



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE BABAHOYO
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS



ESCUELA DE AGRICULTURA, SILVICULTURA, PESCA Y
VETERINARIA
CARRERA DE AGROPECUARIA

TRABAJO DE TITULACIÓN

Componente práctico del Examen de carácter Complexivo,
presentado al H. Consejo Directivo de la Facultad, como requisito
previo para obtener el título de:

INGENIERO AGROPECUARIO

TEMA:

“Principales fungicidas químicos para el control del hongo *Fusarium verticillioides*, que afectan en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.)”.

AUTOR:

Jonathan Jayro Morán Barreiro.

TUTOR:

Ing. Agr. Oscar Wellington Mora Castro, MBA.

Babahoyo - Los Ríos – Ecuador

2022

RESUMEN

El presente documento se desarrolló con la finalidad de buscar los principales fungicidas químicos para el control del hongo *Fusarium verticillioides*, que afectan en el cultivo de maíz. Dentro de las conclusiones se determinó que *Fusarium verticillioides* es uno de los principales patógenos dentro del complejo de hongos que atacan al cultivo de maíz, tanto a nivel mundial como nacional, penetrando por la planta, especialmente por raíces, tallos y mazorca, produciendo cierta clase de toxinas que afectan al tejido del vegetal y los granos, disminuyendo los rendimientos y la calidad de la producción; los productos químicos, principalmente los fungicidas, permiten el control de *F. verticillioides*, lo que utilizándolo en mezclas y en dosis adecuadas permiten disminuir los costos de producción y a su vez no causan deterioro ambiental por su uso indiscriminado; los principales fungicidas químicos para *F. verticillioides* en el cultivo de maíz son *Captan*, *Quintozeno*, *Fludioxonil + Metalaxil-M*, *Difenoconazole*, *Carboxin + Thiram*, considerados como los productos más utilizados para el control de este patógeno y el mejor producto químicos que controla *F. verticillioides* en el cultivo de maíz es la mezcla de *Fludioxonil + Metalaxil-M*, que en nuestro medio país se comercializa como un producto comercial que contiene los dos ingredientes activos *Fludioxonil*, que pertenece al grupo químico de los fenilpirroles, molécula activa contra un amplio espectro de hongos superiores, Ascomycetos, Basidiomycetos y Deutoromycetos presentes en la semilla y en el suelo y *Metalaxyl-M*, que pertenece al grupo químico de las Fenilaminas, molécula activa contra hongos de la clase Oomycetos.

Palabras claves: Pesticidas, Fungicidas químicos, Hongos, Patógenos.

SUMMARY

This document was developed with the purpose of searching for the main chemical fungicides for the control of the fungus *Fusarium verticillioides*, which affect corn cultivation. Among the conclusions, it was determined that *Fusarium verticillioides* is one of the main pathogens within the complex of fungi that attack corn cultivation, both globally and nationally, penetrating through the plant, especially through roots, stems and cob, producing a certain class of toxins that affect plant tissue and grains, reducing yields and production quality; chemical products, mainly fungicides, allow the control of *F. verticillioides*, which, using it in mixtures and in adequate doses, allows to reduce production costs and, in turn, does not cause environmental deterioration due to its indiscriminate use; The main chemical fungicides for *F. verticillioides* in corn crops are Captan, Quintozeno, Fludioxonil + Metalaxil-M, Difenconazole, Carboxin + Thiram, considered the most used products for the control of this pathogen and the best chemical product that controls *F. verticillioides* in corn cultivation is the mixture of Fludioxonil + Metalaxil-M, which in our country is marketed as a commercial product that contains the two active ingredients Fludioxonil, which belongs to the chemical group of phenylpyrroles, a molecule active against a wide spectrum of higher fungi, Ascomycetes, Basidiomycetes and Deutoromycetes present in the seed and in the soil and Metalaxyl-M, which belongs to the chemical group of Phenylamines, a molecule active against fungi of the Oomycetes class.

Keywords: pesticides, chemical fungicides, fungi, pathogens.

