spp.**

Penicillium es uno de los hongos más frecuentes y se encuentra ampliamente distribuido en diversos ambientes, entre ellos el suelo, la vegetación, el aire, los espacios interiores y los productos alimenticios. Tiene gran relevancia en la alimentación humana y animal. En condiciones naturales, cumple principalmente la función de descomponer materia orgánica; sin embargo, también puede comportarse como patógeno en los cultivos y ocasionar pudriciones severas tanto antes como después de la cosecha. Por otra parte, ciertas especies de *Penicillium* han resultado beneficiosas para el ser humano, ya que se utilizan en medicina para la producción de antibióticos (Visagie, 2014).

Características morfológicas

Penicillium es un hongo saprófito perteneciente al filo Ascomycota, con capacidad de desarrollarse sobre alimentos procesados y materias primas de origen animal o vegetal, siempre que disponga de humedad y nutrientes. Sus colonias suelen presentar colores verdes, verde azulados, grises o rosados, entre otros. Generalmente, sus bordes son blancos; sin embargo, en algunas especies pueden observarse tonalidades amarillas, anaranjadas, púrpuras o café claro. La textura de la

colonia depende de la especie y puede variar entre plana, filamentosa o algodonosa; además, algunas especies producen exudados (Visagie *et al.*, 2014).

Clasificación taxonómica

A nivel taxonómico el género *Penicillium* pertenece a:

Reino: Fungí

Filo: Ascomycota

Clase: Eurotiomycetes

Familia: Trichocomaceae

Género: *Penicillium*

(Pitt & Hocking, 2009).

Ciclo de vida

Las especies de *Penicillium* son hongos ubicuos y saprófitos oportunistas. Tienen la capacidad de desarrollarse en una gran diversidad de ambientes, incluso bajo condiciones fisicoquímicas desfavorables, siempre que dispongan de una fuente de carbono. Aunque son característicos del suelo, también pueden contaminar alimentos y restos vegetales en descomposición, además de crecer en ambientes secos como semillas, madera, cuero y textiles. Asimismo, ciertas especies participan en la elaboración de alimentos destinados al consumo humano, como algunos quesos y embutidos fermentados, a los cuales aportan aroma, sabor y una apariencia distintiva (Pitt & Hocking, 2009).

Sintomatología

El pudrimiento de la mazorca por *Penicillium* suele observarse en los granos de maíz después de la cosecha. En plantas afectadas puede presentarse crecimiento retardado, marchitez y clorosis. Durante el desarrollo del cultivo, el hongo puede infectar a través de heridas provocadas por insectos o por lesiones mecánicas durante

las labores de campo y la cosecha. Bajo temperaturas elevadas y alta humedad, se favorece el crecimiento de un moho de color verde-morado sobre la superficie de la mazorca y de los granos. Los granos infectados tienden a adquirir una tonalidad blanquecina-rosácea y pueden llegar a pudrirse internamente (ojo azul). Por lo general, el moho es visible únicamente después de la cosecha o durante el almacenamiento (Houbraken & Samson, 2011).

Medidas de control

Existen diferentes estrategias de control, las cuales deben enfocarse en excluir al patógeno y en disminuir la cantidad o efectividad del inóculo inicial. Entre las medidas más importantes se encuentran el uso de semilla libre de patógenos, la rotación de cultivos para reducir el potencial de inóculo, la cosecha temprana y el manejo de enfermedades foliares. De igual forma, se recomienda asegurar un buen drenaje del riego y, dependiendo del caso, recurrir a prácticas como la solarización, la inundación o la fumigación del suelo, entre otras (Samson & Pitt, 2000).

Mokobi (2020) menciona el empleo de hongos microparasitarios, como *Trichoderma harzianum*, así como bacterias del género *Bacillus*, que pueden utilizarse como agentes de biocontrol gracias a su actividad antifúngica y a su acción antagónica contra estos hongos.

Por otra parte, Koike *et al.*, (2019) reportan el uso de un biofungicida comercial a base de *Streptomyces griseoviridis*, el cual puede aplicarse tanto en campo como en invernaderos.

Micotoxinas

Las micotoxinas constituyen un grupo de metabolitos secundarios producidos por hongos, caracterizados por su alta toxicidad en productos agrícolas, tanto para las personas como para los animales (Carvajal, 2022).

La producción de micotoxinas depende de diversos factores que pueden presentarse tanto en el campo como en el almacenamiento. En condiciones de campo, suele aumentar por efecto del estrés hídrico, las temperaturas elevadas y el daño ocasionado a la planta hospedante por insectos. Durante el almacenamiento, su

desarrollo puede verse favorecido por altas temperaturas, elevada humedad, condiciones de aireación y la presencia de inóculo primario proveniente del campo, lo que además reduce el valor nutricional del producto (Bullerman & Bianchini, 2014). Carvajal (2022) indica que la dosis y los efectos de las micotoxinas varían según el tiempo de exposición y el organismo afectado; por ello, se han propuesto distintas alternativas para su control y manejo, tanto mediante fungicidas químicos como por medio de opciones naturales, entre ellas los extractos botánicos.

Extractos botánicos

En años recientes, los sistemas agrícolas han sido impactados por el uso intensivo de agroquímicos para controlar malezas, plagas y enfermedades, lo que ha generado problemas importantes para la salud humana y el ambiente. En este contexto, los extractos botánicos surgen como una alternativa para el manejo de enfermedades, debido a sus propiedades antifúngicas y a su capacidad de actuar contra distintos patógenos (Gan & Wickings, 2017). Estos bioproductos contienen compuestos naturales que forman parte de los mecanismos de defensa de las plantas, conocidos como metabolitos secundarios, entre los que destacan los nitrogenados, fenólicos y terpenoides. Tales compuestos proporcionan a los extractos propiedades antiapetitivas, antivirales, antimicrobianas y repelentes, contribuyendo así a la protección de los cultivos y al mejoramiento de la calidad y producción de alimentos; además, suelen ser menos tóxicos y de degradación relativamente sencilla (Mazid *et al.*, 2011; Saravanakumar *et al.*, 2015).

Extracto de ajo

El producto biorracional de ajo (*Allium sativum*) es un agente de biocontrol ampliamente estudiado debido a la presencia de compuestos organosulfurados; entre ellos, la alicina se considera el metabolito principal asociado a la actividad antifúngica. Este compuesto y sus derivados interfieren con procesos vitales de los microorganismos, al inhibir enzimas y dañar la membrana celular del patógeno. Asimismo, el olor y el sabor intensos de sus compuestos pueden actuar como repelentes contra diversas plagas de insectos (Corrales & Reyes, 2016).

Extracto de mostaza

García y colaboradores (2017) señalan que el extracto de mostaza (*Sinapis alba*) tiene importancia en fitopatología, debido a que libera compuestos activos (glucosinolatos) presentes en las semillas y en el tejido de plantas de *Brassica*. Cuando este material se incorpora al suelo, se activa la enzima mirosinasa, que hidroliza los glucosinolatos y libera productos volátiles con efecto biocida, entre los que destacan los isotiocianatos. Estos compuestos son responsables de la actividad antimicrobiana y nematocida, ya que contrarrestan el desarrollo micelial de diversos hongos que afectan los cultivos, disminuyen el desarrollo de enfermedades en el sistema radicular y foliar, y reducen la población de nematodos.

