

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE PARASITOLOGÍA



Evaluación de Extractos Botánicos para el Control de Hongos Fitopatógenos
en el cultivo de Maíz Forrajero (*Zea mays*)

Por:

JULIA MELISA PÉREZ RAMÍREZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO PARASITÓLOGO

Saltillo, Coahuila, México

Abril, 2023

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE PARASITOLOGÍA

Evaluación de Extractos Botánicos para el Control de Hongos Fitopatógenos
en el cultivo de Maíz Forrajero (*Zea mays*)

Por:

JULIA MELISA PÉREZ RAMÍREZ

TESIS


Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO PARASITÓLOGO


Aprobada por el Comité de Asesoría:




Dr. Ernesto Cerna Chávez
Asesor Principal Interno



Dra. Yisa María Ochoa Fuentes
Coasesor



Dra. Jazmin Janet Velázquez Guerrero
Coasesor



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



Saltillo, Coahuila, México
Abril, 2023

Declaración de no plagio

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

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

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

Pasante


Julia-Melisa Pérez Ramírez

Firma y Nombre

AGRADECIMIENTOS

A Dios por cada una de las bendiciones que me ha dado en la vida, por poner en mi camino personas maravillosas que me acompañaron en el transcurso de mi estudio, a él se lo debo todo lo que soy y lo que tengo.

A mi Alma Terra Mater por ser mi centro de estudios, y en conjunto darme un techo, alimentación, mi segundo hogar, la cual me dio la bienvenida al mundo real, las oportunidades que me ha brindado son maravillosas, las cuales me han llevado al éxito profesional, un sueño más e culminado.

Al Dr. Ernesto Cerna Chaves por permitirme ser parte de este proyecto de investigación, por el apoyo que me brindó para llevarlo a cabo.

A la Dra. Jazmín J. Velázquez Guerrero, Por la asesoría proporcionada en el presente trabajo, además de su confianza, su apoyo, amistad y el ejemplo de superación profesional y seguridad en sí mismo, fueron herramientas valiosas para el desarrollo de esta tesis, así como lo será para mi vida profesional y personal. ¡Gracias!

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

A la Dra. Roció de Jesús Díaz y al doctor Alberto Roque Enríquez por su disposición y asesoría en el acomodo de los datos.

A todos mis compañeros por su confianza, amistad, apoyo, por esos grandes momentos compartidos, momentos que llevare presente en mi vida.

De manera especial agradezco a todos mis profesores de esta prestigiosa universidad por compartir su conocimiento y buena educación.

DEDICATORIAS

A mis padres:

Pompilio Pérez Díaz y Amalia Ramírez Roblero

Ustedes que son mi motivación para seguir adelante, Dios tan grande me dio la dicha de tenerlos apoyándome siempre condicional e incondicionalmente, nunca me olvidare de dónde vengo porque ustedes se esforzaron mucho más que yo para sacarme adelante, papito, aunque ya no estés siempre vivirás en mi corazón.

A mis hermanos, mis cuñadas y mi cuñado

Agripina, Ramiro, Eugenio, Gamaliel, Walter, Sadai, Heloína, Jazmín, Blanca, Andrea, Vanesa y Aúner

Día a día con su respaldo, cariño, palabras de aliento me impulsaron a seguir adelante enseñándome a luchar por mis sueños, además deben de saber que mis logros también son los suyos.

A mis tíos:

Mario, Fernando, Irena, Carolina y Teófila

Por guiarme en el camino de la superación con sus sabios consejos, por lo cual con gran respeto y aprecio quedo de ustedes infinitamente agradecida por este logro.

A mi novio Damián

El apoyo y el amor que me has brindado ha sido de gran importancia para mí, has sabido estar en cada paso de mi vida, te agradezco y deseo compartir contigo este gran momento.

Con mucho cariño y amor dedico este proyecto a ustedes MI FAMILIA, porque son lo más sagrado que tengo en la vida, agradezco a mi abuela Julia, a pesar de que te fuiste aun te siento presente. Ustedes han fomentado en mí el deseo de superación y triunfo en la vida, les agradezco de todo corazón, espero contar siempre con su valioso e incondicional apoyo.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS	ii
DEDICATORIAS	iii
ÍNDICE GENERAL.....	iv
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
ÍNDICE DE CUADROS	viii
RESUMEN	ix
INTRODUCCIÓN	1
Objetivo General	4
Objetivo Especifico	4
Hipótesis	4
Aspectos Generales del Cultivo	5
Descripción de la Planta	6
Tallo.....	7
Hojas	7
Inflorescencias.....	7
Grano.....	7
Clasificación taxonómica	8
Producción.....	8
Producción Mundial de Maíz	9
Producción Nacional de Maíz Forrajero	10
Importancia económica.....	12
Principales patógenos que atacan al cultivo de maíz	13
Las rizófagas (atacan a la raíz)	13
Plagas del follaje	13

Bacterias y hongos	14
<i>Fusarium</i> spp.	14
Características morfológicas	15
Clasificación taxonómica.	15
Ciclo biológico.	16
Sintomatología.....	16
Estrategias de control.....	16
<i>Aspergillus</i> sp.	17
Características morfológicas	18
Ciclo de vida	18
Clasificación taxonómica.	19
Sintomatología.....	20
Estrategias de control.....	20
<i>Penicillium</i> spp.	20
Características morfológicas	21
Clasificación taxonómica.	21
Ciclo de vida	22
Sintomatología.....	22
Estrategia de control.....	23
Extractos Botánicos	23
Extracto de canela	24
Extracto de higuera	24
Extracto de mostaza	25
Ubicación del Experimento	26
Obtención de Fitopatógenos.....	26
Análisis estadístico	28
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	29

Inhibición de Crecimiento Miceliar	29
Inhibición de la Producción de Esporas	34
REFERENCIA BIBLIOGRAFICA.....	41

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Principales países productores de maíz USDA 2019.....	10
Figura 2. Evolución de la producción nacional de maíz forrajero.	11
Figura 3. Producción de Maíz Forrajero (en toneladas) de las principales entidades productoras de México.	12
Figura 4. Ciclo de infección de maíz por <i>A. flavus</i> en campo.....	19
Figura 5. Entrada principal del Depto. de Parasitología de la UAAAN, Saltillo, Coahuila.....	26
Figura 6. Inhibición de conidias de <i>Aspergillus</i> sp. por los extractos de canela e higuera.....	35
Figura 7. Inhibición de conidias de <i>Fusarium</i> sp. por los extractos de canela e higuera y mostaza.	37
Figura 8. Inhibición de conidias de <i>Penicillium</i> sp. por los extractos de canela, higuera y mostaza.	39

ÍNDICE DE CUADROS

Pág.

Cuadro 1. Porcentaje de crecimiento micelial que obtuvieron cada uno de los extractos botánicos en la evaluación con las distintas dosis en <i>Aspergillus</i> sp. ...	30
Cuadro 2. Concentración letal, límites fiduciales y ecuación de predicción de los extractos de canela, higuera y mostaza contra <i>Aspergillus</i> sp.	30
Cuadro 3. Porcentaje de crecimiento micelial que obtuvieron cada uno de los extractos botánicos en la evaluación con las distintas dosis en <i>Fusarium</i> sp.	31
Cuadro 4. Concentración letal, límites fiduciales y ecuación de predicción de los extractos de canela, higuera y mostaza contra <i>Fusarium</i> sp.	32
Cuadro 5. Porcentaje de crecimiento micelial que obtuvieron cada uno de los extractos botánicos en la evaluación con las distintas dosis en <i>Penicillium</i> sp.	33
Cuadro 6. Concentración letal, límites fiduciales y ecuación de predicción de los extractos de canela, higuera y mostaza contra <i>Penicillium</i> sp.	33
Cuadro 7. Análisis PROBIT de producción de esporas de <i>Aspergillus</i> sp. en los diferentes extractos evaluados.	34
Cuadro 8. Número de esporas producidas por mililitro de <i>Aspergillus</i> sp. con los distintos extractos.	35
Cuadro 9. Análisis PROBIT de producción de esporas de <i>Fusarium</i> sp. en los diferentes extractos evaluados.	36
Cuadro 10. Número de esporas producidas por mililitro de <i>Fusarium</i> sp. en los diferentes extractos evaluados.	37
Cuadro 11. Análisis PROBIT de producción de esporas de <i>Penicillium</i> sp. con los distintos extractos.	38
Cuadro 12. Número de esporas producidas por mililitro de <i>Penicillium</i> sp. con los distintos extractos.	38

RESUMEN

Las plagas y enfermedades son una limitante en la agricultura, debido a que causan severos daños en los seres vivos y el medio ambiente. En los patógenos de plantas, los hongos juegan un papel importante ya que se manifiestan tanto en campo como en almacén produciendo pérdidas económicas. Para su control, se utilizan pesticidas químicos, los cuales causan un desbalance en el ecosistema por esta razón se han implementado nuevas alternativas para reducir y reemplazar a los fungicidas sintéticos, actualmente el uso de aceites y extractos botánicos son una buena opción para el control de fitopatógenos, ya que son de origen natural, por lo tanto, no dañan al medio ambiente ni a la salud humana y animal.

El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto inhibitorio *in vitro* de extractos vegetales Higuera (*Ricinus communis*), Canela (*Cinnamomum verum* J. Presl) y Mostaza (*Sinapis alba*) sobre el crecimiento micelial, el porcentaje de inhibición y el número de esporas de *Aspergillus* sp., *Fusarium* sp. y *Penicillium* sp. utilizando la técnica del medio envenenado en cajas Petri, con medio PDA (Papa-Dextrosa-Agar). Las variables se determinaron por la técnica de dilución con concentraciones de 1.5, 2, 2.5 y 3% (v/v) y un testigo absoluto, con cinco repeticiones para cada uno de los extractos a evaluar. Con los datos obtenidos en el porcentaje de inhibición micelial se realizó un análisis de PROBIT en SAS (*Statiscal Analysis Software*) versión 9.1 y se corrió un análisis de varianza y prueba de Tukey con probabilidad de 0.5 para determinar la concentración inhibitoria media (CI_{50}) y la concentración letal 95 (CI_{95}) para cada uno de los fitopatógenos. El extracto de mostaza fue el mejor producto que inhibió *Aspergillus* sp., *Fusarium* sp. y *Penicillium* sp. debido a que presentó porcentaje de inhibición de 92.8, 96.1 y 94.7% respectivamente, seguida del extracto de canela donde el mayor control se encontró en la concentración del 3% teniendo valores en la CI_{50} de 1.70, 1.67 y 1.75% respectivamente para cada hongo. Por su parte el extracto de higuera solo mostro inhibir a *Fusarium* sp. con un 87.76% a una concentración del 3%.

Palabras clave: Fitopatógenos, extractos vegetales, inhibición.

INTRODUCCIÓN

El maíz (*Zea mays*) es uno de los granos alimenticios más usados para el consumo humano y animal. En el caso del consumo animal, es un excelente forraje ya que tiene un alto valor nutricional ya sea en fresco, ensilado o rastrojo (Boon, 2005).

El Instituto para la Innovación Tecnológica en la Agricultura (INTAGRI) en el 2020 sostiene que el Maíz Forrajero es originaria de México, de ciclo vegetativo anual, está compuesto por un solo tallo que puede llegar a medir hasta 4m de altura, en su inflorescencia se observan dos tipos de flores: una masculina que es en forma de espiga y la otra femenina con estructuras vegetativas llamadas espádices. Este cultivo es una de las principales fuentes de alimentación del ganado en el centro de México como es el caso de las vacas lecheras y el ganado de carne debido a que es una buena fuente de energía para ellos (Antolín *et al.*, 2009).

El Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (MAGRAMA) en el 2020 señala que España en este mismo año cultivo 96,981 ha de maíz forrajero obteniendo una producción de 4,235,808 ton, del cual un 90.5% lo usaron para ensilaje. De acuerdo a la información que reporto el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) en el 2021 los Estados Unidos ocupa el primer lugar a nivel mundial como productor y exportador de maíz en paja y rastrojo, genero un intercambio comercial de 31,578 toneladas, China y Japón destacaron como principales exportadores de forraje seco en el mundo. Mientras tanto en el 2017 México se ubicó en el 8vo lugar de producción mundial, en términos de valor exporto a 17 países tales como Venezuela (58%), Kenia (33%) y Estados Unidos (84%), entre otros (6%) posicionándose como el 10° exportador mundial de maíz en grano, la participación nacional en la producción de forraje en 2021 fue de 13.3%, se sembraron 597,543 hectáreas, con una producción de 17 millones 250 mil toneladas, como resultado se obtuvo un incremento de 1.1% en rendimiento respecto a 2020 (SIAP, 2021).

Las seis principales entidades con mayor volumen de producción son: Jalisco 5,664,121 ton, seguido de Durango con 2,854,244 ton, tercer lugar Zacatecas 1,934,786 ton, cuarto lugar el centro Occidente de Aguascalientes con un total de 1,384,789 ton, el centro de México genero 1,149,198 ton de forraje ocupando el quinto lugar y el noroeste de Coahuila con 876,763 ton quedando en séptimo lugar (SIAP, 2022).