CONTENIDO

1. CONTEXTUALIZACIÓN	1
1.1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.3. JUSTIFICACIÓN	2
1.4. OBJETIVOS	3
1.4.1. Objetivo general	3
1.4.2. Objetivos específicos.....	3
1.5. LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN	3
2. DESARROLLO	5
2.1. MARCO CONCEPTUAL.....	5
2.1.1. Generalidades del cultivo de Maíz	5
2.1.2. Incidencia de enfermedades en el cultivo de maíz.....	6
2.1.3. <i>Fusarium verticillioides</i>	8
2.1.4. Control químico de <i>Fusarium verticillioides</i>	11
2.2. MARCO METODOLÓGICO.....	16
2.3. RESULTADOS	16
2.4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	17
3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	19
3.1. CONCLUSIONES.....	19
3.2. RECOMENDACIONES.....	20
4. REFERENCIAS Y ANEXOS	21
4.1. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	21

1. CONTEXTUALIZACIÓN

1.1. INTRODUCCIÓN

El maíz (*Zea mays* L.) es uno de los principales cereales cultivados a nivel mundial debido a sus cualidades alimenticias para la producción de proteína animal, el consumo humano y uso industrial; por lo que, es representativo en el mercado mundial. En el contexto nacional, el maíz es el cultivo agrícola más importante desde el punto de vista alimentario, industrial, político y social. Se produce en época seca y lluviosa, bajo las más diversas condiciones agroclimáticas (humedad, temporal y riego) y diferentes tecnologías (Robles *et al.* 2018).

En la agricultura mundial los hongos fitopatógenos son causantes de enfermedades en pre y poscosecha en cultivos de hortalizas, cereales y frutas, generando pérdidas económicas cuantiosas (Agrios 2005).

Una amplia gama de estos hongos son causantes del deterioro patológico en una variedad de productos y se estiman pérdidas de 5-25 % en países desarrollados y 20-50% en países en desarrollo. Las enfermedades en las plantas son una limitante para cualquier cultivo. Los hongos de los géneros *Phytophthora* spp., *Fusarium* spp., *Colletotrichum* spp., *Rhizoctonia* spp., *Botrytis* spp., *Sclerotinia* spp., *Lasiodiplodia* spp. y *Penicillium* spp. Constituyen un grupo de patógenos de mucha importancia en ocasionar diferentes enfermedades en cultivos de cereales, hortalizas y frutales debidos a su gran número y a su enorme capacidad de reproducción. Los hospederos de estos hongos pueden ser la semilla, la parte vegetativa, frutos y las malezas adyacentes al cultivo (Alburqueque y Gusqui 2018).

Por lo antes expuesto se realizará el presente documento con la finalidad de buscar los principales fungicidas químicos para el control del hongo *Fusarium verticillioides*, que afectan en el cultivo de maíz.

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La incidencia de enfermedades de la mazorca del maíz está relacionada con la susceptibilidad intrínseca del genotipo, el manejo agronómico y las condiciones ambientales a las que se exponen durante su desarrollo. Las especies de *Fusarium*, causan pudrición de tallo y mazorca, tienen amplia distribución y son endémicas en todas las regiones productoras de maíz del mundo (González *et al.* 2017).

A diferencia de otros hongos que son estrictamente biotrofos, *F. verticillioides* no genera estructuras especializadas que faciliten la entrada al tejido y a las células. Sin embargo, es capaz de producir cantidades importantes de enzimas líticas y toxinas que contribuyen al proceso infeccioso. Entre las micotoxinas que sintetiza la especie se hallan el ácido fusárico, la fusarina C, las naftoquinonas, la moniliformina y las fumonisinas. Estas últimas son las más abundantes. La presencia de esos compuestos en productos agrícolas causa gran preocupación, debido a los efectos que ocasionan cuando animales y humanos los consumen (De la Torre *et al.* 2017).

1.3. JUSTIFICACIÓN

El maíz es uno de los principales cereales en el mundo, tiene gran importancia como alimento básico, principalmente en los países en desarrollo debido a su valor nutritivo; asimismo, es utilizado como grano forrajero. El manejo del cultivo del maíz se da en diferentes formas de acuerdo al contexto social, económico y ambiental en el que se encuentre. Su manejo está representado por un conjunto de actividades o prácticas agronómicas que deben cumplirse sucesivamente desde la siembra, hasta la cosecha y su comercialización (Turiján *et al.* 2017).