Extracto de orégano

El extracto de orégano (*Origanum vulgare* L.) ha mostrado propiedades antifúngicas relacionadas con su aceite esencial, el cual contiene altas concentraciones de compuestos fenólicos como carvacrol y timol. Estos compuestos actúan alterando la estructura y el funcionamiento de la membrana celular del patógeno, lo que ocasiona lisis e inhibe el crecimiento del micelio, la germinación de esporas y la producción de biomasa (Hernández - Hernández *et al.*, 2014).

Extracto de canela

La canela (*Cinnamomum verum*) se caracteriza por su actividad antibacterial y antifúngica, asociada principalmente a su alta concentración de eugenol (75–85 %) y, en menor proporción, de cinamaldehído (5 %). Estos compuestos poseen características aromáticas y antimicrobianas, y se ha descrito que el extracto puede impedir el crecimiento de hongos mediante mecanismos como la alteración de la membrana, la inactivación de enzimas celulares y la granulación del citoplasma. Además, se ha documentado un efecto repelente frente a ácaros (Salem *et al.*, 2021).

Extracto de gobernadora

La gobernadora (*Larrea tridentata*), conocida también como chaparroso, hediondilla o creosota, se distribuye ampliamente en el norte de México, desde Baja California hasta Tamaulipas e Hidalgo, en altitudes que van aproximadamente de 400 a 1,800 m s. n.

m. Crece en ambientes secos, sobre terrenos planos, laderas y planicies aluviales, y ha cobrado importancia debido a sus propiedades y posibles aplicaciones industriales (Lira-Saldívar, 2003). Su extracto es un producto natural que ha ganado reconocimiento en el sector agropecuario por su actividad antifúngica, capaz de frenar el desarrollo de hongos de importancia económica. Este efecto se atribuye, entre otros compuestos, al ácido nordihidroguaiaretico (NDGA), que actúa principalmente contra hongos productores de aflatoxinas. Asimismo, se le han atribuido propiedades antiinflamatorias, citotóxicas, antioxidantes, inhibidoras enzimáticas y antimicrobianas, lo que la convierte en una alternativa natural con potencial para el control de enfermedades fúngicas en la agricultura (Moreno-Limón *et al.*, 2011).

Extractos de cítricos

El género *Citrus* comprende distintas especies, entre ellas *Citrus sinensis* (naranja), *C. limon* (limón), *C. reticulata* (mandarina) y *C. aurantifolia* (lima), entre otras. Asimismo, a partir de residuos de este mismo género, como semillas y cáscaras, es posible obtener bioproductos ricos en metabolitos secundarios, entre los que se incluyen alcaloides, terpenos, fenoles, flavonoides, taninos y saponinas. Estos compuestos poseen actividad antifúngica y antimicrobiana, y tienen la capacidad de inhibir el crecimiento de diversas especies de hongos (Okwu *et al.*, 2007).

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del Experimento

Este estudio se llevó a cabo en el Laboratorio de Toxicología del Departamento de Parasitología de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), localizada en Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, a una altitud de 1,742 msnm y con una longitud geográfica de 101°00'.



Figura 5. Entrada principal del Departamento de Parasitología de la UAAAN, Saltillo, Coahuila.

MUESTREO:

PARTE 1

Antes de aplicar los tratamientos, en el Laboratorio de Toxicología se llevó a cabo la identificación de los hongos presentes en el maíz. Para ello, se trasladaron submuestras al laboratorio, donde el aislamiento se realizó a partir de 3 g de cada muestra de ensilaje. Posteriormente, las submuestras fueron desinfectadas con hipoclorito de sodio al 1 % durante 1 min, enjuagadas tres veces con agua destilada estéril y secadas sobre papel estéril durante 15 min cerca del mechero. Después, se

sembraron en cajas Petri con medio PDA suplementado con ácido láctico (200 µL de ácido láctico al 85 %) y se incubaron a 27 °C ± 2 °C durante 4 a 5 días. Finalmente, se observó el crecimiento micelial de los distintos hongos y, a partir de cada uno, se realizó la purificación por punta de hifa, seguida de una incubación a 27 °C por 7 días, con el propósito de obtener cultivos puros.

Parte 2

Del maíz forrajero recolectado en ambos ranchos, se colocaron 1,500 g de forraje verde en bolsas de polietileno. Para cada extracto se prepararon 20 bolsas y se evaluaron tres extractos vegetales: canela (*Cinnamomum verum*), cítricos (*Citrus sinensis*) y gobernadora (*Larrea tridentata*), los cuales fueron proporcionados por el Laboratorio de Toxicología de la empresa CULTA, S. A. de C. V. En cada extracto se establecieron cinco tratamientos correspondientes a 10,000; 15,000; 20,000; 25,000 y 30,000 ppm, con cuatro repeticiones por tratamiento, además de un testigo absoluto con agua.

Para aplicar los extractos en cada tratamiento, se utilizó una tina de plástico y una regadera para asperjar el producto. En cada bolsa se aplicaron 50 mL de la solución correspondiente a su concentración, repitiendo el procedimiento bolsa por bolsa. Posteriormente, las bolsas se cerraron y se dejaron fermentar durante 30 días en la cámara bioclimática del Laboratorio de Toxicología. Este procedimiento de aplicación de aditivos y fermentación en condiciones controladas se basó en la metodología descrita por Yan *et al.* (2025).



Figura 6 Aplicación de los diferentes tratamientos a los ensilados

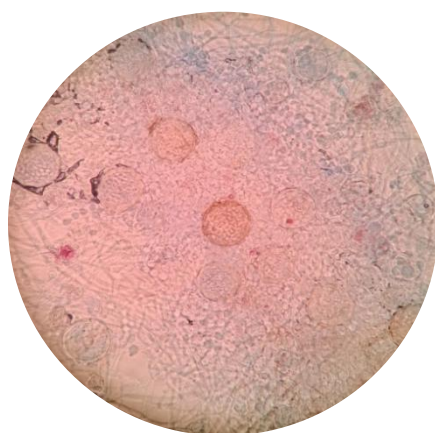
Obtención de Fitopatógenos

Transcurridos los 30 días de fermentación, se procedió al aislamiento de hongos a partir del ensilaje tratado. De cada tratamiento y concentración se tomaron 5 g de ensilaje y las muestras fueron trasladadas al Laboratorio de Toxicología del Departamento de Parasitología de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN) para su evaluación microbiológica. El aislamiento se llevó a cabo mediante siembra directa, una técnica comúnmente utilizada para recuperar hongos presentes en matrices vegetales y alimentos (Pitt & Hocking, 2009). En condiciones asépticas, de cada submuestra se tomaron cuatro fragmentos de entre 0.5 y 1 cm de diámetro, los cuales se colocaron en cajas Petri con medio agar papa dextrosa (PDA). Posteriormente, el medio fue acidificado con ácido láctico (200 µL de ácido láctico al 85 %) con el fin de disminuir el pH, limitar el desarrollo bacteriano y favorecer el crecimiento de hongos. Además, se incluyó un testigo absoluto consistente en PDA con agua. Las cajas se incubaron a $27\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ y se inspeccionaron cada 24 h durante un periodo de 10 días, registrando la presencia o ausencia de crecimiento micelial y, cuando este se presentó, las características macroscópicas iniciales de las colonias, como color y apariencia. La identificación morfológica se realizó con base en las claves taxonómicas de Barnett & Hunter (1998) para los géneros *Aspergillus* spp., *Monascus* spp. y *Penicillium* spp.; asimismo, para *Fusarium* spp. se emplearon las claves de Leslie & Summerell (2006).