Moore y colaboradores en el 2021 destacaron que una de las zonas con mayor producción de maíz forrajero en México es la Comarca Lagunera, que comprende parte de los estados de Coahuila y Durango, con una estimación de siembra de 60,000 has para grano y forraje ya que sus condiciones ambientales permiten producir y abastecer la demanda alimentaria animal sobre todo para el ganado lechero durante la primavera y el verano, cabe recalcar que esto depende en gran medida de las condiciones climáticas que se presentan en cada ciclo.

La productividad del maíz se ve afectado por un conjunto de factores bióticos y abióticos, que repercuten en su producción, comercialización, uso y procesamiento de los factores bióticos, los hongos son los que mayormente atacan al maíz y pertenecen a los géneros *Aspergillus*, *Fusarium* y *Penicillium*; estos organismos toxicológicos tienen una amplia distribución geográfica y pueden desarrollarse en campo y sobre una amplia gama de granos almacenados, causando bajos rendimientos y perdidas de calidad de forraje, debido a que muchos de esos patógenos tienen la capacidad de producir micotoxinas (aflatoxinas, fumonisinas, tricotecenos, zearalenonas, etc.) (Hernández *et al.*, 2007; Montes *et al.*, 2009). De acuerdo a Sharma 2004, en *Aspergillus* son comunes las aflatoxinas; en *Fusarium* son de gran importancia las fumonisinas, zearalenonas y los tricotecenos; mientras que en *Penicillium* sobresale la síntesis de patulina, la citrina y la ocratoxina.

Binder y colaboradores en el 2007, indicaron que las micotoxinas generan metabolitos secundarios, y si el ganado lo consume como consecuencia habrá

menor ganancia de peso, una mayor probabilidad de enfermedades y menos capacidad reproductiva, esto también repercute en los seres humanos al consumir leche o carne de animales criados con alimentos contaminados (Requena *et al.*, 2005).

Carrillo en el 2003, menciona que *Penicillium* causa el daño más frecuente en el maíz, comienza en campo y continua durante el acopio y la comercialización, crece sobre materiales vegetales y causan pudriciones destructivas en la industria alimentaria, donde producen una amplia gama de micotoxinas.

Wu en el 2007, afirma que antes del corte para ensilado, tanto la mazorca como el tallo y las hojas presentan mayor infección por *Fusarium*, lo que resulta un grave problema, este hongo causa la muerte de óvulos, marchitamiento del grano, debilitamiento o muerte de embriones, ocasiona pérdidas importantes de rendimiento, así mismo causa pudrición de la mazorca y de los granos lo que significa un riesgo por la producción micotoxinas. Las toxinas más importantes son el deoxinivalenol (un tricoteceno de tipo B) y las zearalenona, producidas principalmente por *F. graminearum*, y las fumonisinas, que generan sobre todo *F. verticillioides* (Logrieco *et al.*, 2002; Munkvold, 2003).

Klich en el 2002, indica que el maíz también puede ser infectado por *Aspergillus*, la mayor parte de estos hongos son filamentosos saprofitos, participan en la degradación de la materia orgánica, razón por la cual son las más abundantes en la naturaleza, además podemos encontrarlo en cualquier ambiente, las especies de *Aspergillus* son capaces de infectar las plantas de maíz en campo, la más común es *A. niger*, que genera masas pulverulentas negras de esporas que rodean los granos y *A. flavus* y *A. parasiticus* que son capaces de producir aflatoxinas los cuales resultan tóxicos para mamíferos y aves.

Abdel y colaboradores en 2011 señala que el control de las enfermedades fúngicas cada año ha dependido en gran dimensión de los tratamientos con agroquímicos,

sin embargo, su uso implica un gran riesgo para la salud humana y animal, además aumenta la contaminación en el medio ambiente, dando lugar a la aparición de microorganismos con mayor resistencia y agresividad. En respuesta a este problema se ha generado un gran interés en la investigación de la utilización de extractos de plantas como fungicidas naturales, que no sean agresivos para el medio ambiente, estudios realizados comprueban la actividad biológica de algunos metabolitos encontrados en las plantas, que ofrecen una alternativa prometedora para el control de plagas y enfermedades (Villa-Martínez *et al.*, 2015).

Objetivo General

Evaluar el efecto inhibitorio *in vitro* de extractos vegetales Higuierilla (*Ricinus communis*), Canela (*Cinnamomum verum* J. Presl) y Mostaza (*Sinapis alba*) sobre el crecimiento micelial, el porcentaje de inhibición y el número de esporas de *Aspergillus* sp., *Fusarium* sp. y *Penicillium* sp.

Objetivo Especifico

Determinar la concentración letal media (CL50) inhibitoria de los extractos de Higuierilla, Canela y Mostaza (*Ricinus communis*, *Cinnamomum verum* J. Presl. y *Sinapis alba*) en cada uno de los diferentes Fitopatógenos *Aspergillus* sp., *Fusarium* sp., y *Penicillium* sp.

Hipótesis

Al menos uno de los extractos vegetales Higuierilla (*Ricinus communis*), Canela (*Cinnamomum verum* J. Presl.) y Mostaza (*Sinapis alba*) inhibirán el crecimiento y desarrollo de *Aspergillus* sp., *Fusarium* sp. y *Penicillium* sp.

REVISIÓN DE LITERATURA

Aspectos Generales del Cultivo

Diversos estudios señalan que el Maíz Forrajero (*Zea mays* L.) es una gramínea originaria de México, el cual ha sido utilizado como base de alimentación en varios sistemas de producción bovina, mediante su conservación (ensilaje) para la alimentación de animales ya sea en fresco en seco (Sánchez *et al.*, 2013)

La ganadería tiene relación con la agricultura en forma directa, constituyéndose como la base de esta, ya que abastece los sistemas pecuarios, la energía proveniente del sol, hace posible un adecuado suministro de agua y nutrientes para el crecimiento de la planta (Whiteman, 1974). La producción de forraje es un proceso donde se obtiene materia orgánica a partir de materia inorgánica (minerales, agua y bióxido de carbono) en presencia de una fuente de energía: la radiación solar. Algunos autores consideran que la producción de materia seca es la conversión de energía luminosa a energía química almacenada en el tejido vegetal, por lo que la cantidad de radiación recibida sobre un punto determinado de la superficie terrestre es la limitante de la cantidad de forraje producido en este caso debe de contener un alto volumen de materia seca de buena calidad (Cooper, 1970).

Para la siembra de maíz forrajero el terreno debe de cumplir con una serie de requisitos para lograr una buena producción, con el menor uso de agroquímicos, para que esto se logre es necesario hacer un análisis de suelo y clima favorable para el desarrollo del cultivo, el Maíz se desarrolla mejor en suelos ligeramente ácidos, con alta materia orgánica y un buen drenaje, en relación al clima, se desarrolla mejor en regiones con temperaturas entre 25 y 30° C (Cueto *et al.*, 2006). La producción de forrajes también va depender del lugar donde se desarrolle el tipo de suelo, clima, así como a quien va dirigido si en ganado ovino, bovino, porcino, etc. (SIAP, 2017).

El delegado de Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural (SAGARPA) en el 2016 menciona que al ser la Laguna la principal cuenca lechera del país, los forrajes como el maíz, la avena, el trigo y la alfalfa, son los principales cultivos que se establecen en la zona y que tienen garantizado su comercialización. Cabe destacar que el maíz y la alfalfa se complementan en la alimentación de los animales, el maíz en el contenido de energía y fibra requerida por los rumiantes para la digestión y la alfalfa como fuente de proteína en la producción de leche (Montemayor *et al.*, 2012).

El maíz para ensilaje es el segundo cultivo forrajero después de alfalfa y representa el 30% de la superficie cosechada con forrajes (SAGARPA, 2009).

SAGARPA en el 2018 señala que en los últimos años el maíz se ha colocado como el primer cultivo forrajero con 58, 870 ha.

Descripción de la Planta

La planta desarrolla características y diferencias morfológicas en las fases vegetativas y de reproducción, los cuales han sido consecuencia de la evolución, de la selección natural y de la domesticación. Algunos genotipos se han adaptado a zonas ecológicas concretas, desarrollando características particulares, como por ejemplo la sensibilidad con respecto a la duración del día y a la temperatura, que limitan a su adaptabilidad a zonas con diferente latitud y altitud (FAO,1993).

Según Valladares (2010), el maíz presenta 4 tipos de raíces:

- Raíz principal: 1-4 raíces se originan en el embrión y dejan de funcionar. La planta se alimenta de la semilla las primeras dos semanas después de la germinación.
- Raíces adventicias: la mayor parte del sistema radicular es de este tipo pueden alcanzar hasta 2m de profundidad, dependiendo de la humedad.
- Raíces de soporte: se originan en los nudos basales, favoreciendo una mayor estabilidad de la planta y forma parte en el proceso de la fotosíntesis.
- Raíces aéreas: las cuales no alcanzan el suelo.

Tallo

Es simple, robusto, erecto en forma de caña y macizo en su interior, formado por nudos y entrenudos, cuyo número y longitud varían notablemente además no presenta ramificaciones, cuya función principal es la conducción de agua y sustancias nutritivas para su desarrollo (Sing *et al.*,2010).

Hojas

Son largas, lanceoladas, alternas, paralelinervias y de gran tamaño. Se encuentran abrazando al tallo y con presencia de vellosidad en el haz, además los extremos de las hojas son muy afilados y cortantes (Valladares, 2010).

Inflorescencias

El maíz forrajero es un cultivo que incluye toda la planta, es monoica pues presenta inflorescencia masculina y femenina separada dentro de la misma planta, en cuanto a la inflorescencia masculina presenta una panícula de coloración amarilla que posee aproximadamente entre 20 a 25 millones de granos de polen, además cada flor que compone la panícula contiene tres estambres donde se desarrolla el polen. En cambio, la inflorescencia femenina tiene un menor contenido en granos de polen, que va de 800 a 1000 granos y se forman en unas estructuras vegetativas llamadas espádices (SIAP, 2019).

Grano

La cubierta de la semilla (fruto) se llama pericarpio, es dura, por debajo se encuentra la capa de aleurona que le da color al grano (blanco, amarillo, morado), contiene proteínas y en su interior se halla el endosperma con el 85-90% del peso del grano, para uso de forraje el grano debe estar en estado masoso, ya que la mayor parte de la energía digerible se centra en las espigas y los granos (Fernández, 2013).

Clasificación taxonómica

El maíz es una planta monocotiledónea con una gran demanda en el mundo, ya que su consumo es básico en muchas poblaciones, pertenece a la familia de las Poaceas, de la tribu Maydeas, además es una especie de gran importancia económica (Sánchez, 2014).

Reino: Vegetal

División: Tracheophyta

Clase: Angiosperma

Subclase: Monocotiledónea

Orden: Graminales

Familia: Graminae

Género: *Zea*

Especie: *Mays*

Producción

Robles y colaboradores en el 2017 nos mencionan que el maíz es el cereal más cultivado en el mundo, el 98% se usa para alimentación humana y animal, mientras que el resto tiene aplicación industrial, se siembran 129 millones de hectáreas, en donde se obtiene un rendimiento de grano de 6.7 t/ha en países desarrollados y 2.4 t/ha en países en desarrollo.

Sánchez y colaboradores en el 2011, afirman que la siembra con alta densidad de población de plantas por hectárea, se aprovecha más el terreno y el productor va obtener mejor rendimiento del cultivo por unidad de superficie, por tal motivo recomienda el uso de semilla híbrida para grano y forraje, además de una densidad óptima para maíz forrajero de 98,000 plantas por hectárea, aunque cabe recalcar que la densidad optima en maíz depende del genotipo, fertilidad y manejo agronómico que se le dé al cultivo. Todas las variedades se pueden cultivar para forraje, no obstante, las que tienen un mayor rendimiento son las de alto porte, el

rendimiento que presenta un cultivo de maíz forrajero es entre 60 y 80 toneladas de forraje fresco por hectárea, así mismo, Elizondo y Boschini en el 2001 señalaron que para obtener mayor rendimiento en calidad y cantidad se debe aumentar la densidad de siembra para abarcar mayor superficie y así se estimule una mayor relación hoja: tallo.

Producción Mundial de Maíz

El SIAP 2020, en su boletín informativo reporta la producción de maíz, donde los Estados Unidos son los que tiene mayores rendimientos, seguido de China con 347,488,000 y 254,000,000 toneladas métricas, juntos tienen el 58% de la producción de maíz en el mundo, Brasil con 101,000,000 millones de hectáreas, Unión Europea con 64,200,000 y Argentina logrando 50,000,000 toneladas métricas respectivamente, los países que siguen en producción son Ucrania y México con 36,000,000 y 27,000,000 toneladas métricas, respectivamente tal y como se ilustra en la gráfica 1. El USDA en 2019 señala que durante el ciclo 2018/19 los cinco principales países productores concentraron 74.8 por ciento de la producción mundial.