Fusarium verticillioides, causante de la pudrición del tallo y de la mazorca, es capaz de colonizar el maíz durante todo el ciclo vegetativo de la planta incluyendo raíz, tallo, mazorca y en granos. En muchos casos, la presencia del hongo, no es perceptible, pues no causa daño visible en la

semilla o en la plántula. Sin embargo, la importancia del control de fusariosis no sólo radica en disminuir las pérdidas en rendimiento que ellas ocasionan, sino también en evitar la producción de fumonisinas sintetizadas por *F. verticillioides*, que tiene implicaciones en la calidad de los granos, en la salud pública y animal gracias a su gran poder toxigénico (Rodríguez y Flores 2018).

El control químico con fungicidas puede contribuir a minimizar o reducir potencialmente la producción de micotoxinas. Sin embargo, los fungicidas son incapaces de controlar eficientemente la producción de algunas potentes micotoxinas producidas por especies de *Fusarium*, siendo conflictivos los resultados obtenidos en distintos ensayos realizados tanto en el laboratorio como a campo (Marina 2016).

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo general

Analizar los principales fungicidas químicos para el control del hongo *Fusarium verticillioides* que afectan en el cultivo de maíz.

1.4.2. Objetivos específicos

- Identificar los principales fungicidas químicos que controlan *Fusarium verticillioides*.
- Determinar el mejor fungicida químico para el control de *Fusarium verticillioides*, en el cultivo de maíz.

1.5. LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

El presente documento estará relacionado con la línea de investigación Desarrollo agropecuario, agroindustrial sostenible y sustentable, con la sublínea para la carrera de Agropecuaria de Seguridad y soberanía alimentaria.

Hay que destacar que es importante el uso de fungicidas químicos para el control de enfermedades, en dosis y épocas de aplicación adecuada, lo que ayudan a controlar a los diferentes patógenos que atacan a los cultivos, con la finalidad de incrementar sus rendimientos.

Los fungicidas químicos indispensables para el cultivo de maíz, debido a que los paquetes tecnológicos están basados en el uso de fertilizantes, insecticidas, herbicidas y fungicidas, transformando los sistemas de producción agrícola tradicionales a sistemas convencionales dependientes de insumos químicos, principalmente fungicidas.

Los fungicidas químicos han mejorado la productividad del maíz, especialmente para el control de *Fusarium verticillioides*, que es el principal hongo patógeno que afecta la producción del maíz a nivel mundial. El patógeno penetra a la planta por distintas partes, infectando raíces, tallos y mazorca, produciendo toxinas en el tejido y los granos del maíz, disminuyendo la calidad de los mismos.

2. DESARROLLO

2.1. MARCO CONCEPTUAL

2.1.1. Generalidades del cultivo de Maíz

El maíz se originó en una parte restringida de México y los tipos más desarrollados emigraron posteriormente hacia otros sitios de América. El maíz surgió aproximadamente entre los años 8000 y 600 AC en Mesoamérica (México y Guatemala), probablemente a lo largo del acantilado occidental de México Central o del Sur (Acosta 2016).

Mazzani *et al.* (2018) señalan que:

El maíz (*Zea mays* L.) constituye el alimento de mayor importancia en muchos países de América, es el cultivo anual más valioso y es el único alimento para muchos pueblos del mundo. Tiene amplio aprovechamiento para el consumo humano y animal, así como en la industria. Se le puede explotar para uno u otro fin, en forma directa y subproductos.

La producción de maíz amarillo duro en Ecuador es la siguiente: En la Costa el 78 % (Los Ríos 35 %, Manabí 22 % y Guayas 21 %); en la Sierra, un 14 %, ubicadas básicamente en la provincia de Loja (8 %); en la Amazonía un 6 % y en las denominadas zonas no asignadas un 2 %. En términos de aporte al PIB se estima que la producción local de maíz representa alrededor del 4% del PIB agrícola, mientras que en términos de absorción de mano de obra utiliza un 8% de la Población Económicamente Activa (PEA) (Navarrete *et al.* 2017).

Para De León (2017) el cultivo de maíz puede padecer de varias enfermedades causadas por diferentes patógenos en zonas tropicales bajas, zonas de alturas intermedias, o en zonas altas. La mayor incidencia de enfermedades se presenta en regiones de mayor humedad

ambiental, con una diferencia de patógenos marcada en el caso de enfermedades causadas por hongos.