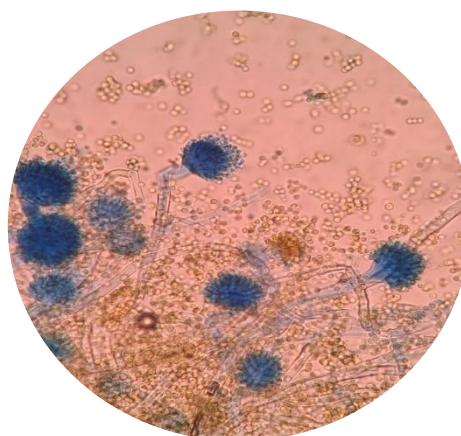
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Parte 1, las muestras sembradas en medio PDA acidificado fueron aisladas e identificadas morfológicamente a nivel de género utilizando las claves taxonómicas de Barnett & Hunter (1998). Los géneros reconocidos correspondieron a *Aspergillus* spp., *Monascus* spp. y *Penicillium* spp. De igual manera, con el apoyo de las claves propuestas por Leslie & Summerell (2006), se logró identificar *Fusarium* spp., como se presenta en el Cuadro 1.

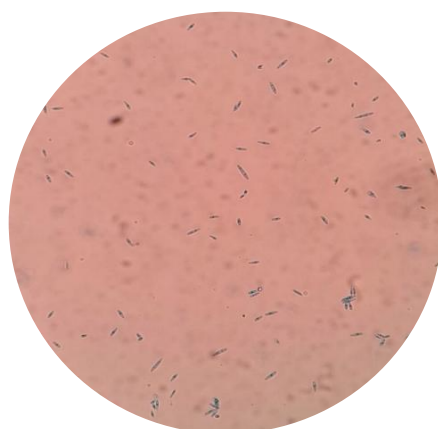
Cuadro. 1 Hongos presentes en los ensilados de maíz



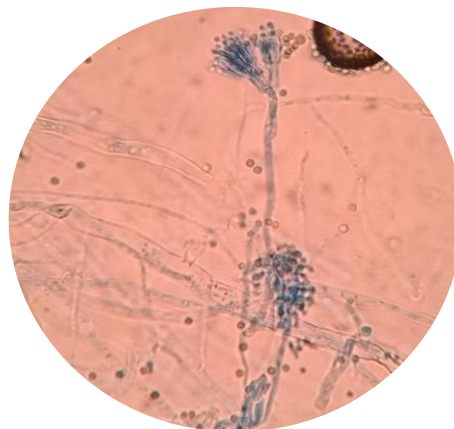
Monascus spp.



Aspergillus spp.



Fusarium spp.



Penicillium spp.

Según Reyes-Velázquez *et al.* (2008), en ensilados de maíz provenientes de localidades de Jalisco, Zacatecas, Aguascalientes y Guanajuato, los hongos

reportados con mayor frecuencia pertenecen a los géneros *Mucor* spp., *Penicillium* spp., *Aspergillus* spp., *Fusarium* spp., *Alternaria* spp., *Cladosporium* spp. y *Geotrichum* spp. Estos hallazgos coinciden con los resultados del presente estudio y con lo reportado por Velázquez-Guerrero *et al.* (2019) donde reportaron el crecimiento de *Monascus ruber* y *Monascus purpureus* en ensilados de maíz de Jalisco, Aguascalientes, Guanajuato y Zacatecas; de manera consistente, en este trabajo también se observó el crecimiento de *Monascus* spp.

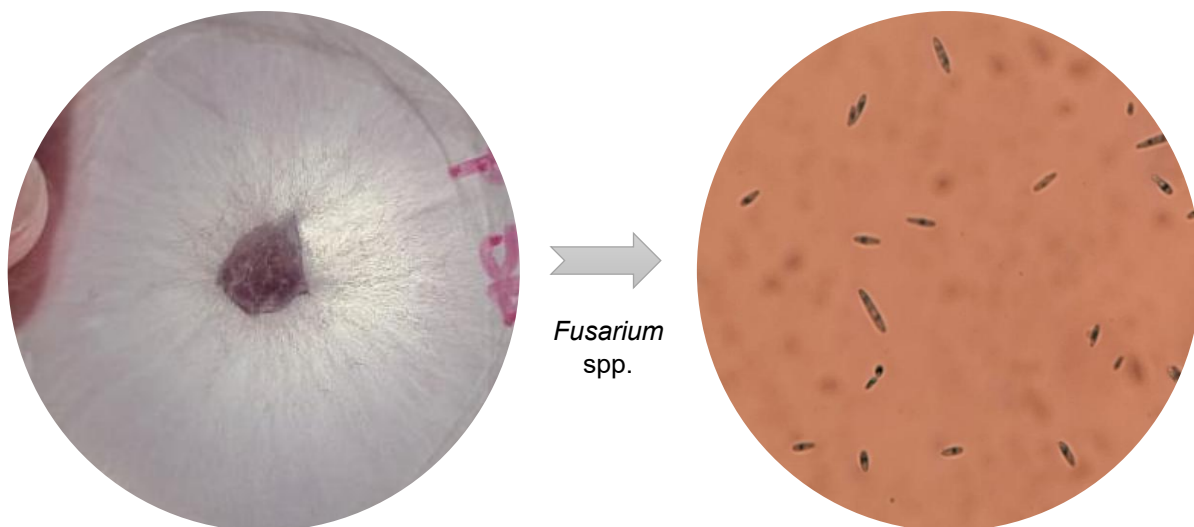
En el Cuadro 2 se muestran los géneros de hongos identificados en los ensilados para cada uno de los tratamientos, incluyendo el testigo absoluto. La identificación morfológica se llevó a cabo mediante montajes de cada cepa y con el uso de las claves taxonómicas propuestas por Barnett & Hunter (1998), así como por Leslie & Summerell (2006).

Cuadro 2. Identificación de los hongos presentes en cada uno de los tratamientos.