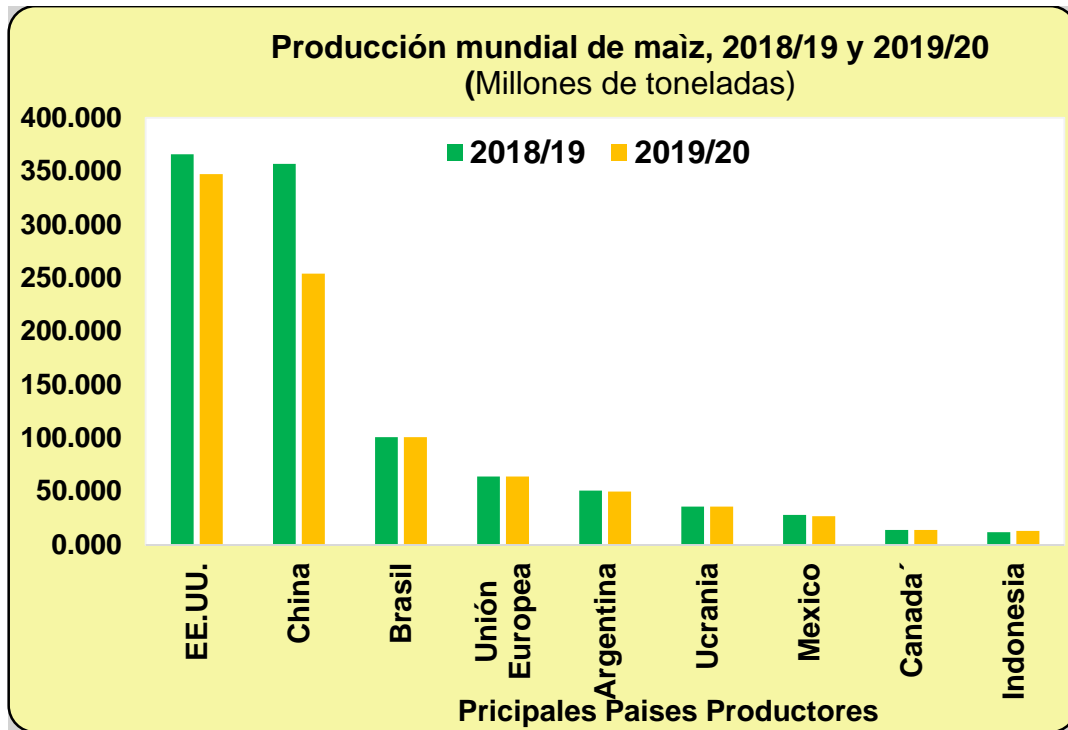


Figura 1. Principales países productores de maíz USDA 2019. Disponible en <https://s3.amazonaws.com/inforural.com.mx/wpcontent/uploads/2019/11/28094132/Panorama-Agroalimentario-Ma%C3%ADz-2019.pdf>. Consultada en marzo 2023.

Producción Nacional de Maíz Forrajero

De la superficie total sembrada con maíz, el 80 % es de temporal o secano, donde más de 2 millones de productores de pequeña escala lo siembran para autoconsumo (Mera-Ovando y Mapes-Sánchez, 2009). El maíz es un insumo alimentario con gran uso pecuario en México su producción se ha incrementado durante los últimos años, en 2019 la superficie sembrada fue de 553,000 has de las cuales se cosecharon 508,000 obteniendo un volumen de 15,570 ton, evaluadas en más de 10 millones de pesos (SIAP, 2019).

En la figura 2. se observa el crecimiento en desde el año 2009, excepto en 2011, donde el volumen de maíz forrajero se redujo con respecto al año anterior, sin embargo, desde 2015 el incremento que se ha producido ha sido constante. En

2018 la superficie sembrada fue de 600,000 has obteniendo un rendimiento de 17,464,000 ton, lo que supone un promedio de 29.1 ton por ha (SIAP, 2019).

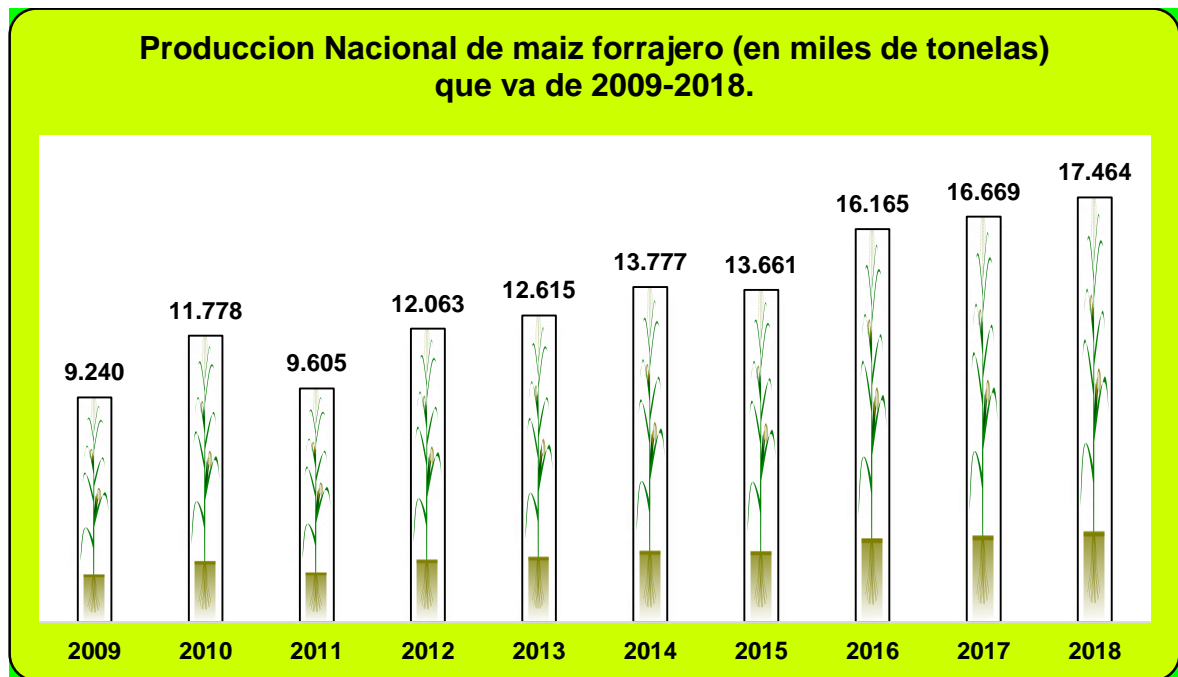


Figura 2. Evolución de la producción nacional de maíz forrajero (en miles de toneladas) entre 2009 y 2018 (SIAP, 2019). Disponible en: <https://mexico.infoagro.com/maiz-forrajero-en-mexico/>. Consultada en marzo de 2023.

Según datos del SIAP en el 2020, se logró una producción de 16,768,846.80 ton. lo que generó 10,198,617.46 millones de pesos, cabe recalcar que Jalisco tiene la mayor producción de Maíz Forrajero, con más de 5 millones de ton (34.2%), es por eso que se considera como la entidad federativa con el hato ganadero más numeroso del país. Por su parte, Durango con más de 2 millones de ton (13.5%) ocupa el segundo lugar y Zacatecas (12.8%) ocupó el tercer lugar con 114, 278 ton menos que Durango, por lo que estas 3 entidades representaron el 60.5% de la producción nacional, también se observa que el Estado de México ocupa el 5° lugar a nivel nacional con más de un millón de ton, tal y como se aprecia en la gráfica 3.

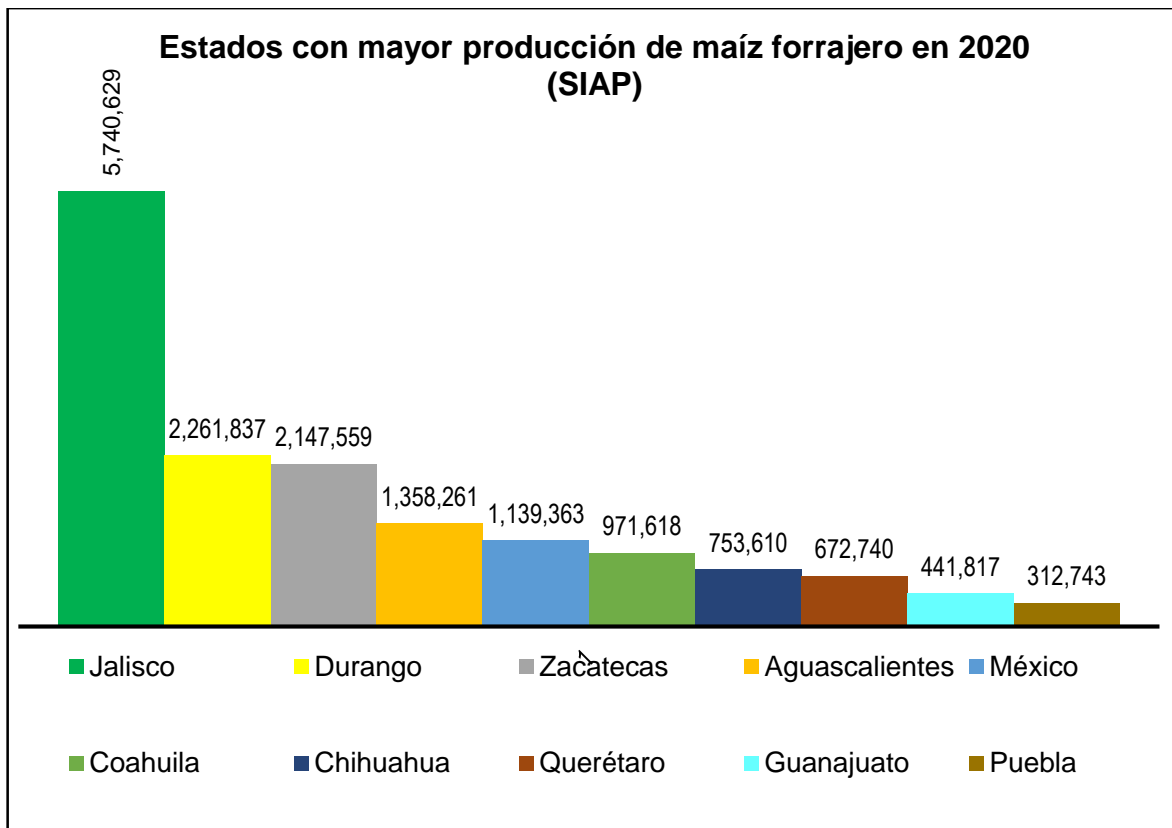


Figura 3. Producción de Maíz Forrajero (en toneladas) de las principales entidades productoras de México (SIAP, 2020). Disponible en: <file:///C:/Users/gabyr/Downloads/FIRA%20Perspectivas%202022.pdf>. Consultada en marzo de 2023.

Importancia económica

Núñez en el 2000 menciona que en zonas de importancia económica que se dedican a la producción de leche, existe una alta demanda de forraje, producido bajo condiciones de riego sobre todo cuando la región tiene poca disponibilidad de agua. Robledo en el 2017 indica que el maíz es una fuente importante de ingresos, debido a que es el más destacado como fuente de energía tanto humana como animal, entre el 70% al 80% de su producción es utilizado como un ingrediente del pienso en el mundo, además es el tercer cultivo más importante en términos de recesión de ingresos, cada año en México se siembran millones de hectáreas para grano y forraje, con un rendimiento promedio de 26,0 t/ha de materia verde.

Principales patógenos que atacan al cultivo de maíz

El SIAP en el 2021, nos señala que el maíz como cualquier otro cultivo está expuesto frecuentemente a plagas y enfermedades que están en una constante evolución, debido al cambio climático provocando desequilibrios y desajustes en el ecosistema, entre las plagas que más perjudican al cultivo de maíz están:

Las rizófagas (atacan a la raíz)

- **Gallina ciega *Phyllophaga* spp:** retrasa el crecimiento del cultivo muestra amarillamiento, continua con marchitez y cuando el ataque es severo en plantas chicas estas pueden morir, por lo que el productor tiene hacer una adecuada identificación de la plaga para hacer más sencillo su control (SIAP,2021).
- **Gusano de alambre *Agrotis lineatus*:** perforan los granos antes y durante la germinación, hacen perforaciones a las plántulas por debajo del suelo (SIAP, 2021).
- **Diabrotica *Diabrotica virgifera zea*:** el daño principal lo realiza la larva al alimentarse de las raíces, barrenan los tallos, la planta presenta síntomas de falta de agua, disminuye su capacidad de anclaje y soporte, lo que ocasiona inclinación en el maíz (SIAP, 2021).

Plagas del follaje

- **Gusano cogollero *Spodoptera frugiperda*:** las larvas barrenan la base del tallo, como consecuencia provoca la muerte de la plántula cuando es pequeña, en las plantas más desarrolladas, solamente ocurre la muerte del cogollo y tienden amacollar (Buechel, 2018).
- **Araña roja *Tetranychus* sp.** Nava en el 2005, señala que es una plaga primaria del cultivo de maíz forrajero, la planta presenta clorosis y manchas rojas que quedan sobre la hoja.