2.1.2. Incidencia de enfermedades en el cultivo de maíz.

Las enfermedades foliares en maíz no representaban mayor interés económico, sino hasta el apareamiento de la mancha de asfalto. Adicionalmente, la irregularidad del establecimiento de las lluvias y consecuente retraso en la época de siembra, la introducción de cultivares y el cambio climático, han provocado que las enfermedades foliares tomen importancia económica, especialmente la conocida como mancha de asfalto (Deras 2020).

El control de los agentes causales de las pudriciones de la mazorca se efectúa mediante prácticas agronómicas, cambio de fechas de siembra, control de insectos plaga, el uso de variedades resistentes y tratamiento químico: cualquiera de ellas, para que sea eficaz, debe alterar o interrumpir el ciclo biológico del patógeno (Bentazos *et al.* 2019).

Rivas *et al.* (2018) mencionan que:

La pudrición de la mazorca, se encuentra entre las enfermedades más importantes a nivel mundial, se presenta principalmente en los países de África, América y Asia. La pudrición de la mazorca provoca pérdidas del 30 al 50% de la producción según estimaciones de los productores de la zona.

Las pudriciones de la mazorca causadas por hongos del género *Fusarium* causan severas pérdidas de cosecha, afectan la comercialización del grano (5 % de daño. máximo aceptable) y constituye un problema de salud pública por las micotoxinas que producen los hongos cuando la incidencia de los patógenos y el daño es alta (Bentazos 2018).

Pérez (2018) corrobora que una de las formas más efectivas de tener un

manejo adecuado de las enfermedades transmitidas por semillas, es con el uso de fungicidas aplicados a las semillas durante el beneficio o antes de la siembra. El tratamiento químico a las semillas es uno de los métodos de protección vegetal económicamente más accesible y además compatible con el medio ambiente si se compara con los tratamientos foliares de cobertura total o con el tratamiento en surco con productos granulados.

El tratamiento de semillas consiste en aplicar una cantidad pequeña de ingrediente activo directamente, formando una cubierta para proporcionar protección frente al ataque de insectos y enfermedades transmisibles por semillas, así como frente a aquellas que atacan en etapas tempranas del cultivo y que provocan consecuencias devastadoras en la producción de los cultivos cuando no son controlados (Pérez 2018).

Rivas *et al.* (2018) analiza que:

La pudrición de la mazorca es causada por *Fusarium moniliforme* (sin. *F. verticillioides*). *F. verticillioides* puede considerarse la especie más frecuente y distribuida afectando al maíz en el mundo, la cual también puede ocurrir, junto con otras especies que afectan al maíz, dañando cereales de grano pequeño como trigo, cebada y sorgo.

“Entre las prácticas agronómicas recomendadas para reducir los daños causados por las pudriciones de la mazorca, se encuentra la incorporación del rastrojo al suelo, rotación de cultivos, fertilización balanceada en nitrógeno y potasio, así como una baja densidad de plantas” (Bentazos 2018).

Pérez (2018) informa que una de las formas fácil y accesible de manejar a los agentes causales de la pudrición de la mazorca es con el tratamiento químico de las semillas, esta es una práctica que se está volviendo común entre los productores agrícolas, por los reflejos directos en la salud y calidad fisiológica de las semillas que están destinadas a la

siembra controladas

2.1.3. *Fusarium verticillioides*

Peiretti *et al.* (2017) argumentan que “*Fusarium verticillioides* ataca en todos los estados de crecimiento de la planta de maíz y a diferentes partes de la misma induciendo enfermedades de pre y postcosecha que causan reducción de rendimientos y afectan la calidad de la semilla”.

“Las especies del género *Fusarium* sintetizan metabolitos que se clasifican con base en la actividad biológica, estos metabolitos son pigmentos, micotoxinas, antibióticos, di y triterpenoides, y compuestos con estructura de anillo cuya actividad biológica no ha sido estudiada” (Solano *et al.* 2017).

La misma fuente indica que el ser una planta cultivada, el maíz no escapa del ataque de patógenos que reducen su producción, como es el caso de *Fusarium verticillioides* población A (Sacc.) Nirenberg [Teleomorfo: *Gibberella fujikuroi* (Sawada) sin. *Fusarium moniliforme*. A nivel mundial, esta especie causa pudrición de mazorca y tallo, así como tizón en las plántulas. Además de causar efectos negativos en la producción y calidad de la semilla, el hongo es de gran importancia por la producción de micotoxinas como las fumonisinas B1 y B2 (Solano *et al.* 2017).