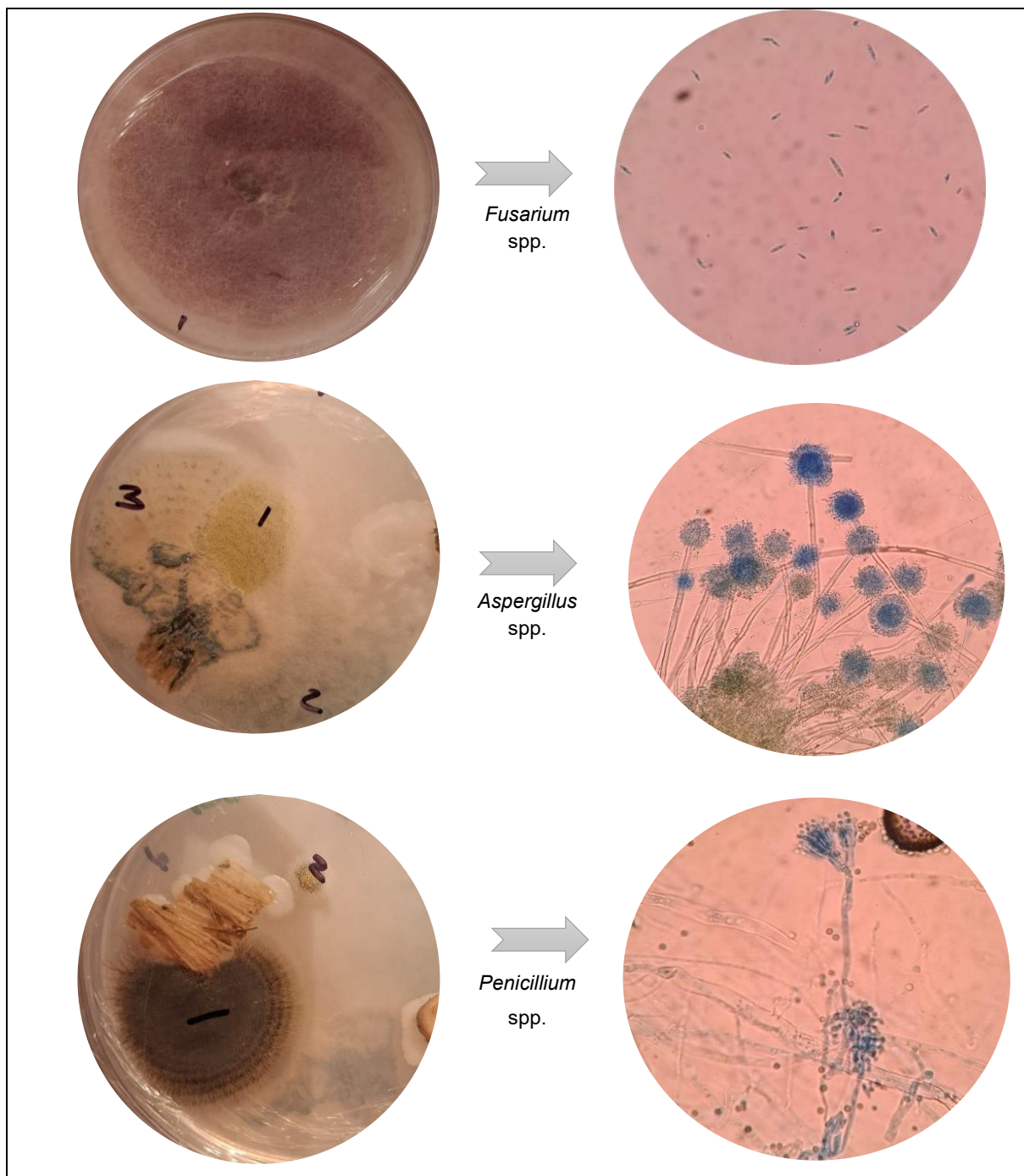
Extracto de canela (<i>Cinnamomum verum</i>)	Tratamientos	R1	R2	R3	R4
	10000 ppm		<i>Fusarium</i> <i>spp.</i>		
	15000 ppm				
	20000 ppm	<i>Fusarium</i> <i>spp.</i>			
	25000 ppm				
	30000 ppm				<i>Fusarium</i> <i>spp.</i>
Extracto de cítricos	Tratamientos	R1	R2	R3	R4
	10000 ppm	<i>Fusarium</i> <i>spp.</i>			
	15000 ppm				
	20000 ppm		<i>Fusarium</i> <i>spp.</i>		<i>Fusarium</i> <i>spp.</i>
	20000 ppm				

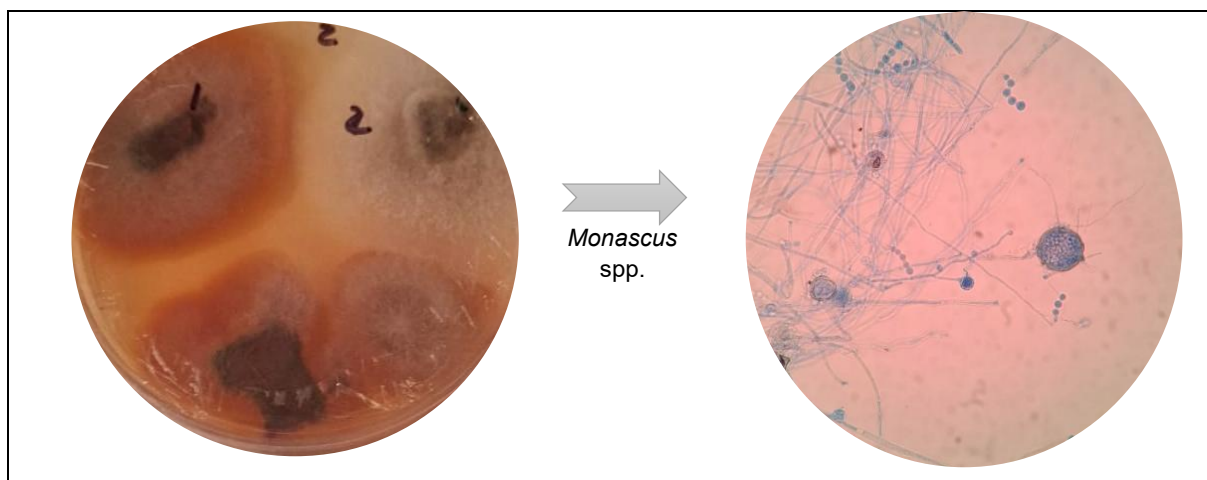
	30000 ppm			<i>Fusarium spp.</i>	
Extracto de gobernadora (<i>Larrea tridentata</i>)	Tratamientos	R1	R2	R3	R4
	10000 ppm	<i>Fusarium spp.</i>			
	15000 ppm				
	20000 ppm			<i>Fusarium spp.</i>	
	25000 ppm				
	30000 ppm		<i>Fusarium spp.</i>		
Testigo absoluto		R1	R2	R3	R4
		<i>Aspergillus spp.</i> <i>Penicillium spp.</i>	<i>Monascus spp.</i> <i>Fusarium spp.</i>	<i>Fusarium spp.</i> <i>Aspergillus spp.</i>	<i>Fusarium spp.</i> <i>Monascus spp.</i>

Cuadro 3. Hongo presente en los tratamientos (*Fusarium spp.*)



Cuadro 4. Hongos presentes en el testigo absoluto.





A partir de los resultados obtenidos en la identificación morfológica, se determinó que el género que permaneció en los distintos tratamientos evaluados fue *Fusarium* spp.; en contraste, en el testigo absoluto predominaron *Monascus* spp., *Penicillium* spp., *Aspergillus* spp. y *Fusarium* spp.