Bacterias y hongos

- ***Pseudomonas alvoprecipitans***: es una de las enfermedades bacterianas que afecta al maíz, se manifiesta como manchas en las hojas de color blanco con tonos rojizos originando la podredumbre del tallo (Varón y Sarria, 2007).
- **Cáncer bacteriano *Clavibacter michiganensis* subsp. *nebraskensis***: esta bacteria entra a la planta a través de heridas, aunque también se puede transmitir por semillas, a lo largo de las nervaduras de las hojas se presentan zonas de color café claro a gris (lesiones) con manchas pequeñas oscuras (Bradley, 2013).
- **La antracnosis *Colletotrichum graminicola***: es uno de los patógenos fúngicos más comunes en el tallo, un estrés tras la floración favorece la aparición de esta enfermedad, este hongo se manifiesta mediante una coloración negro brillante en el tallo en los últimos estadios (Mark, 2020).
- **Carbón de la espiga *Sporisorium reilianum***: se presenta en la etapa de floración de la espiga y formación de mazorca, en infecciones tempranas se reduce el desarrollo de la planta y las espiguillas no se forman, por lo que puede ocasionar daños económicos significativos en zonas maiceras secas y cálidas. (Miguel, 2018).

***Fusarium* spp.**

Wu en 2007, menciona que antes del corte para ensilado, el tallo y la mazorca del maíz pueden ser infectados con *Fusarium*, también nos dice que hay una importante pérdida en rendimiento ya que este género tiene la capacidad de producir micotoxinas. Los rumiantes al consumir el forraje seco contaminado tienden a sufrir cambios en su desarrollo y adaptación, Döll y Dänicke en 2011, señalaron que el ganado porcino es sensible a la toxicidad del deoxinivalenol (un tricoteceno de tipo B) les provoca un exceso relativo de estrógenos y menor fertilidad.

Características morfológicas

De acuerdo con Tapia y Amaro en el 2014, *Fusarium* spp. a nivel laboratorio muestra características propias de la especie, fialide fina en forma de botella; simple o ramificada; cortas o largas. Los clamidiosporas con particularidad de doble pared gruesa, lisa o rugosa; de manera aislada en pareja o en grupo. De igual forma, pueden observarse macroconidias en forma de media luna, hialinos y septados, cabe destacar son ausentes en algunas especies y poseen variadas formas (fusiformes, ovales, clavadas, entre otras), agrupaciones (estructuras mucoides llamadas" falsas cabezas). Dichos autores también afirman que en medio PDA se observa la morfología y el pigmento (café, rojo, violeta, naranja, gris, blanco) difusible al medio.

Buechel en el 2018, sostiene que, en campo, *Fusarium* spp. se puede identificar porque forma lesiones hundidas de color negro o marrón en la base de los tallos.

Clasificación taxonómica.

De acuerdo con la Organización Europea y Mediterránea para la Protección vegetal (EPPO,2020) *Fusarium* spp. pertenece a:

Phylum: Ascomycota

Clase: Sordariomycetes

Orden: Hypocreales

Familia: Nectriaceae

Género: *Fusarium*

Especie: *Fusarium* spp.

Ciclo biológico.

Desde el punto de vista de Fauba (2020), la infección inicia en etapas tempranas del cultivo considerando que la mayoría de los agentes causales están en el suelo, razón por la cual la enfermedad se considera monocíclica ya que, aunque puede haber infecciones secundarias, las pérdidas dependen del inóculo presente en los lotes al momento de la siembra.

La descomposición de las raíces comienza en etapas vegetativas pasando desapercibidamente hasta que comienza la migración de fotosintatos de la base de los tallos a las espigas, en este comienzo las clamidosporas o conidios germinan y penetran en plantas susceptibles, el hongo se incorpora al xilema creciendo hacia arriba, tapa el tejido y reduce el movimiento del agua, y es aquí donde se producen las toxinas que hacen que el follaje se vuelva amarillo (Koike *et al.*,2019).

Sintomatología.

Buechel en el 2018 sostiene que *Fusarium* spp. en maíz puede causar daño en todas las etapas del cultivo como manchas foliares, marchitez y pudrición de los esquejes, el bulbo y hasta la raíz. Seminis en el 2020 señala que en plántula y planta adulta ocasiona inclinación del tallo, cuando la enfermedad es severa las plantas pueden marchitarse y morir, aparecen lesiones color café al nivel o cerca del suelo que se extiende por más de 25 cm sobre el nivel, cuando la humedad es adecuada, se puede observar la esporulación del hongo en las lesiones expuestas.

Estrategias de control

Existen una serie de acciones que los productores deben realizar para evitar una alta incidencia de esta enfermedad, dichas prácticas son, rotación de cultivos control de enfermedades foliares, mantener buen drenaje de riego, solarización de suelos, inundación, el uso de material de siembra libre de patógenos, reducción o

eliminación del inoculo de *Fusarium* en el suelo, utilizar híbridos resistentes entre otras prácticas (Jiménez-Díaz, 2009; Jiménez-Díaz y Jiménez-Gasco, 2011).

Koike y colaboradores en el 2019 afirman que el uso de hongos microparasitarios como *Trichoderma harzianum* puede usarse como agente de biocontrol contra *Fusarium* ya que puede tener un efecto antagónico contra este, por otro lado, el uso del biofungicida comercial *Streptomyces griseoviridis* se puede usar en campo y en invernadero. Entre los fungicidas utilizados para su control está el Tiofanato-metil el Proclonazolo, la fumigación de suelo con bromuro de metil, Bromuro de metil y Cloropicrina, al elegir un fungicida se debe tener en cuenta las propiedades del ingrediente activo y su impacto en el medio ambiente.

***Aspergillus* sp.**

García y Heredia en el 2006 señalaron que este género es uno de los más abundantes en la naturaleza, su crecimiento y la contaminación en los productos alimenticios con aflatoxinas, son consecuencia de la interacción entre el hongo, el hospedero y el ambiente, la interacción de dichos factores determina la infestación y la colonización del sustrato, así como el tipo y la cantidad de las aflatoxinas producidas.

La peculiaridad de las aflatoxinas es de que contaminan los granos después de la cosecha o bien el cultivo en el campo o almacén, provocando una pérdida de valor nutricional (Abarca, 2000), alude que en América del Norte y Europa ha habido abortos bovinos por causa de hongos como el *Aspergillus*. Segal en el 2009 señala, que especies de este género producen enfermedades de diferente patogenia en humanos, como son la Aspergilosis broncopulmonar alérgica, las formas pulmonares crónicas no invasivas, las formas invasivas de la vía aérea, las formas cutáneas y las formas extras pulmonares.

Características morfológicas

El Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT) en el 2012 hace mención que este hongo pertenece al filo Ascomycota de ahí sus características de filamentoso hialino y saprofita, sus hifas hialinas septadas, pueden tener reproducción sexual donde se forma ascosporas en el interior de las ascas o asexual con formación de conidios, se diferencian en tamaño, tasa de crecimiento, textura (aterciopelada, granular, algodonosa), color de la colonia, verde-amarillento (*A. flavus*), blanco amarillento que camia a negro (*A. niger*), marrón (*A. terreus*), además desempeñan un papel muy importante en la degradación de la materia orgánica.

Walsh y colaboradores en el 2008 sostuvieron que *Aspergillus* comprende cerca de 180 especies, solo algunas de ellas se han descrito como patógenas: *A. fumigatus*, quien produce cerca del 90 % de infecciones, *A. Niger*, *A. terreus*, *A. flavus* y *A. parasiticus* estos dos últimos producen las llamadas aflatoxinas que resultan tóxicas para mamíferos y aves. Klich en el 2002, afirmó que *Aspergillus* requiere una humedad relativa entre el 70 y 90 %, contenido de agua e la semilla entre 15 y 20% y un rango de temperatura de 0-45°C.

Ciclo de vida

Mark Jeschke en el 2020, sostuvo que *Aspergillus* sp. puede aparecer en muchos tipos de material orgánico, incluido forrajes, cereales, alimentos, piensos y vegetación en descomposición. Giorni y colaboradores en el 2007, describieron el proceso de infección de *Aspergillus flavus* en maíz, al ser un hongo de suelo su principal fuente de inóculo es el suelo, se reproduce mediante conidias asexuales, siendo la temperatura y la humedad los dos principales factores que influyen en la población de este hongo. Los granos de maíz se colonizan por las aflatoxinas de *A. flavus*, cuando la conidia es transportada y depositada por el viento o insectos en los estigmas o pelos de la mazorca tierna y penetra a los ovarios como si fuera

polen, la contaminación continua durante toda la temporada, en la época de sequía la única fuente de agua del hongo es la planta y ataca con más severidad que cuando el cultivo tiene riego (Payne 1998; Carvajal 2010) (Figura 4).

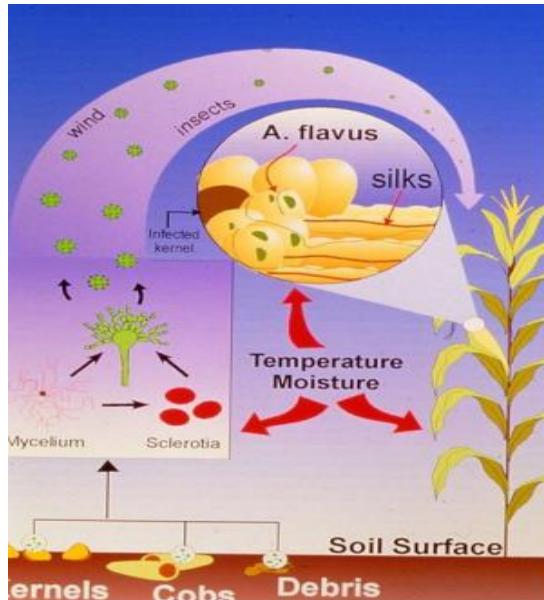


Figura 4. Ciclo de infección de maíz por *A. flavus* en campo (Payne, 1998). Fecha de consulta: marzo de 2023.

Clasificación taxonómica.

De acuerdo con Abarca (2000) la taxonomía de *Aspergillus* sp. es la siguiente:

Reino: Fungí

División: Eumycota

Subdivisión: Deuteromycotina

Clase: Hyphomycetes

Subclase: Eurotium

Orden: Eurotiales

Género: *Aspergillus*

Sintomatología

De acuerdo con Mark (2020), *Aspergillus* constituye un serio problema cuando se almacenan mazorcas infectadas con un alto contenido de humedad, se presenta un crecimiento de moho polvoriento verde grisáceo, verde amarillo o marrón sobre y entre los granos, la infección comúnmente ocurre en la punta de las mazorcas o en cualquier parte donde ha sufrido lesiones físicas o daños por insectos, cabe resaltar que las esporas de hongos son polvorrientas y pueden dispersarse cuando se retira la espata de la mazorca.

Con base al Centro de Mejoramiento de Maíz y Trigo (2004) esta enfermedad es capaz de infectar las plantas de maíz en el campo, la más común es *A. niger* que genera masas pulverulentas negras de esporas que cubren los granos y el raquis.

Estrategias de control

El control de *Aspergillus* en la planta de maíz ha consistido en la utilización de productos químicos para su erradicación, sin embargo, esta estrategia es costosa y ha generado resistencia a insecticidas, en cuanto al control biológico estudios han comprobado la reducción del crecimiento de aflatoxinas, las bacterias del género *Basillus* muestran actividad anti-fúngica contra *Aspergillus flavus* (García *et al.*, 2003).

Penicillium spp.

Desde el punto de vista de Visagie y colaboradores en el 2014, *Penicillium* es género común que se puede encontrar en casi todas las partes, siendo los más abundantes en el suelo, la importancia de este hongo en la alimentación humana y animal, es que producen metabolitos secundarios, no obstante, muchas especies de *Penicillium* son beneficiosas para los seres humanos por ejemplo en la medicina se usa como antibiótico.

Características morfológicas

En base al Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSTHT) en el 2022 *Penicillium* es un hongo saprofito, filamentoso hialino perteneciente al filo Ascomycota, a simple vista las colonias son de crecimiento rápido, al principio de color blanco y con el tiempo adquieren color gris, azul, azul verdoso, verde, tonos rosados, con reverso amarillo cremoso, su textura puede ser plana, filamentosa o algodonosa dependiendo de la especie, también pueden presentar gotas de exudado.

Soriano del Castillo en el 2007 describió a *Penicillium* microscópicamente de la siguiente manera: presenta hifas hialinas septadas, los conidióforos tienen ramas llamadas métulas estas son de forma cilíndrica, con paredes lisas y portan de 3 a 6 fiálides en forma de matraz, en las cuales se originan largas cadenas sin ramificar de esporas o conidios formando el pincel característico del género.

Clasificación taxonómica.