Los síntomas varían dependiendo del genotipo, medio ambiente y severidad de la enfermedad. La pudrición de la mazorca, se manifiesta principalmente en granos individuales o grupos de granos infectados que están dispersos al azar en toda la mazorca. Los granos infectados desarrollan un micelio algodonoso de color rosa blancuzco a azul lavanda o lila (Bentazos *et al.* 2019).

De la Torre *et al.* (2017) refiere que *Fusarium verticillioides* es el principal

hongo patógeno que afecta la productividad del maíz en el mundo. Este hongo penetra a la planta por distintas rutas e infecta raíces, tallo y mazorca. El patógeno produce varias toxinas en el tejido y en los granos del maíz, lo que disminuye su calidad.

Las fumonisinas son las toxinas mayoritarias excretadas por el hongo. Un grupo de genes forma el locus *FUM* en el cromosoma 1 de *F. verticillioides* y codifica las enzimas responsables de la síntesis de las fumonisinas. Sin embargo, la cantidad de fumonisina producida es altamente variable entre cepas del hongo. La regulación de la síntesis es muy compleja y depende de factores ambientales y nutricionales, así como de múltiples vías de señalización que ejercen tanto regulación positiva como negativa (De la Torre *et al.* 2017).

Fusarium verticillioides (Sacc.) Niremb. (Syn. *Fusarium moniliforme*) es una especie patógeno primario de la planta de maíz a la cual ocasiona la enfermedad conocida como pudrición del tallo y de la mazorca lo cual conlleva en muchos casos a la contaminación de los granos con fumonisinas, inclusive en aquellos asintomáticos (Mazzani *et al.* 2018).

Algunas cepas de *Fusarium verticillioides* producen las infecciones asintomáticas de la semilla, la cual se transmite a la plántula afectando su emergencia. En las infecciones asintomáticas las hifas colonizan los espacios intercelulares, a diferencia de las infecciones sintomáticas que se encuentran tanto en los espacios Inter como intracelulares. La infección asintomática en plantas dificulta la selección por resistencia, basada en evaluaciones visuales (Peiretti *et al.* 2017).

De la Torre *et al.* (2017) da a conocer que:

Las fumonisinas son consideradas factores de virulencia, ya que su producción se asocia con una mayor capacidad de infección de *F. verticillioides* en plántulas de maíz. Sin embargo, este papel no es claro en la infección y pudrición de la mazorca. En maíz, las fumonisinas tienen tres blancos moleculares que son la esfinganina *N*-acil

transferasa, la ATPasa de protones de membrana plasmática y las β -1,3-glucanasas básicas. Las tres enzimas tienen funciones fisiológicas relevantes y participan en la respuesta de defensa de la planta.

“*F. verticillioides* es considerado un importante patógeno productor de toxinas, las fumonisinas. Las fumonisinas tienen una alta toxicidad para seres humanos y animales, produciendo efectos cancerígenos, teratogénicos y mutagénicos” (Sartori *et al.* 2017).

Los hongos productores de micotoxinas están distribuidos en el medio ambiente y son contaminantes frecuentes de los alimentos, especialmente los de origen vegetal. Entre los hongos toxigénicos de mayor importancia se encuentra el género *Fusarium*. Dentro de este género las especies de mayor interés en el grano de maíz (*Zea mays* L.) son *F. verticillioides* (Sacc.) Nirenberg, *F. proliferatum* (Matsushima) Nirenberg y *F. subglutinans* (Wollenweb. y Reinking) Nelson, Toussoun y Marasas, pertenecientes a la sección *Liseola* (Gallardo *et al.* 2016).

Los patógenos causales de la podredumbre del tallo son en su mayoría hongos necrotróficos (algunos hemibiotróficos) que sobreviven en restos del cultivo y/o en el suelo y colonizan los tejidos en descomposición. Entre los principales patógenos fúngicos involucrados en el deterioro de la base del tallo se encuentran [*Fusarium verticillioides* Sacc. Nirenberg (syn. *Fusarium moniliforme*) (anamorfo); *Giberella moniliformis* (teleomorfo)] (Samoiloff 2018).