El extracto de *Larrea tridentata* (gobernadora) fue el que mostró la mayor inhibición en todas las concentraciones analizadas (Cuadro 2). De manera particular, en la repetición R4 no se registró crecimiento de hongos en ninguna de las concentraciones evaluadas. Este comportamiento se atribuye a la presencia y concentración de compuestos con efecto antifúngico, entre ellos el ácido nordihidroguaiaretico (NDGA) y otros fitoestrógenos, responsables de esta capacidad en la planta (Lira-Saldívar, 2003). En concordancia con estos resultados, diversos estudios *in vitro* han documentado el potencial antifúngico de los extractos de *L. tridentata* frente a hongos fitopatógenos. Hernández-Castillo *et al.* (2008) informaron una inhibición del 100 % de *Alternaria solani* con extracto etanólico a 8,000 ppm. De forma semejante, Jasso de Rodríguez *et al.* (2007) observaron que el extracto etanólico de *L. tridentata* a 4,000 ppm inhibe el crecimiento radial de *Rhizopus* sp.; asimismo, Tequida-Meneses *et al.* (2002) reportaron una inhibición del 60 % en el crecimiento radial de *Penicillium chrysogenum* mediante extractos etanólicos a 6,000 ppm. De igual manera, López-Benítez *et al.* (2005) demostraron que el extracto metanólico de gobernadora inhibe en un 100 % el crecimiento de *Fusarium solani*, *Rhizoctonia solani* y *Fusarium oxysporum* durante un periodo de hasta 240 h.

El extracto de canela (*Cinnamomum verum*) también mostró efecto inhibitorio sobre el crecimiento de los hongos detectados en este estudio. Entre los compuestos antifúngicos más importantes reportados para la canela se encuentran el aldehído cinámico, el metoxycinamaldehído y el eugenol (Bullerman, 1974; Morozumi, 1978; Velluti *et al.*, 2003). En este trabajo, la mayor inhibición se registró con la concentración de 3 %. Este resultado coincide con lo señalado por Soliman & Badeaa (2002), quienes indican que el aceite esencial de canela al 2 % inhibe en 45 % el crecimiento de *Aspergillus flavus*. De manera similar, Perumal *et al.* (2016) reportaron una inhibición del 50 % del crecimiento micelial de *Colletotrichum gloeosporioides* al aplicar aceite esencial de canela al 2 %.

Con respecto al extracto de cítricos, en el Cuadro 2 se aprecia que presentó actividad antifúngica en la concentración de 1.5 % en todas las repeticiones evaluadas, logrando una mayor inhibición de los fitopatógenos detectados. Estos resultados son semejantes a los descritos por Guédez *et al.* (2014), quienes señalaron que el crecimiento micelial de hongos poscosecha (*Penicillium indicum*, *Aspergillus flavus* y *Colletotrichum gloeosporioides*) se inhibe al 100 % *in vitro* cuando se utilizan concentraciones de 2.5 % y 5 %. No obstante, existen reportes con resultados diferentes: Alzate *et al.* (2009) mencionan que el extracto de cáscara de cítricos a 12,000 ppm no mostró efecto antifúngico contra *Fusarium oxysporum*, lo que contrasta con lo informado por Bhandari *et al.* (2021), quienes destacan que el aceite esencial y los extractos de cáscara de naranja han mostrado actividad antifúngica frente a una amplia diversidad de hongos fitopatógenos.

De igual forma, Silva-Cruz *et al.* (2015) confirmaron que el extracto de cítricos al 1 % produjo resultados favorables, al reducir en 25 % la incidencia de *Penicillium* spp., disminuir la severidad en 10.52 % y alcanzar un 89 % de control en manzana en poscosecha frente a la enfermedad conocida como moho azul. Por su parte, Guédez *et al.* (2014) señalaron que los extractos de semillas de naranja poseen, *in vitro*, capacidad para inhibir el crecimiento de hongos y bacterias altamente perjudiciales. Estos efectos se han relacionado con su potencial antioxidante, atribuido a la

abundancia de flavonoides y otros metabolitos secundarios bioactivos (Bora *et al.*, 2020).

CONCLUSIÓN

El empleo de extractos vegetales se presenta como una opción viable, económica y ecológica para el control de hongos fitopatógenos en el ensilaje de maíz forrajero, ya que no solo ayuda a conservar la calidad del alimento almacenado, sino que también contribuye a la inocuidad alimentaria al fomentar una agricultura más limpia y segura para la industria pecuaria. Con base en los resultados obtenidos, se concluye que el extracto de gobernadora fue el que mostró la mayor inhibición del crecimiento micelial de los fitopatógenos detectados en los ensilados de maíz (*Penicillium* spp., *Fusarium* spp. y *Aspergillus* spp.), en comparación con los extractos de cítricos y canela.

LITERATURA CITADA

- Abarca, M. L. (2000). Taxonomía e identificación de especies implicadas en la aspergilosis nosocomial. *Revista Iberoamericana de Micología*, 17 (3), 79-84.
- Acosta, O. G. (2009). El Holoceno Medio en la cuenca de México y el centro de México. *Diálogo andino*, (33), 7-21.
- Agrios, G. N. (2005) *Fitopatología*, 2da edición. editorial Limusa, 952 p. [Fitopatologia G.N Agrios 2da Edicion | PDF | Patologia de planta | Virus Fecha de consulta: marzo del 2026](#)
- Alzate, N. A. G., López, K., Marín, A., & Murillo, W. (2009). Evaluación preliminar de la actividad fungicida de los aceites esenciales de eucalipto (*Eucalyptus tereticornis*, Myrtaceae) y cáscara de naranja (*Citrus sinensis*, Rutaceae) sobre algunos hongos filamentosos. *Tumbaga*, 1(4), 59-71.
- Barnett, H. L., & Hunter, B. B. (1998). *Illustrated genera of imperfect fungi*. APS Press, Saint Paul, Minnesota. 157-158.
- Bhandari, D.P., Poudel, D.K., Satyal, P., Khadayat, K., Dhami, S., Aryal, D., Chaudhary, P., Ghimire, A. & Parajuli, N. (2021). Compuestos volátiles y actividades antioxidantes y antimicrobianas de aceites esenciales de cítricos seleccionados originarios de Nepal. *Molecules*, 26, 6683.
- Binder, E. M., Tan, L. M., Chin, L. J., Handl, J. & Richard J. (2007). Presencia mundial de micotoxinas en productos básicos, piensos e ingredientes de piensos. *Tecnología Animal Feed Scientia*. 137, 265–282. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2006.08.008>
- Bora, H., Kamle, M., Mahato, D. K., Tiwari, P. & Kumar, P. (2020). Aceites esenciales de cítricos (CEO) y sus aplicaciones en la alimentación: una visión general. *Plants*, 9, 357.
- Broders, K. D., Lipps, P. E., Paul, P. A., & Dorrance, A. E. (2007). Evaluation of *Fusarium graminearum* Associated with Corn and Soybean Seed and Seedling