De acuerdo a estudios filogenéticos, la clasificación del género *Penicillium* está dentro de la familia Trichocomaceae ya que anteriormente fue ubicado en los Deutoromicetos (hongos imperfectos) (Berbee *et al.*, 1995; Schoch *et al.*, 2009; Bisby *et al.*, 2012).

Reino: Fungí

Phyllum:Ascomycota

Clase: Eurotiomycetes

Orden: Eurotiales

Familia:Trichocomaceae

Género: *Penicillium*

Ciclo de vida

Agrios en 1996 señala que *Penicillium* sp. penetra en los tejidos de los hospedantes a través de aberturas en la corteza, sin embargo pueden propagarse desde los frutos infectados a los sanos cuando están en contacto, las pudriciones causadas por este hongo al principio tiene aspecto de manchas blancas de tamaño variable y pueden aparecer en cualquier parte del fruto, al principio estas manchas son superficiales, pero se hundan con rapidez y en tan solo pocos días , poco después se desarrolla la pudrición un moho lanco comienza a crecer, posteriormente el hongo prosigue su desarrollo y produce esporas.

Sintomatología

Desde el punto de vista del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) en el 2014, *Penicillium* genera daños irreversibles en el grano, reduce su capacidad germinativa, se presenta un ennegrecimiento total o parcial del grano, calentamiento y mal olor de los granos, cambios bioquímicos degenerativos, pérdida de peso del grano y producción de micotoxinas, las cuales provocan afectaciones a la salud si se consume cuando es destinado para consumo animal o humano, las plantas contaminadas durante la etapa vegetativa muestran un crecimiento retardado, marchitez y clorosis.

Woolford en 1984, enfatiza que *Penicillium* en el ensilaje se hace notar por la aparición de filamentos con diferentes colores, ya que encuentran la superficie perfecta donde el oxígeno es fundamental para su crecimiento, esto ocurre más en ensilajes donde no se consiguieron o mantuvieron condiciones de anaerobiosis.

Estrategia de control

Agrios en el 2002 menciona que la cosecha debe recolectarse y manipularse con cuidado para evitar heridas, golpes y otros daños físicos que puedan servir como punto de entrada al patógeno.

De la garza en 1996 indica que en el control de *Penicillium* se han usado bacterias de los géneros *Bacillus*, y *Pseudomonas*. También se han utilizado levaduras como *Candida oleophila* logrando buenos resultados en almacén.

Extractos Botánicos

Citando a Molina (2001), el empleo de extractos botánicos es una buena alternativa para el manejo integrado de enfermedades ya que poseen propiedades antifúngicas que pueden afectar a diversos patógenos, ya sea de manera individual o por mezclas en determinadas concentraciones y dosificaciones. La inhibición del micelio generada por los extractos vegetales, es gracias a la presencia de algunos metabolitos secundarios como: flavonoides, quinonas, alcaloides, taninos y lactonas, que son un grupo de compuestos de amplio rango de actividad biológica, actividad antiviral, repelente, antimicrobiana y antioxidante.

Silva en el 2002 sostiene que los extractos vegetales han sido utilizados como roedores desde la antigüedad por los hindúes, chinos, griegos y romanos además de contribuir en conservación de víveres almacenados. Estudios recientes informan que podemos encontrar a los extractos en formulaciones distintas: extractos acuosos y hexánicos, polvos, aceites esenciales y metabolitos secundarios antifúngicos, su uso nos muestra que el 32 y 51% de las plantas probadas interactúan con los hongos y la respuesta de los patógenos varía desde la estimulación biológica hasta la inhibición total del patógeno (Montes Belmont *et al.*, 2000).

Extracto de canela

Narváez y colaboradores en el 2006 dan a conocer que *Cinnamomum verum* J. Presl. (canela) está constituido fundamentalmente por 65-75% de cinnamaldehído y de 5-10% de eugenol, además contiene una buena cantidad de antioxidantes fenólicos que ayudan a contrarrestar los efectos dañinos producidos por patógenos. El extracto de canela además de ser un insecticida y repelente de ácaros, impide el crecimiento de hongos y bacterias, su acción fúngica consiste en inhibir la germinación de esporas y crecimiento micelial de hongos fitopatógenos, para esto el grupo carbonilo presente en el cinnamaldehído se une a las proteínas celulares y elude la acción de las enzimas aminoácido-descarboxilasas, mientras que eugenol inhibe la producción de amilasa y proteasas, ocasionando el deterioro y la ruptura de la pared celular, mientras tanto el grupo hidroxilo se une a las proteínas bloqueando la acción enzimática (Gómez-Sánchez y López-Malo 2009).

Extracto de higuera

Los antepasados usaban la higuera *Ricinus communis* como repelente contra insectos porque contiene metabolitos secundarios que en dosis de 1% es recomendable usarlo como protector de grano de maíz sin riesgo a la salud, además contiene componentes químicos como son ricina, lipasa, proteínas, ácido ricinoleico, quimasas entre otros (Cruz y Ortega, 2011). La ricina es una fitotoxina que se encuentra en toda la planta, especialmente en las semillas, ha mostrado efectos positivos sobre especies de animales, insectos y nematodos, su modo de acción consiste en inhibir la síntesis de la proteína que después se unen a los hidratos de carbono por medio de la lectina (Pita *et al.*,2004).

Extracto de mostaza

López y colaboradores en 2003 deducen que la mostaza *Sinapis alba* al formar parte de las brassicáceas tiene en su composición un grupo glucosinolato que hidrolizado puede derivarse en un isitiocianato efectivo al momento de contrarrestar el desarrollo micelial de varios hongos perjudiciales para los cultivos. Esta planta disminuye el desarrollo de enfermedades que causan serios problemas en el sistema radicular y foliar de diversos cultivos (Perinola *et al.*, 2016).

Estudios realizados indican que *Sinapis alba* reduce la población de los nematodos, además es un buen inhibidor de crecimiento (Rosario, 2011).

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del Experimento

El presente trabajo se realizó en el laboratorio de Toxicología del Departamento de Parasitología Agrícola de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), ubicada en Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, con coordenadas geográficas 101°00' Longitud Norte con altitud de 1,742 msnm. Figura 5.



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

Obtención de Fitopatógenos

Las cepas de *Aspergillus* sp., *Fusarium* sp., y *Penicillium* sp., fueron proporcionados en el laboratorio de Toxicología.

Se evaluaron tres extractos de origen vegetal, Higuera (*Ricinus communis*), Canela (*Cinnamomum verum* J. Presl.) y Mostaza (*Sinapis alba*) proporcionados por el laboratorio de Toxicología.

Para la realización del experimento se utilizó un diseño completamente al azar en donde se evaluaron cuatro concentraciones 1.50, 2.00, 2.50 y 3.00% (v/v) para cada

uno de los extractos: canela, higuera y mostaza, asimismo se contó con un testigo absoluto (únicamente PDA), los diferentes tratamientos y el testigo estuvieron conformados por cinco repeticiones.

La evaluación de la función antifúngica de los extractos botánicos se estimaron realizando la técnica de dilución en agar, que consistió en verter agua destilada en matraces de Erlenmeyer adicionando las cantidades de PDA (Papa-Dextrosa-Agar), siguiendo la recomendación del fabricante Bioxon, en seguida se taparon los matraces con papel aluminio y se agitaron suavemente para disolver.

Posteriormente los matraces fueron esterilizados en una olla de presión a 121° C y a una presión de 15 PSI (lb/plg-2) durante 15 minutos, después se prosiguió a enfriarlo hasta alcanzar una temperatura de 45° C, a continuación, se incorporó la cantidad de extracto requerido para obtener las concentraciones contempladas (1.5, 2, 2.5 y 3 %), la presentación de canela, higuera y mostaza fue en forma líquida donde percibí algunas características como el aroma agradable de canela, higuera poco agradable y el olor desagradable de mostaza.

Siguiendo las indicaciones se incorporó en las cajas Petri de 8.5 cm de diámetro, la cantidad de PDA con sus concentraciones correspondientes. Pasando las 24 horas ya que estas se solidificaron en la misma área con la presencia de dos mecheros se prosiguió a colocar un explante de 5 mm de diámetro de cada una de las cepas de *Aspergillus* sp., *Fusarium* sp., y *Penicillium* sp. en el centro de cajas Petri para después incubarlo a una temperatura de 27 ± 2 °C.

Posteriormente para evaluar la inhibición se tomaron dos lecturas radiales cruzadas cada 24 horas, comenzando a partir del segundo día de la siembra con un vernier STEREN®, digital milimétrica, con la metodología usada por Bautista *et al.* (2002), esto se fue realizando hasta que el testigo cubrió completamente con crecimiento micelial el diámetro de la caja, el promedio de las medidas se reportó en (mm). El

porcentaje de inhibición correspondió a los valores finales, el cual se calculó mediante la fórmula de Bautista *et. al* (2002).

$$\% \text{ de inhibición} = \frac{dc - d}{dc} \times 100$$

Bautista y colaboradores en 2002 señalan que “dc” es el diámetro promedio en milímetro del crecimiento micelial del control y “d” es el diámetro del crecimiento micelial con los diferentes extractos.

Al terminar las mediciones, se dio paso a realizar el conteo de esporas en cada una de las unidades experimentales. Con ayuda de un sacabocados de 5 mm de diámetro se tomaron 5 explantes que fueron colocados en un tubo Eppendorf®, después con una pipeta se agregó 10 ml de agua destilada estéril, cada uno de los tubos fueron etiquetados y se agitaron con ayuda de un vórtex con la finalidad de desprender las esporas y homogenizar la suspensión, enseguida se tomaron 100 microlitros (µl) de la suspensión de esporas las cuales se vertieron en una cámara de Neubauer y se procedió a contar las esporas de cada uno de los tratamientos, mediante un microscopio en el ocular 40X, (Agrios G.N, 2005)

Análisis estadístico

Con los datos obtenidos en el porcentaje de inhibición micelial se realizó un análisis de PROBIT en SAS (Statiscal Analysis Software) versión 9.1 y se corrió un análisis de varianza y prueba de Tukey con probabilidad de 0.5 para determinar la concentración letal media (Cl₅₀) y la (Cl₉₅) para cada uno de los fitopatógenos con cada uno de los extractos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Inhibición de Crecimiento Miceliar

En el Cuadro 1, se muestran los porcentajes de inhibición miceliar que obtuvieron los extractos botánicos sobre *Aspergillus* sp. en cada una de las dosis evaluadas. Se observa que el extracto de mostaza domina en todas las concentraciones, con más del 92% de inhibición, los datos se asemejan en los obtenidos por Blanco en 2017, quien evaluó el extracto de *Sinapis alba*, teniendo como resultado 50% de inhibición micelial con respecto al fitopatógeno *Aspergillus niger*, utilizando el método de placas y pozos.

En el caso del extracto de canela se observó que a una concentración de 2.5% y 3% logro su mayor inhibición con 74.99% y 78.24% respectivamente, estos datos se relacionan con lo reportado por Manso y colaboradores en el 2014, quienes señalaron que el aceite esencial de canela a una concentración del 2% inhibió el 45% de crecimiento en *Aspergillus flavus*.

El extracto de higuera presenta menor porcentaje de inhibición con respecto a las demás, a una concentración de 1.5% inhibió el 32% y la concentración que inhibió más fue la de 3% con un promedio del 50%. Estos resultados difieren a los reportados por Díaz y colaboradores en el 2020, quienes obtuvieron un promedio de 10.4% de inhibición sobre *Colletotrichum* sp. a una concentración de 2.5% siendo este el valor mayor alcanzado.

Como complemento sobre el hongo *Aspergillus* sp. se calculó la concentración letal media CL_{50} y la CL_{95} de cada extracto, las cuales se muestran en el Cuadro 2, en donde podemos observar que las CL_{50} fueron de 1.66×10^{-10} , 0.97 y 1.15 para los extractos de mostaza, canela e higuera, estos resultados se asemejan a lo reportado por Enríquez en el 2020, quien señala que a las 48 horas los extractos de mostaza al 10% obtuvieron una media de inhibición del 97.4% mientras que a una

concentración del 5% se obtuvo una media de inhibición de 60% sobre *Aspergillus* sp.

Cuadro 1. Porcentaje de crecimiento micelial que obtuvieron cada uno de los extractos botánicos en la evaluación con las distintas dosis en *Aspergillus* sp.

Dosis (%)	Canela	Higuerilla	Mostaza
1.5	60.444 B	57.914 B	92.230 A
2	62.552 B	60.472 B	92.384 A
2.5	74.984 AB	67.756 B	92.610 A
3	78.246 AB	67.938 B	92.840 A

Cuadro 2. Concentración letal, límites fiduciales y ecuación de predicción de los extractos de canela, higuerilla y mostaza contra *Aspergillus* sp.