Desde el punto de vista de Samoiloff (2018) “*Fusarium verticillioides* no presenta peritecios en la superficie del tejido afectado, produciendo desintegración de la médula y formación de micelio rosa-salmón. Este hongo se ve favorecido por clima más seco y cálido”.

Entre las principales variables ambientales que intervienen en esta interrelación microorganismo-planta, la disponibilidad acuosa y la temperatura poseen una incidencia fundamental. Es por ello que conocer

el nivel de infección de *F. verticillioides* en granos de maíz en madurez fisiológica, bajo las variables ambientales en condiciones de campo, permitiría avanzar en la comprensión de un aspecto de la interacción biológica entre la planta de maíz y el patógeno (Sartori *et al.* 2017).

F. verticillioides es endémico del maíz causando en la planta putrefacción de tallo, raíz y mazorca. Así mismo, se caracteriza por producir diversos tipos de micotoxinas, entre ellas las fumonisinas. La producción de fumonisinas en maíz es afectada por diferentes factores ambientales como la humedad, la temperatura, los períodos de sequía, la cantidad de precipitación durante la precosecha y la cosecha. Las fumonisinas son metabolitos secundarios producidos por varias especies del género *Fusarium* y comprenden un grupo de moléculas estructuralmente relacionadas entre sí (Gallardo *et al.* 2016).

2.1.4. Control químico de *Fusarium verticillioides*

Desde el punto de vista de Moechnig *et al.* (2013):

El tratamiento químico de semillas es uno de los métodos de protección vegetal económicamente más accesible y ampliamente recomendado para combatir la pudrición de la mazorca en sus primeras etapas. Este método consiste en aplicar una cantidad pequeña de ingrediente activo directamente formando una cubierta para proporcionar protección ante la presencia de enfermedades para asegurar el establecimiento de plantas sanas y vigorosas.

La misma fuente corrobora que en general el tratamiento químico de semillas se utiliza por tres razones: para el control de hongos transmitidos por el suelo, para controlar patógenos transmitidos en la superficie de las semillas y para el control de enfermedades que se encuentran en el interior de las semillas (Moechnig *et al.* 2013).

En los últimos años, se ha incrementado el uso de fungicidas en maíz

debido al aumento de enfermedades foliares. Los fungicidas como sustancias de origen natural o sintético que aplicado a las plantas protegen de la entrada y/o posterior desarrollo de hongos patógenos en sus tejidos (Samoiloff 2018).

Castro *et al.* (2020) analizan que durante varios años, el control de las enfermedades ocasionadas por hongos ha dependido, en gran medida del control químico. Sin embargo, el uso de moléculas químicas representa un riesgo para la salud humana y contribuye al aumento de la contaminación del medio ambiente, ha dado lugar a la aparición de cepas resistentes que conducen a enfermedades fúngicas con mayor incidencia.

El control de los agentes causales de las pudriciones de la mazorca se efectúa mediante prácticas agronómicas, cambio de fechas de siembra, control de insectos plaga, el uso de variedades resistentes y tratamiento químico: cualquiera de ellas, para que sea eficaz, debe alterar o interrumpir el ciclo biológico del patógeno (Bentazos *et al.* 2019).

Moechnig *et al.* (2013) agrega que el tratamiento de semillas con fungicidas es un método fácil y económico de protección de plantas jóvenes vulnerables y semillas que han sido dañadas durante la recolección. Los tratamientos de semillas también pueden ayudar a preservar el potencial de rendimiento, evitar pérdidas de granos y semillas al impedir el desarrollo de las enfermedades transmitidas por el suelo.

El tratamiento de semillas de maíz tradicionalmente se ha logrado con algunos fungicidas, siendo captan los productos más utilizados. Recientemente otros productos han sido comercializados, tales como el fludioxonil, metalaxil, tiofanato metílico, pyraclostrobin y tilifluanida, con un espectro más amplio de ingrediente activos. El uso de mezclas de productos con modo de acción complementario para el tratamiento de semillas ha sido una estrategia, que además de ampliar la gama de

patógenos que controlan, impide la generación de resistencia de la población objetivo de microorganismos de estos productos (Matos *et al.* 2013).