- Disease in Ohio. *Plant Disease*, 91 (9), 1155–1160.
<https://doi.org/10.1094/PDIS-91-9-1155>
- Buechel, T. (2018). Perfil de las enfermedades radiculares: *Fusarium*. En línea:
<https://www.pthorticulture.com/es/centro-deformacion/perfil-de-las-enfermedadesradiculares-fusarium/> Fecha de consulta: julio de 2025.
- Bullerman, L. B. (1974). Inhibition of aflatoxin production by *cinnamon*. *Journal of Food Science* 39, 1163-1165.
- Bullerman, L. & B. Bianchini, A. (2014). Good food-processing techniques: stability of mycotoxins in processed maize-based foods. *Mycotoxin. Red. Grain Chain*. 89–100. <https://doi.org/10.1002/9781118832790.ch7>.
- Carrillo, L. (2003). Los hongos de los alimentos y forrajes. Universidad Nacional de Salta, Argentina. ISBN 987-9381-19-X. 118 pp.
- Carvajal M. (2022). Mycotoxin challenges in maize production and possible control methods in the 21st century. *Journal of Cereal Science* 103. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2021.103293>
- Carvajal, M. (2010). Investigación sobre aflatoxinas ¿Para qué? Departamento de Botánica. Instituto de Biología, UNAM. 5.
- Casmuz, A., Juárez, M. L., Socías, M. G., Murúa, M. G., Prieto, S., Medina, S., Willink, E., & Gastaminza, G. (2010). Revisión de los hospederos del gusano cogollero del maíz, *Spodoptera frugiperda* (Lepidóptera: Noctuidae). *Revista de la Sociedad Entomológica Argentina*, 69 (3-4), 209 - 231. <https://www.biotaxa.org/RSEA/article/view/28610> .
- Comisión Intersecretarial de Bioseguridad de los Organismos Genéticamente Modificados (CIBIOGEM) (2020). El cultivo de maíz: origen, diversidad y morfología. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/cibiogem>
- Corrales, I., & Reyes, J. (2016). Actividad Antimicrobiana y Antifúngica de *Allium sativum* en Estomatología. (254), 59-68. Recuperado

de <https://www.researchgate.net/publication/308201470> Fecha de consulta abril 2026.

Elizondo, S. J. A. (2015). Calidad nutricional y consumo de forraje de maíz (*Zea mays*) y forraje de estrella africana (*Cynodon nlemfuensis*) con o sin alimento balanceado en cabras. *Nutrición Animal Tropical* 9 (2), 11-26.

EPPO Global Database (2025). *Fusarium*. En línea: <https://gd.eppo.int/taxon/1FUSAG> Fecha de consulta: julio de 2025.

FAUBA (Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires) (2025). Vuelco del Maíz (Podredumbres de raíces y base del tallo). En línea: http://herbariofitopatologia.agro.uba.ar/?page_id=175 Fecha de consulta: julio de 2025.

Figueroa - Rivera, M. G., Rodríguez-Guerra, R., Guerrero-Aguilar, B. Z., González-Chavira, M. M., Pons-Hernández, J. L., Jiménez-Bremont, J. F., Ramírez-Pimentel, J. G., Andrio-Enríquez, E. & Mendoza-Elos, M. (2010). Caracterización de Especies de *Fusarium* Asociadas a la Pudrición de Raíz de Maíz en Guanajuato, México. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 28 (2), 124-134.

Gan, H. & Wickings, K. (2017). Soil ecological responses to pest management in golf turf vary with management intensity, pesticide identity, and application program. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 246, 66-77.

García, M., Cañon, H., Alfonso, C., Cavallero, M. & Curioni, A. (2017). Efecto de la fecha de siembra sobre la fenología y el rendimiento en un cultivo de Mostaza blanca (*Sinapis alba*. L.) en Luján, provincia de Buenos Aires. *Hortícola Argentina*, 36, 17-27.

Guédez, C., Cañizalez, L., Avendaño, L., Scorza, J., Castillo, C. & Olivar, R. (2014). Actividad antifúngica del aceite esencial de naranja (*Citrus sinensis* L.) sobre hongos postcosecha en frutos de lechosa (*Carica papaya* L.). *Revista de la Sociedad Venezolana de Microbiología* 34, 81-87.

- Hernández-Castillo, F., Lira-Saldívar, R. H., Cruz-Chávez, L., Gallegos-Morales, G., Galindo-Cepeda, F., Padrón-Corral, E. & Hernández-Suárez, M. (2008). "Potencial antifúngico de cepas de *Bacillus* spp. y extracto de *Larrea tridentata* contra *Rhizoctonia solani* en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.)". Revista Internacional de Botánica Experimental PHYTON, 77, 241-252.
- Hernández - Hernández, E., Regalado-González C, Vázquez-Landaverde P, Guerrero-Legarreta I, & García-Almendarez BE. (2014) Microencapsulation, Chemical Characterization, and Antimicrobial Activity of Mexican (*Lippia graveolens* H.B.K.) and European (*Origanum vulgare* L.) Oregano Essential Oils. The Scientific World Journal. 1- 12 [doi: 10.1155/2014/641814](https://doi.org/10.1155/2014/641814)
- Hernández - Martínez, R., Navarro-Blanco, I., & Mayek-Pérez, N. (2007). Hongos toxigénicos asociados a granos de maíz en México. Agricultura Técnica en México, 33 (3), 267–279.
- Houbraken, J. & Samson, R. A. (2011) Phylogeny of *Penicillium* and the segregation of *Trichocomaceae* into three families. Studies in Mycology, 70 (1), 1–51. [doi: 10.3114/sim.2011.70.01](https://doi.org/10.3114/sim.2011.70.01)
- Jasso de Rodríguez, D., Rodríguez-García, R., Hernández-Castillo, F. D., Villarreal Quintanilla, J. A. & Galván-Cendejas, A. (2007). Antifungal effects *in vitro* of semiarid plant extracts against post-harvest fungi. AAIC Annual Meeting: Bringing Industrial Crops into the Future. Portland, Maine. 7 – 10. Available:<https://aaic.org/wp-content/uploads/2019/03/2007.pdf>
- Klich, M. A. (2002). Identificación de especies comunes de *Aspergillus*. Primera edición. Centralbureau voor Schimmelcultures, Utrecht. Los países bajos. 166p.
- Koike, S. T., Wilen, C. A., Raabe, R. D., Mc Cain, A. H. & Grebus, M. E. (2019). *Fusarium* Wilt. En línea: <http://ipm.ucanr.edu/PMG/r280100811.html> Fecha de consulta: agosto de 2025.