Extracto	n	Límites (%)			Ecuación de Predicción
		CI ₅₀	Fiduciales	CL ₉₅	
Canela	5	1.15	0.89 – 1.34	43.98	y= -0.1158 + 1.8456 (x)
Higuerilla	5	0.97	0.42 – 1.29	8.99	y= 0.0118 + 0.9938 (x)
Mostaza	5	1.66x10 ⁻¹⁰	-	-	-

En el bioensayo de *Fusarium* sp., el extracto de mostaza fue el mejor ya que inhibió más del 94% en todas las concentraciones (Cuadro 3), estos resultados se relacionan a los de Manobanda y colaboradores en el 2020 quienes reportaron que el extracto de la flor de mostaza a una dosis de 10% inhibió el 67% del desarrollo micelial de *Fusarium oxysporum*.

El extracto de higuerilla muestra su mayor porcentaje de inhibición a una concentración del 3% con un valor de 87.76%, estos resultados se asemejan con el

reporte de Reyes en el 2014 donde menciona que los extractos de *Ricinus communis* L., *Momordica charantia* L y *Moringa oleifera* poseen una acción antifúngica, sobre los hongos *Fusarium* spp. y *Curvularia* spp., todos los extractos indujeron el 100% de inhibición del desarrollo del micelio a los 7 y 10 días

El extracto de canela también logró inhibir el crecimiento del hongo, aunque no fue tan considerable, su mayor valor de inhibición fue en la concentración del 3% logrando un control de 54.48%, los datos se relacionan con los reportados por García y colaboradores en 2006 quienes indicaron que el crecimiento micelial de *F. culmorum*, *F. oxysporum* y *F. solani* se inhibía completamente a dosis de 250-500 ppm de extracto de canela.

Con los datos obtenidos de *Fusarium* sp. se calcularon la CL₅₀ y la CL₉₅ respectivamente para cada extracto, las cuales se muestra en el Cuadro 4, donde podemos ver que las CL₅₀ fueron de 2.58×10^{-22} 1.73 y 2.37 para los extractos de mostaza, canela e higuera, mediante esto deducimos que el mejor fue el extracto de mostaza porque no hubo crecimiento micelial.

Cuadro 3. Porcentaje de crecimiento micelial de cada uno de los extractos botánicos en la evaluación con las distintas dosis en *Fusarium* sp.

Dosis (%)	Canela	Higuera	Mostaza
1.5	37.270 C	44.436 B	94.556 A
2	45.14 B	51.59 B	94.69 A
2.5	53.94 B	75.70 AB	94.76 A
3	54.486 B	87.768 A	94.792 A

Cuadro 4. Concentración letal, límites fiduciales y ecuación de predicción de los extractos de canela, higuierilla y mostaza contra *Fusarium* sp.

Extracto	n	Límites (%)			Ecuación de Predicción
		CL ₅₀	Fiduciales	CL ₉₅	
Canela	5	2.37	2.18 – 2.62	27.07	y= -0.5847+1.5563 (x)
Higuierilla	5	1.73	1.66 – 1.79	4.17	y= -1.0299+4.3086 (x)
Mostaza	5	2.58×10 ⁻²²	-	-	-

Para el caso de *Penicillium* sp. el extracto de mostaza mostró el mejor efecto de inhibición con más del 95% en cada una de las concentraciones (Cuadro 5), este resultado se asemeja al de Perniola y colaboradores que en 2012 a través de varios ensayos observaron que la biofumigación con 10g de mostaza india tenía efecto supresor inferior al 50% en el crecimiento de *Fusarium graminearum*.

El extracto de canela muestra su mayor efecto antifúngico en la concentración del 3% con un valor de 58.64%, este resultado se relaciona a los obtenidos por Landero y colaboradores en el 2007 en el cual mostraron que el aceite esencial de canela a una concentración de 300 µL L⁻¹ logro inhibir el crecimiento micelial de *Penicillium expansum*.

Para el caso de higuierilla la concentración del 3%, fue la que obtuvo la mayor inhibición de crecimiento micelial con 50.01%, este resultado se asemeja a los obtenidos por Hernández y colaboradores en el 2015 quienes evaluaron la infusión de higuierilla sobre *Rhizoctonia solani* obteniendo un 46% de inhibición a una concentración de 12.5 uL.

Con los datos anteriores sobre *Penicillium* sp. se calcularon la CL₅₀ y la CL₉₅ respectivamente para cada extracto, los cuales se muestran en el Cuadro 6, donde

se observa que el fitopatógeno es más susceptible al extracto de mostaza, ya que no se reportó crecimiento del hongo, en seguida se encuentra el extracto de canela con una CL₅₀ de 2.13% y por último el extracto de higuierilla con una CL₅₀ de 3.59%, estos resultados coinciden con los reportados por Khorram y colaboradores en el 2018. Quienes señalaron que, en pruebas in vitro con una cepa de *Penicillium digitatum* en una concentración de 500 uL de aceite esencial de canela, lograron inhibir el crecimiento micelial del hongo en un 100%.

Cuadro 5. Porcentaje de crecimiento micelial que obtuvieron cada uno de los extractos botánicos en la evaluación con las distintas dosis en *Penicillium* sp.

Dosis (%)	Canela	Higuierilla	Mostaza
1.5	44.418 B	32.916 C	95.146 A
2	46.960 B	36.430 C	95.448 A
2.5	46.960 B	36.430 C	95.448 A
3	58.64 B	50.01 B	96.01 A

Cuadro 6. Concentración letal, límites fiduciales y ecuación de predicción de los extractos de canela, higuierilla y mostaza contra *Penicillium* sp.

Extracto	n	(%)			Ecuación de Predicción
		CL ₅₀	Límites Fiduciales	CL ₉₅	
Canela	5	2.13	1.88 - 2.40	56.96	y= -0.3796+1.1531 (x)
Higuierilla	5	3.59	3.05 – 5.02	67.51	y= -0.7170+1.2911 (x)
Mostaza	5	0.0000164	-	-	-

Inhibición de la Producción de Esporas

La producción de conidias de *Aspergillus* sp. se vio inhibida por el extracto de mostaza (Cuadro 8, Figura 6) en el testigo se obtuvieron 8.95×10^6 esporas por mL^{-1} la diferencia significativa se obtuvo en todas las concentraciones de mostaza ya que no hubo producción de esporas.

En el caso del extracto de canela se obtuvo una CL_{50} de 1.70% (Cuadro 7), la mayor inhibición se pudo notar al aplicar una concentración del 2.5% teniendo una esporulación de $2.2 \times 10^6 \text{ mL}^{-1}$. Los resultados se relacionan con los de Tzortzakis y colaboradores en el 2009, quienes encontraron una producción de 61,808 esporas mL^{-1} además encontraron un aumento en tamaño de tubo germinativo de *Aspergillus niger* cuando estas se colocaron en presencia de 100 ppm de extracto de canela.

Sin embargo, el extracto de higuierilla superó la producción de conidias en la concentración de 1.5%, con respecto al testigo este resultado se relaciona a los reportados por Díaz y colaboradores en el 2020 quienes a una concentración del 3% obtuvieron una media de 4.275 ± 0.880 indicando que el tratamiento mostro mayor producción de conidias.

Cuadro 7. Análisis PROBIT de producción de esporas de *Aspergillus* sp. en los diferentes extractos evaluados.

Extracto	n	(%)			Ecuación de Predicción
		CL_{50}	Limites Fiduciales	CL_{95}	
Canela	5	1.70	1.70 – 1.70	0.52	$y = -3.1997 + 0.7397 (x)$
Higuierilla	5	22.27	22.07 – 22.47	0.40	$y = -0.7170 + 1.2911 (x)$
mostaza	5	-	-	-	-

Cuadro 8. Número de esporas producidas por mililitro de *Aspergillus* sp. con los distintos extractos.

Dosis	Canela	Higuerilla
0	8.95x10 ⁶ A	8.95X10 ⁶ B
1.5	5.45x10 ⁶ B	1.93X10 ⁷ A
2	3.3x10 ⁶ C	80.5X10 ⁵ B
2.5	2.2x10 ⁶ C	6.75X10 ⁶ B
3	2.4x10 ⁶ C	8X10 ⁶ B

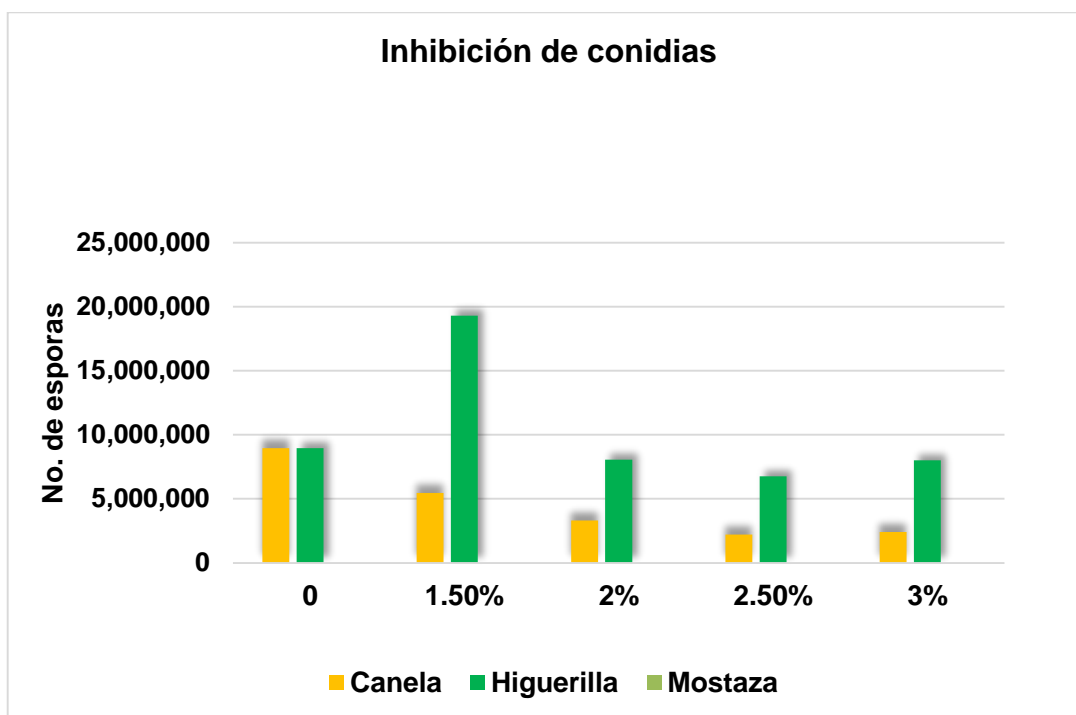


Figura 6. Inhibición de conidias de *Aspergillus* sp. por los extractos de canela e higuerilla.

En el caso de *Fusarium* sp. el extracto de higuera no presentó inhibición (Cuadro 10, Figura 7), debido a que este tratamiento al 1.5 y 3% incrementó la producción de conidias, el mayor efecto se encontró en el extracto de mostaza en todas sus concentraciones, ya que no hubo producción de conidias, estos resultados se asemejan a los obtenidos por Drakopoulos y colaboradores en el 2019 quienes en un estudio sobre el uso del producto botánico de mostaza demostraron que hubo una reducción en la germinación de conidias.

En el extracto de canela el mayor control se observó con la concentración del 3%, con una CL₅₀ de 1.67% (Cuadro 9), estos datos se relacionan con Bravo-Luna y colaboradores en 1998 reportaron una inhibición completa a la esporulación y crecimiento micelial de *Fusarium moniliforme* a una concentración de 300 ppm de canela.

Cuadro 9. Análisis PROBIT de producción de esporas de *Fusarium* sp. en los diferentes extractos evaluados.

Extracto	n	(%)			Ecuación de Predicción
		CL ₅₀	Limites Fiduciales	CL ₉₅	
Canela	5	1.67	1.67 – 1.67	0.31	y= -2.2856 + 0.5137(x)
Higuera	5	4.02	4.02 – 4.02	1.79	y= -4.6953 + 2.8389(x)
Mostaza	5	-	-	-	-

Cuadro 10. Número de esporas producidas por mililitro de *Fusarium* sp. con los distintos extractos.