- Leslie, J. F., & Summerell, B. A. (2006). The *Fusarium* Laboratory Manual. In The *Fusarium* Laboratory Manual. <https://doi.org/10.1002/9780470278376>
- Lira - Saldivar, R. H. (2003). Estado Actual del Conocimiento Sobre las Propiedades Biocidas de la gobernadora [*Larrea tridentata* (D.C.) Coville]. Revista Mexicana de Fitopatología, 21 (2), 214 - 222. <https://hdl.handle.net/20.500.14330/PER01000257888>
- López - Benítez, A., López-Betancourt, S., Vázquez-Badillo, M., Rodríguez-Herrera, S., Mendoza-Elos, M. & Padrón-Corral, E. (2005). Inhibición del Crecimiento Micelial de *Fusarium oxysporum* Schlechtend. f. sp. *lycopersici* (Sacc.) Snyder y Hansen, *Rhizoctonia solani* Kühn y *Verticillium dahliae* Kleb. Mediante Extractos Vegetales Acuosa. Revista Mexicana de Fitopatología, 23 (2), 183-190. Redalyc. Inhibición del Crecimiento Micelial de *Fusarium oxysporum* Schlechtend. f. sp. *lycopersici* (Sacc.) Snyder y Hansen, *Rhizoctonia solani* Kühn y *Verticillium dahliae* Kleb. Mediante Extractos Vegetales Acuosa
- Marroquín - Cardona, A. G., Johnson, N. M., Phillips, T. D. & Hayes, A. W. (2014). Mycotoxins in a changing global environment – A review. Food and Chemical Toxicology, 69, 220 - 230. Mycotoxins in a changing global environment – A review - ScienceDirect.
- Mazid, S., Kalita, J. & Rajkhowa, R. (2011). Review on the Use of Biopesticides in Insect Pest Management. International Journal of Science and Advanced Technology, 1 (7), 169 - 178.
- Mazzani, C., Luzón, O. & Chavarry, M. (2004). *Aspergillus flavus* asociado a *Epitragus* sp. (Coleoptera: *Tenebrionidae*) en maíz bajo riego en Turén, estado Portuguesa, Venezuela. Entomotropica 19, 157-159.
- Mokobi, F. (2020). *Fusarium* spp. En línea: <https://microbenotes.com/fusarium-spp/>
Fecha de consulta: octubre de 2025.

- Montemayor - Trejo, J. A., Olague-Ramírez, J., Fortis-Hernández, M., Samaniego-Gaxiola, J. A., Leos-Rodríguez, J. A., Aldaco-Nuncio, R. A., & Ruiz-Cerda, E. (2012). Consumo de agua y rendimiento de maíz forrajero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3 (4), 757-769.
- Montes, G. N., Reyes, M. C. A., Montes, R. N., & Cantú, A. M. A. (2009). Incidence of potentially toxigenic fungi in maize (*Zea mays* L.) grain used as food and animal feed. *CyTA - Journal of Food*, 7 (2), 119-125. <https://doi.org/10.1080/19476330902940432>
- Moreno, A., & Gonzales, B. (2011). Pérdidas por patógenos fúngicos sistémicos y pudrición de tallo en el cultivo de maíz forrajero. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 29 (2), 85-98.
- Moreno - Limón, S., González-Solís, L. N., Salcedo-Martínez, S. M., Cárdenas-Avila, M. L., & Perales-Ramírez, A. (2011). Antifungal effect of gobernadora extracts (*Larrea tridentata* L.) on *in vitro* inhibition of *Aspergillus flavus* and *Penicillium* sp. *Polibotánica*, (32), 193-205.
- Morozumi, S. (1978). Isolation, purification and antibiotic activity of o-methoxycinnamaldehyde from *cinnamon*. *Applied Environmental Microbiology* 36, 577 - 583.
- Munkvold, G. P., Mc Gee, D. C. & Carlton, W. M. (2003). Importance of different pathways for maize kernel infection by *Fusarium moniliforme*. *Phytopathology*, 87 (2), 209 – 217. <https://doi.org/10.1094/PHYTO.1997.87.2.209>
- Okwu, D. E., Awurum, A. N. & Okoronkwo, J. I. (2007). Phytochemical composition and *in vitro* antifungal activity screening of extracts from citrus plants against *Fusarium oxysporum* of okra plant (*Hibiscus esculentus*). *African Crop Science Society*, 8, 1755 - 1758.
- Osborne, L. (2012). Goss' bacterial wilt *Clavibacter michiganensis* ssp. *nebraskensis* (Vidaver and Mandel 1974) Davis *et al.* 1984). Bugwood.org. En línea: <http://www.forestryimages.org/browse/detail.cfm?imgnum=5486887> Fecha de consulta: enero de 2026.

- Payne, G.A. & Adkins, C. R. (1988). Aflatoxin accumulation in inoculated ears of field-grown maize. *Plant Disease*. 72, 422 – 424. DOI: 10.1094/PD-72-0422.
- Pérez-Terrón, R., Carmona-Díaz, J. C., Cebada-Ruíz, J. A. & Munive-Hernández J. A. (2012). Patogenicidad bacteriana en maíz (*Zea mays*) Bacterial Pathogenicity in corn, *Revista Iberoamericana de las Ciencias Biológicas y Agropecuarias*, 1 (1), 1 - 15. [Dialnet-PatogenicidadBacterianaEnMaizZeaMays-5063609.pdf](#)
- Perrone, G., Susca, A., Cozzi, G., Erlich, K., Varga, J., Frisvad, J. C., Meijer, M., Noonim, P., Warapa, M. & Samson, R. A. (2007). Biodiversity of *Aspergillus* species in some important agricultural products. 2007. *Studies Mycol*. 59, 53-66.
- Perumal, A. B., Sellamuthu, P. S., Nambiar, R. B. & Sadiku, E. R. (2016). Antifungal activity of five different essential oils in vapour phase for the control of *Colletotrichum gloeosporioides* and *Lasiodiplodia theobromae* *in vitro* and on mango. *International Journal of Food Science and Technology*, 51 (2), 411 - 418. <https://doi.org/10.1111/ijfs.12991>.
- Pitt, J. I. & Hocking, A. D. (2009). The Ecology of Fungal Food Spoilage. In: *Fungi and Food Spoilage*. Spring, US. 3 - 9. https://doi.org/10.1007/978-0-387-92207-2_2
- Posos, P. P. (1989). Determinación de eficacia plaguicida de nueve tratamientos químicos contra plagas rizófagas en el cultivo del maíz en San Martín Hidalgo, Jalisco. Ciclo PN 1988- 88. Universidad de Guadalajara. Guadalajara, Jalisco. 60 pp.
- Ramírez - Dávila, J. F. & Esquivel-Higuera, V. (2012) Modelacion espacial de gusano soldado (*Mythimna unipuncta*) en el cultivar de maíz, en tres municipios del Estado de Mexico, en el 2008. *Boletín del Museo de Entomología de la Universidad del Valle*. 13 (1), 1. link.gale.com/apps/doc/A330144028/IFME?u=anon~3de6206d&sid=googleScholar&xid=70f24dcb.

- Reyes - Velázquez, W. P., Espinoza, V. H. I., Rojo, F., Jiménez, C., Palacios, E. D., Hernández, J. & Ramírez, A. (2008). Occurrence of fungi and mycotoxins in corn silage, Jalisco State, Mexico. *Revista Iberoamericana of Mycology*. 25 (3), 182-185
- Robu, V., Covaci, G., & Popescu, I. M. (2015). El uso de aceites esenciales en la agricultura ecológica. *Research Journal of Agricultural Science*, 47 (4), 134-137.
- Salem, M. Z. M., EL-Hefny, M., Ali, H. M., Abdel-Megeed, A., El-Settawy, A. A. A., Bohm, M., Mansour, M. M. A. & Salem, A. Z. M. (2021). Plants-derived bioactives: Novel utilization as antimicrobial, antioxidant and phyto-reducing agents for the biosynthesis of metallic nanoparticles. *Microbial Pathogenesis*, 158, 105 - 107. <https://doi.org/10.1016/j.micpath.2021.105107>
- Samson, R. & Pitt, J. (2000). Integration of modern taxonomic methods for *Penicillium* and *Aspergillus* classification. CRC PRESS. 510 p. INTEGRATION OF MODERN TAXONOMIC METHODS FOR PENICILLIUM AND ASPERGILLUS CLASSIFICATION
- Sánchez, O. I. (2014). Maíz I (*Zea mays*). Reduca (biología). Serie Botánica 7 (2), 151-171. 1) La especie: aspectos botánicos (taxonomía).
- Saravanakumar, D., Karthiba, L., Ramjegathesh, R., Prabakar, K. & Raguchander, T. (2015). Characterization of bioactive compounds from botanicals for the management of plant diseases. *Agricultural and Food Sciences, Biology, Environmental Science*. 1- 18 pp. [9781780643236_1stChap_4f20e14e8c62fc0410cc80ccd065bc02.pdf](https://doi.org/10.1016/j.afs.2015.09.002)
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER). (2020). Maíz forrajero, también es maíz. Fecha de consulta: Enero de 2026. Maíz forrajero, también es maíz | Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural | Gobierno | gob.mx
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER). (2024). Expectativas Agroalimentarias 2024. Gobierno de México. Fecha de consulta: febrero de