Dosis	Canela	Higuerilla
0	9.8x10 ⁶ A	9.8X10 ⁶ B
1.5	5.75x10 ⁶ B	22.45X10 ⁶ A
2	3.6x10 ⁶ C	9.3X10 ⁶ B
2.5	3.2x10 ⁶ C	7.95X10 ⁶ B
3	3.15x10 ⁶ C	10.95X10 ⁶ B

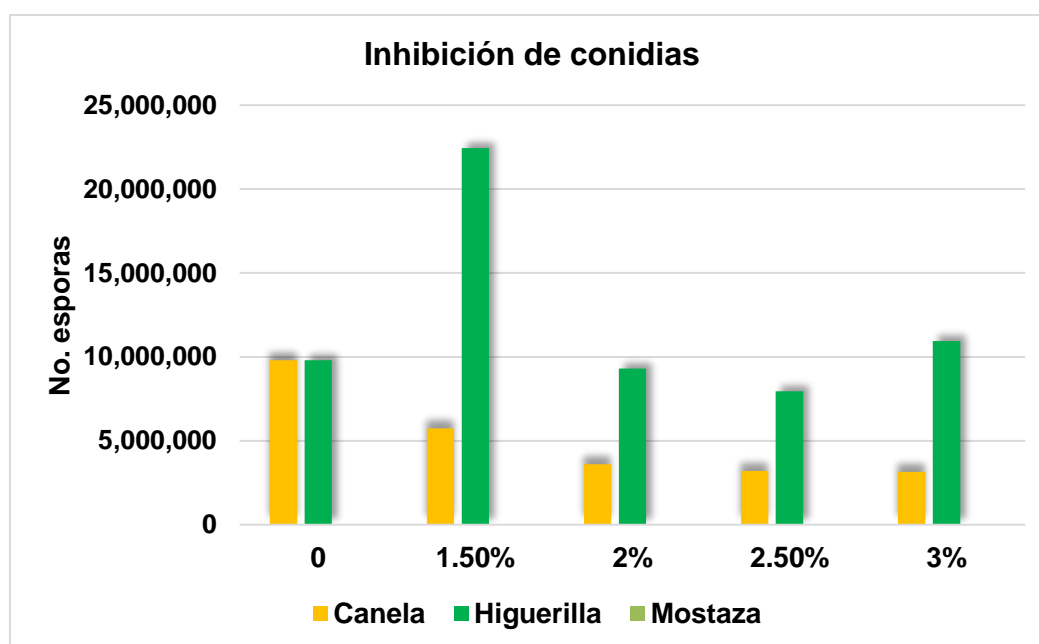


Figura 7. Inhibición de conidias de *Fusarium* sp. por los extractos de canela e higuerilla y mostaza.

Respecto a *Penicillium* sp. el testigo produjo alrededor de $7.4 \times 10^6 \text{mL}^{-1}$, en comparación con los otros tratamientos (Cuadro 12, Figura 8), se observa que el extracto de higuierilla no inhibió la producción de conidias, ya que incremento la concentración de esporas, en el extracto de mostaza debido a la inhibición del crecimiento micelar no se encontraron esporas.

Para el caso del extracto de canela la CL_{50} obtenida fue de 1.75% (Cuadro 11), estos resultados se relacionan a los reportados por García Lujan y colaboradores en 2010, ya que el extracto de canela produjo únicamente 1.20×10^5 UFC/mL en el tratamiento de 500 $\mu\text{L/L}$ del extracto.

Cuadro 11. Análisis PROBIT de producción de esporas de *Penicillium* sp. en los diferentes extractos evaluados.

Extracto	n	(%)			Ecuación de Predicción
		CL_{50}	Limites Fiduciales	CL_{95}	
Canela	5	1.75	1.75 – 1.75	0.77	$y = -4.6752 + 1.1367(x)$
Higuierilla	5	9.93	9.88 – 9.99	0.74	$y = -1.4647 + 1.4608(x)$
mostaza	5	-	-	-	-

Cuadro 12. Número de esporas producidas por mililitro de *Penicillium* sp. con los distintos extractos.

Dosis (%)	Canela	Higuierilla
0	7.4×10^6 A	7.4×10^6 B
1.5	4.8×10^6 B	1.69×10^7 A
2	2.65×10^6 C	7.15×10^6 B
2.5	1.6×10^6 CD	5.55×10^6 B
3	1.2×10^6 CD	7.7×10^6 B

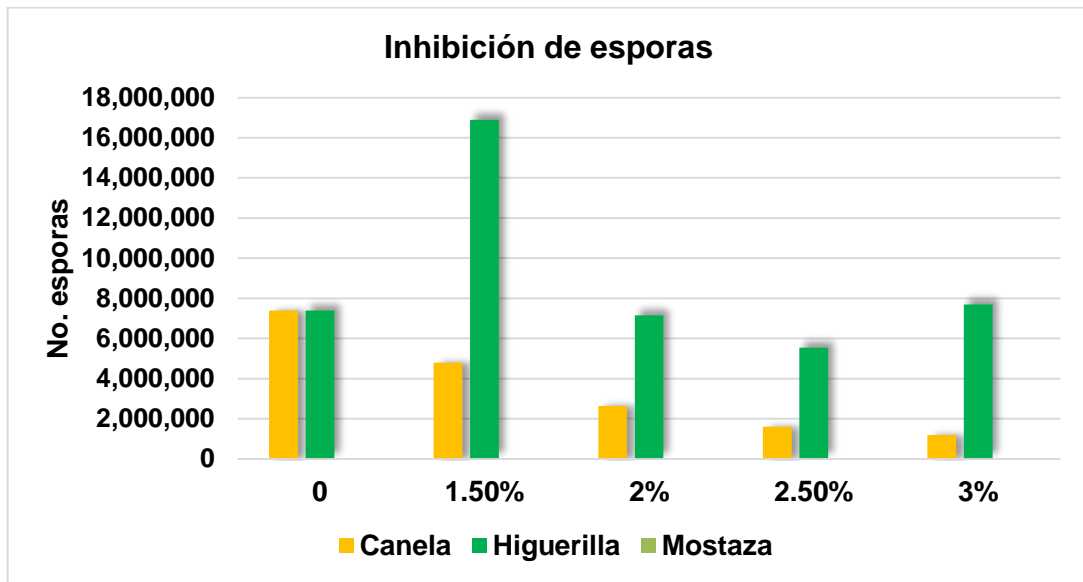


Figura 8. Inhibición de conidias de *Penicillium* sp. por los extractos de canela, higuera y mostaza.

CONCLUSIÓN

En base a todos los resultados observados podemos decir que el extracto vegetal que ejerció mayor control en los tres fitopatógenos (*Aspergillus* sp., *Fusarium* sp. y *Penicillium* sp.) fue el extracto de mostaza, ya que presento los mayores porcentajes de inhibición en el crecimiento micelial y producción de esporas, además obtuvo la menor CI_{50} comparado con el extracto de canela e higuierilla.

REFERENCIA BIBLIOGRAFICA

- Abdel, M. F.; Abo, E. K. A. M.; y Morsy, K. M. 2011. Effectiveness of plant extracts on suppression of damping-off and wilt diseases of lupine (*Lupinus termis* Forsik). *Crop protection*, 30(2), 185-191 pp.
- Agrios, G. N, 2005, fitopatología, 2da edición. México, Limusa, 952 p.
- Antolín, D.M.; González, R.M.; Goñi, C.S.; Domínguez, V. A. y Ariciaga, G.C 2009. Rendimiento y producción de gas *in vitro* de maíces híbridos conservados por ensilaje o henificado. *Técnica Pecuaria en México*. 47(4): 413-423.
- Bautista, B. S.; Hernández, L. M.; Díaz, P. J. C.; Cano, O. C. F. 2002. Evaluation of the fungicidal properties of plant extracts to reduce *Rhizopus stolonifera* of 'ciruela' fruit (*Spondias purpurea* L.) during storage. *Postharvest Biology and Technology*, 20(1), 99-106 pp.
- Bradley, C. 2013. Stormy weather and Goss's wilt go hand in hand. *The Bulletin Pest management and crop development information for Illinois. Integrated Pest Management at the University of Illinois. Department of Crop Sciences. Illinois Natural History Survey*. En línea: <http://bulletin.ipm.illinois.edu/?p=1251> Fecha de consulta: marzo de 2023.
- Bravo-luna, L., Bermúdez-Torres, K. y Montes-Belmont, R. 1998. Inhibición del crecimiento micelial y esporulación de *Fusarium moniliforme* Sheld., mediante aceites esenciales vegetales y algunos de sus componentes químicos. *Revista Mexicana de Fitopatología* 16:18-23.
- Beneduzi, A, Amborsini, and Passaglia, L.M.P. 2012. Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR): Their potential as antagonists and biocontrol agents. *Genet Mol Biol*. 35(4): 1044-1051.

- Binder EM, Tan LM, Chin LJ, Handl J, Richard J. 2007. Presencia mundial de micotoxinas en productos básicos, piensos e ingredientes de piensos. *Tecnología Anim Feed Sci.*137: pag, 265–282.
- Boon, E.J.M.C., P.C. Struik, F.M Engels y J.W. 2005. Cone Stem characteristics of two forage maize (*Zea mays* L.) cultivars varying in whole plant digestibility. I. Relevant morphological parameters NJAS Wageningen J. Life Science.,53, pp. 71-85.
- Brown, B.; Hart, J.; Horneck, D.; Moore, A.; 2010. Aspectos para la Producción de Maíz Forrajero e Importancia de su Fertilización NPK. Oregon State University. Oregon. 9 p.
- 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: febrero de 2023.
- CABI. 2016. *Ricinus communis*. In: Invasive Species Compendium. Wallingford, UK: CAB International. <http://www.cabi.org/isc/datasheet/47618> Consultado en febrero 2023
- Cal-IPC (California Invasive Plant Council). 2016. *Ricinus communis*. Disponible en http://www.calipc.org/ip/management/plant_profiles/Ricinus_communis.php Consultado en febrero 2023.
- Carbajal M, Berumen J, and Guardado EM. 2012. The presence of aflatoxin B₁-FAPY adduct and human papilloma virus in cervical smears from cancer patients in Mexico. *Food Additives & Contaminants: Part A: Chemistry, Analysis, Control, Exposure & Risk Assessment* 29:258-268.

- Cavaglieri, L., Orlando, J., Rodríguez, MI, Chulze, S. y Etcheverry, M. 2005. Biocontrol de *Bacillus subtilis* contra *Fusarium verticillioides in vitro* a nivel de raíz de maíz. *Investigación en Microbiología*, 156 (5-6):748-754.
- Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (IMMYT) 2004. Enfermedades de maíz una guía para su identificación en el campo, el Batán, 4ta Edición. 118 P.
- Cruz R., A., y D. Ortega M. 2011. Pruebas de Cromatografía de Líquidos para determinar el uso de Extracto de plantas de la región en la formulación de insecticidas. Tesis de licenciatura. Universidad veracruzana. Facultad de ciencias Químicas. Poza Rica de Hidalgo, Ver. 100p.
- Cueto, W.J.A., D.G. Reta S., J.L. Barrientos R., G. González C., E. Salazar S., 2006. Rendimiento de maíz forrajero en respuesta a fertilización nitrogenada y densidad de población. *Rev. Fitotecnia Mexicana*. 29(2): 97-101.
- Díaz P.F., Cerna C.E., Ochoa F.Y. Velázquez G.J. 2020. Evaluación de Extractos Botánicos para el control de Hongos Fitopatógenos en el cultivo de aguacate (*Persea americana* Mill). Tesis de licenciatura. UAAAN. Saltillo, Coahuila, México. Pág. 34.
- Drakopoulos, D., Luz Torrijos R., Meca G., Weber P., Banziger I., y Vogelgsang S. (2019). Uso de botánicos para suprimir diferentes etapas de ciclo de vida de *Fusarium graminearum*. *Fitopatología*, 109 (12): 2116-2123. <https://apsjournals.apsnet.org/doi/10.1094/PHYTO-06-19-0205-R>
- Elizondo, J. & Boschini C. 2001. Efecto de la densidad de siembra sobre el rendimiento y calidad del forraje de maíz. *Agronomía Mesoamericana*. 12(2).181-187.
- EPPO. 2020. *Fusarium*. En línea: <https://gd.eppo.int/taxon/1FUSAG> Fecha de consulta: 18 de febrero de 2023.

Fabián Martínez Vilora. 2020. Ficha Técnica Maíz Forrajero. Información actualizada disponible en: <https://infopastosyforrajes.com/pasto-de-corte/maiz-forrajero/#google> Fecha de consulta 20 de febrero 2023.

Fauba (Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires). 2020. Vuelco del Maíz (Podredumbres de raíces y base del tallo). En línea https://herbariofitopatologia.agro.uba.ar/?page_id=175 Fecha de consulta: 20 de febrero 2023.

Fauba (Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires). 2020. Vuelco del Maíz (Podredumbres de raíces y base del tallo). En línea: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/633031/Fusarium_spp_maiz_2020.pdf Fecha de consulta: 20 de febrero de 2023

Fernández-Suárez R., Luis A. Morales-Chávez y Amanda Gálvez-Mariscal (2013). Importancia de los maíces nativos de México en la dieta nacional. Una revisión indispensable. Revista Fitotecnia Mexicana 36 (3-A): 275-83.

García Lujan, Concepción; R., Aurora; José Luis Castro 2010. Componentes químicos y su relación con las actividades biológicas de algunos extractos vegetales Química viva, vol. 9, núm. 2, pp. 86-96. Universidad de Buenos Aires Argentina.

García S and Heredia N. 2006. Mycotoxins in Mexico: Epidemiology, management, and control strategies. Mycopathologia 162:255-264.

Hawkings NJ, Bass C, Dixon A, Neve P. 2019. Los orígenes evolutivos de la Resistencia a los pesticidas. Revista egipcia de control biológico de plagas 94: 135-155. <https://doi.org/10.1111/brv.12440>

Hernández-Lauzardo, A. N., Bautista-Baños, S., Velázquez-del Valle, M. G., y Hernández Rodríguez, A. 2007. Uso de microorganismos antagonistas en el control de

enfermedades postcosecha en frutos. Revista mexicana de fitopatología, 25(1), 66-74 pp.

Hernández DS, Reyes LA, Reyes MCA, García OJG y Mayek PN. 2007. Incidencia de hongos potencialmente toxígenos en maíz (*Zea mays* L.) almacenado y cultivado en el norte de Tamaulipas, México. Revista Mexicana de Fitopatología 25:127-133.

INTAGRI 2020. Aspectos para la producción de Maíz Forrajero e importancia de su fertilización NPK.

Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT). Guía técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relacionados con la exposición a agentes biológicos. 2014.

Jiménez-Díaz R, Jimenez-Gasco MM. 2011. Integrated Management of *Fusarium* Wilt Diseases. En línea: <https://www.researchgate.net/publication/249009577> Fecha de consulta: febrero de 2023.

Katan T, Shlevin E, Katan J. 1997. Sporulation of *Fusarium oxysporum* *F. lycopersici* on Stem Surfaces of Tomato Plants and Aerial Dissemination of Inoculum Phytopathology, 87, 712.

Klich MA. 2002. Identificación de especies comunes de *Aspergillus*. Primera edición. Centralbureau voor Schimmelcultures, Utrecht. Los países bajos. 166p.

Khorram F., A. Remezanian, and M.J. Saharkhiz. 2018. *In vitro* activite of some essential oils against *Penicillium digitatum*. Adv. Hort. Sci. 32:487-493.

Kumar R, Kumar AM, Dubey NK and Tripathi YB. 2007. Evaluation of *Chenopodium ambrosioides* oil as a potential source of antifungal, antiaflatoxicogenic y antioxidant activity. International Journal of Food Microbiology 115: 159-164.

- Logrieco A., Rizzo A., Ferracane R. y Ritieni A. 2002 Especies toxigénicas de *Fusarium* y micotoxinas asociadas con la pudrición de la mazorca del maíz en Europa Revista Europea de Patología Vegetal 108(7), pág. 597-609.
- Luongo L. Galli, M. Coraza L., Meekes E., De Haas L., Van Der Plas C. L. and Kohl J. 2005. Potential of fungal antagonists for biocontrol of *Fusarium* sp. in wheat and maize through competition in crop debris. Biocontrol Sci Tech. 15: 229-242 pág.
- López, A. 2001. Biología y control: Control biológico de las moscas blancas. Corpoica. Centro de Investigación Tibaitatá.
- López, J.; Aymerich, B. y González, S. 2003. Efecto de la Biofumigación sobre la Actividad Deshidrogenásica y las Poblaciones del Nematodo Fitoparásito Globodera. su Repercusión en la Mejora del Suelo. edafología, 10(2), 255– 260.
- López, B. O.; Ramírez, G. S. I.; Ramírez, G. M.; Moreno, B. G. y Alvarado, G. A. (Eds.). 2006. Agroecología y agricultura orgánica en el trópico. Primera edición, Editorial UPTC-UNACH, Tunja, Boyacá, Colombia. 427 p.
- MAGRAMA 2012. Anuario de Estadística 2011. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, Madrid (España).
- Manso, S.; Pezo, D. and Gómez, L, R. 2014. Diminution of aflatoxin B1 production caused by an active packaging containing cinnamon essential oil. Food Control. 45:101-108.
- Mark Jeschke. 2020. Podredumbre del tallo de maíz por antracnosis. Vol. 12 consultada e marzo de 2023.
- Mera-Ovando L M, C Mapes-Sánchez, T A Kato, J A Serratos, Roberth Bye. 2009. Origen y Diversificación del Maíz: Una Revisión Analítica. Universidad Nacional Autónoma

de México, Comisión Nacional para el Uso y Conocimiento de la Biodiversidad. Editorial Impresora Apolo, S.A. de C.V. D.F., México. pp:19-32.

Michels, L. (2011). Clasificación y propiedades de la Mostaza (*Sinapis arvensis*). Recuperada de: <http://saludybuenosalimentos.es/alimentos/index.php?s1=Verduras%2FHortalizas&s2=Semillas&s3=Mostaza> Fecha de consulta: febrero 2023.

Miguel Ángel Ruiz 2018. Principales enfermedades del cultivo de maíz. 3ra edición.

Monbaliu S, Van Poucke C, Detavernier C, Dumoulin F, Van De Velde M, Schoeters E, Van Dyck S, Averkieva O, Van Peteghem C, De Saeger S. Ocurrencia de micotoxinas en el alimento analizado por un método LC-MS/MS de múltiples micotoxinas. 2010 enero 13;58(1):66-71.

Montes, B. R., Cruz, C. V. Y Domínguez, P. M. 1990(b). Control de la roya del frijol mediante extractos vegetales, bajo condiciones de campo en Sta. Cruz Xoxocotlan, Oaxaca. XVII Congreso de la Sociedad Mexicana de Fitopatología. Culiacán, Sinaloa, México. Pág. 104.

Montes, B. R., Sandoval, G. G. y Orozco, R. C. 1990(c). Extractos vegetales inhibidores de la germinación de urediosporas de *Uromyces phaseoli* var. *Typica* y su espectro de acción antiesporulante. IIDIR-Oaxaca. Revista Mexicana de Fitopatología 8:1. 1990.

Montes GN, Reyes MCA, Montes RN y Cantú AMA. 2009. Incidencia de hongos potencialmente toxigénicos en granos de maíz (*Zea mays* L.) utilizados como alimento humano y animal. Revista de Alimentos 7:119-125

Moore, C. E.; Meacham, Hensold, K.; Lemonnier, P.; Slattery, R. A.; Benjamin, C.; Bernacchi, C.; Lawson, T. and Cavanagh, A.P 2021. Effect of the production cycle

on the yield potential and nutritional quality of forage corn in the Comarca Lagunera. J. Exp. Bot 72 (8):2822-2844.

Moreno LS y González SL. 2011. Efecto antifúngico de extractos de gobernadora (*Larrea tridentata* L.) sobre la inhibición *in vitro* de *Aspergillus flavus* y *Penicillium* sp. Polibotánica 32:193-205.

Narváez SA, Domínguez W, González G, Bueso F, Ayala F. 2006. Evaluación del efecto antifúngico *in vitro* del aceite esencial de hoja de canela (*Cinnamomum zeylanicum*) puro y microencapsulado [Tesis de Licenciatura]. Zamorano, Escuela Agrícola Panamericana. p. 28.

Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) 2001. Cambio Climático 2001: Mitigación—Contribución del Grupo de Trabajo III al Tercer Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático. Prensa de la Universidad de Cambridge, Cambridge.

Perniola, Omar Salvador; Sebastián Staltari; Silvia Elena Chorzempa; María del Carmen Molina. 2012. Biofumigación con Brassicáceas: actividad supresora sobre *Fusarium graminearum*. Revista de la Facultad de Agronomía. Vol. 111(1): 48-53.

Reta, S.D., J.S. Carrillo., A. Gaytán, M.E. Castro, M. y J.A. Cueto, W. 2002 Producción de maíz forrajero con dos sistemas de riego y tres niveles de evaporación aplicada INIFAP-CIRNOC-CELALA. Matamoros, Coahuila. México. Pág. 24.

Reyes, B. 2014. Acción antifúngica *in vitro* de extractos vegetales para el control de patógenos de semillas de *Swietenia macrophylla* King (caoba hondureña). Revista de Protección Vegetal, 29(2), 155. Consultado 16 marzo del 2023, disponible de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1010-27522014000200017.

- Hernández J.R., Jiménez D.F., Martínez C.V. 2015. Extractos Vegetales para el control del hongo *Rizoctonia solani* Kuhn *in vitro*. Tesis de licenciatura en horticultura. Torreón, Coahuila, México. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.
- Robledo, R. L. (2017). Modelos de producción de maíz forrajero (*Zea mays* L.) en la Comarca Lagunera. Tesis de maestría en Ciencias en Irrigación. Torreón, Coahuila, México. Instituto Tecnológico de Torreón.
- Robles, J. L. E, Ruiz, P. J. A., Morales, O. A., Gutiérrez, M. M. G., and González, R. M. (2017). Producción de forraje, composición química y producción de gas in vitro de maíces híbridos amarillos cultivados en México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 20: 373 – 379.
- Rosario, J. 2011. Resistencia de *Sinapis arvensis* L. a herbicidas inhibidores de la ALS: bases agronómicas bioquímicas y moleculares. Universidad De Córdoba.
- Samson RA, Hoekstra ES, Frisvard JC, Filtenborg O. 2000. Introduction to food-and airborne fungi. 6a. Ed.CBS, Baarn, Holanda.
- Sánchez, O. I. (2014). Maíz I (*Zea mays*). *Reduca (biología)*. *Serie Botánica* 7(2):151-171.
- Sánchez-González L, González-Martínez C, Cháfer M, Chiralt A. 2008. Nuevos recubrimientos antibacterianos para el control postcosecha de la podredumbre azul de los cítricos. Memorias VIII Congreso SEAE. Bullas.
- Sánchez, G.; Vargas, A.; y Jiménez, P. 2015. Evaluación de la actividad antifúngica de extractos etanólicos de dos morfotipos.
- Susanne Döll y Sven Dänicke. 2011. Las toxinas de *Fusarium* deoxinivalenol (DON) y zearalenona (ZON) en la alimentación animal. *Medicina Veterinaria Preventiva*. 102(2): 132-145.

SIAP. Servicio de información agroalimentaria y pesquera. 2014. Anuario estadístico de la producción agrícola. SAGARPA. [http:// www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-cultivo](http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-cultivo).

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural SIAP. 2021. La identificación temprana, primera barrera contra plagas y enfermedades de maíz.

SIAP Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. 2007. Situación Actual y Perspectivas del Maíz en México 1996 - 2012. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). México, D.F. 208 p.

SIAP Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. 2020. Anuario Estadístico de la producción agrícola 2020. (En línea) Disponible en <http://www.siap.gob.mx>. Núñez, H. G. 2000. Resultados de la investigación de forrajes de alta calidad nutritiva en condiciones limitadas de agua de riego. pp. 104-117.: 3ª Reunión de Investigación SIVILLA-DURANGO. Durango, Dgo., México.

Somarribas M. 2007. Efecto de diferentes densidades de maíz y diferentes agotamientos del agua disponible en el suelo sobre la producción de forraje de maíz asociado con mucuna. Tesis de maestría. Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. 90 p.

José Miguel Soriano del Castillo 2007. Micotoxinas en alimentos. Edición España: Díaz de Santos.

Tapia, Cecilia y Amaro, José. 2014. Género Fusarium. Revista chilena de infectología, 31(1), 85-86. En línea: https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S071610182014000100012
Fecha de consulta: febrero de 2023.

- The Potash Development Association. 2008. Aspectos para la Producción de Maíz Forrajero e Importancia de su Fertilización. PDA. 12 p.
- Tzortzakis, N. G. 2007. Maintaining postharvest quality of fresh produce with volatile compounds. *Inn. Food Sci. Emer. Technol.* 8:111-116.
- Turrent-Fernández A, J I Cortés-Flores, A Espinosa-Calderon, H Mejia-Andrade, J A Serratos-Hernández. 2010. ¿Es ventajosa para México la tecnología actual de maíz transgénico? *Rev. Mex. Cien. Agríc.* 1:631-646.
- Valladares C.A. 2010. Taxonomía y Botánica de los cultivos de grano. Universidad Nacional Autónoma de Honduras. Centro Universitario Regional del Litoral Atlántico (CURLA).
- Varón de Agudelo, F. & Sarria V. A. 2007. Enfermedades del maíz y su manejo. Colombia: Produmedios.
- Velásquez, J., Araujo, M.A. 2021. Maíz forrajero INIAP- 180, fuente excepcional para ensilado e importante alternativa alimenticia para ganado lechero *USFQ*, 38, 23.
- Villa-Martínez A, Pérez-Leal R, Morales-Morales HA, Basurto-Sotelo M, Soto-Parra JM, Martínez-Escudero E. 2015. Situación actual en el control de *Fusarium* spp. y evaluación de la actividad antifúngica de extractos vegetales. *Acta Agronómica* 64(2): 194-205.
- Viveros Folleco J. Jairo Castaño Zapata, 2006. Evaluación in vitro de extractos vegetales sobre *Mycosphaerella fijiensis*. *Morelet Revista científica de Agronomía Volumen 14 numero 1.*

USDA 2012. Censo Agropecuario destacado, recuperado de https://www.nass.usda.gov/Publications/Highlights/2014/Farm_Economics/Highlights_Farm_Economics.pdf Fecha de consulta febrero de 2012.

Wu Felicia 2007. Medición de los impactos económicos de las toxinas de *Fusarium* en la alimentación animal, 137, pág. 363-374.

Whiteman, P.C. 1974. The environment and pasture growth. University of Queensland, St. Lucia. pag:1- 18.

Whiteman; L.R. Humphreys and Monteith, N.H. 1974. A course Manual in Tropical Pasture Science. A.V.C. Brisbane, Australia. Pág. 9 – 68.