2026. Expectativas agroalimentarias 2024 | Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural | Gobierno | gob.mx

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) (2019). Panorama agroalimentario 2019. Fecha de consulta: abril 2025 p.93. Panorama Agroalimentario 2025 | DGSIAP

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) (2023). Anuario Estadístico de la Producción en Agricultura Agrícola. Fecha de consulta: octubre del 2025 p.92 Anuario Estadístico de la Producción Agrícola

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2024a). Panorama agroalimentario 2024. Fecha de consulta: abril 2025 p.92-93 Panorama-Agroalimentario-2024.pdf

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2024b). Panorama agroalimentario 2024. Fecha de consulta: abril 2025 p.94 Panorama-Agroalimentario-2024.pdf

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2024c. Panorama agroalimentario 2024. Fecha de consulta: abril 2025 p.95 Panorama-Agroalimentario-2024.pdf

Silva-Cruz, M. E., Freitas Schwan-Estrada, K. R., Balbi-Peña, M. I., Terumi Itako, A., Clemente, E., & Stangarlin, J. R. (2015). Control del moho azul en poscosecha de manzana con productos naturales. *Idesia (Arica)*, 33 (2), 57-63. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292015000200007>

Soliman, K. M. & Badeaa, R. I. (2002). Effect of oil extracted from some medicinal plants on different mycotoxigenic fungi. *Food and Chemical Toxicology* 40, 1669- 1675.

Soriano del Castillo, J. M. (2007). Micotoxinas en alimentos. Ediciones Díaz de Santos. Capítulo 3 Especies productoras de Micotoxinas, apéndice 3.2.2 características diferenciales del género *Aspergillus*, 35 p.

- Souza, M., Gassman, A. J., Crowder, D. W. & Carrière Y. (2008). Insect resistance to *Bt* crops: evidence versus theory. *Nature Biotechnology*. 26, 199 - 2002. [Insect resistance to Bt crops: evidence versus theory | Nature Biotechnology](#)
- Tapia C. & Amaro J. 2014. Género *Fusarium*. *Revista Chilena de Infectología*, 31 (1), 85 - 86. Fecha de consulta: julio de 2025. [Genero-Fusarium.pdf](#)
- Tequida - Meneses, M., Cortez-Rocha, M., Rosas-Burgos, E.C., López-Sandoval, S. & Corrales-Maldonado, C. (2002). Efecto de extractos alcohólicos de plantas silvestres sobre la inhibición de crecimiento de *Aspergillus flavus*, *Aspergillus niger*, *Penicillium chrysogenum*, *Penicillium expansum*, *Fusarium moniliforme* y *Fusarium poae*. *Revista Iberoamericana de Micología*, 19 (2), 84 - 88. [Efecto de extractos alcohólicos de plantas silvestres sobre la inhibición de crecimiento de Aspergillus flavus, Aspergillus niger, Penicillium chrysogenum, Penicillium expansum, Fusarium moniliforme y Fusarium poae - Universidad de Sonora](#)
- Toledo, R. (2023). Representación fenológica del cultivo de maíz. https://es.linkedin.com/posts/ruben-toledo_desarrollo-maiz-development-activity-6943210445738496000-vhjl
- Turrent-Fernández, A., Cortés-Flores, J. I., Espinosa-Calderón, A., Hernández-Romero, E., Camas-Gómez, R., Torres-Zambrano, J. P. & Zambada-Martínez, A. (2017). MasAgro o MIAF ¿Cuál es la opción para modernizar sustentablemente la agricultura tradicional de México?, *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8 (5), 1169–1185. <https://doi.org/10.29312/remexca.v8i5.116>
- United States Department of Agriculture (USDA) (2025). Grain: World Markets and Trade. Foreign Agricultural Service. [Grains: World Markets and Trade | USDA Foreign Agricultural Service](#)
- Urango, L. A. (2018). Componentes del maíz en la nutrición humana. *Revistas U de A*. Fecha de consulta: diciembre de 2025, 186 – 207 p. [tavogar,+336229-161341-1-CE.pdf](#)

- Velázquez-Guerrero, J. J., Cerna, C. E., Delgado, O. J. C., Hernández, P. A., Quezada, T. T. & Ochoa, F. Y. M. (2019). Primer Reporte De *Monascus Purpureus* En Ensilaje De maíz Avena, Triticale Y Alfalfa. *Revista Mexicana De Ciencias Agrícolas*, 10 (8), 1911- 1917. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i8.1987>
- Velluti, A., Sanchis, V., Ramos, A.J., Ejido, J., & Marín, S. (2003). Inhibitory effect of cinnamon, clove, lemongrass, oregano and palmarose essential oils on growth and fumonisin B1 production by *Fusarium proliferatum* in maize grain. *Journal of Food Microbiology* 89, 145-154. [https://doi.org/10.1016/S0168-1605\(03\)00116-8](https://doi.org/10.1016/S0168-1605(03)00116-8)
- Visagie, C. M., Seifert, K. A. & Houbraken, J. (2014) Diversidad de *Penicillium* sección *Citrina* dentro del bioma fynbos de Sudáfrica, incluyendo una nueva especie de una infrutescencia de *Protea repens* *infructescence*, *Mycologia*. 106 (3) 537–552. DOI: [10.3852/13-256](https://doi.org/10.3852/13-256)
- Williams, J. H., Phillips, T. D., Jolly, P. E., Stiles, J. K., Jolly, C. M. & Aggarwal, D. (2004). Aflatoxinas humanas en países en desarrollo: revisión de toxicología, exposición, consecuencias potenciales a la salud, e intervenciones. *Am Journal. Clinical Nutrition*, 80, 1106-1122.
- Yan, X., Bao, J., Zhao, M., Liu, Z., Wang, M., Liu, J., Sun, P., Jia, Y., Ge, G., & Wang, Z. (2025). High-moisture alfalfa silage fermentation: A comparative study on the impact of additives including formic acid, *Lactobacillus plantarum*, cinnamon essential oil, and wood vinegar. *Microbiology Spectrum*. 3 (9), 1-20 <https://doi.org/10.1128/spectrum.00003-25>