Carmona y Scandiani (2017) sostienen que la mayoría de los patógenos de semilla del maíz son los mismos que causan las pudriciones de raíz y tallo y las pudriciones de la espiga del maíz y los que generan micotoxinas en granos y semillas. Por lo tanto, proteger al maíz desde su semilla favorecería la protección, y el manejo de estos dos complejos graves que tiene el cultivo.

Si bien *F. verticillioides* puede infectar a la planta de maíz a través de inóculo en el ambiente (suelo, restos vegetales, aire) y también a través de semillas contaminadas, la relación entre la cantidad de rastrojo dejado en el suelo y la severidad posterior es poco clara e incierta (Carmona y Scandiani 2017)

El control químico de los fungicidas es una de las principales herramientas que permiten controlar las enfermedades de la hoja y asegurar las reservas del tallo. Los productos fungicidas más utilizados son los triazoles y estrobilurinas, de cuyas mezclas se obtiene mayor espectro de control sobre los hongos causantes de las enfermedades foliares (Samoiloff 2018).

El mismo autor argumenta que los fungicidas triazoles actúan impidiendo la síntesis de componentes de la membrana celular de los hongos, controlando las fases de crecimiento micelial y esporulación, en tanto que las estrobilurinas son fungicidas que bloquean el transporte de electrones en la cadena mitocondrial y son efectivas en controlar la germinación de esporas y los procesos de infección en hongos (Samoiloff 2018).

En la actualidad, se puede mencionar dentro de estudios, donde

evaluaron la producción de fumonisinas bajo el efecto de fungicidas y la inhibición in vitro de crecimiento del fitopatógeno *Fusarium verticillioides*, concluyendo que los fungicidas quintozeno y fludioxonil + metalaxil-M aplicados a dosis sub inhibitorias, en ocasiones, aumentan los niveles medios de FB1 en comparación con el control (Falcão *et al.* 2014).

También se ha observado que la síntesis de fumonisinas (en términos de expresión del gen FUM1) y la tasa de crecimiento de *F. proliferatum* y *F. verticillioides* se ven aumentadas cuando se aplican dosis sub inhibitorias de tebuconazol y éstas se combinan con estrés hídrico moderado y temperaturas menores a 35°C (Marín *et al.* 2017).

En experimento que se usó semilla con altos niveles de infección por *F. verticillioides* del híbrido comercial de maíz blanco se obtuvo que muestras de 1 kg de semillas fueron tratadas con cinco agentes químicos: Difenconazole (D), Fludioxonil + Mefenoxam (F), Captan (C) y Carboxin + Thiram (V) (Alezones y González 2018).

Carmona y Scandiani (2017) enfatizan que una muestra conteniendo más del 40 % de infección por *Fusarium* spp., fue tratada con los siguientes fungicidas (dosis cada 100 kg de semillas): Fluodioxonil + metalaxil-M (2,5 ia + 1 ia), Fluodioxonil + metalaxil-M + carbendazim (2,5 g ia + 1 ia + 30 g ia), Carbendazim 30 g ia y Metalaxil-M 35 g ia.

Para el control de la roya y tizón común es recomendable que los semilleros, al hacer lotes formadores de semilla, utilicen mezclas de estrobilurinas más triazoles evitando el uso de las estrobilurinas solas. Las estrobilurinas solas no controlan los hongos del género *Fusarium*. Aplicar estrobilurinas solas favorece la producción de semillas con mayor incidencia y cantidad de especies de *Fusarium* (Carmona y Scandiani 2017).

“La siembra de híbridos de maíz son curadas con fungicida: fludioxonil +

metalaxil, es una de las prácticas agrícolas comúnmente utilizadas para el control del hongo *F. verticillioides*” (Sartori *et al.* 2017).

Para esta campaña ya se cuenta con productos fungicidas para el tratamiento de semillas que entre sus ingredientes activos contienen moléculas del grupo de los bencimidazoles, recomendables en lotes de semillas con elevados porcentajes de Fusarium, o de lo contrario, es posible agregar carbendazim a las semillas ya tratadas comercialmente si es que no lo lleva en su formulación hasta una dosis de 30 g i.a cada 100 kg de semillas (Carmona y Scandiani 2017).

Cabe destacar, que el tratamiento con Fludioxonil + Mefenoxam usado extensivamente en protección de cultivos y semillas alcanzó niveles de incidencia (I%) de 92%, CF de 1,05 y SEV de 98. De estos valores CF y SEV difieren significativamente de los valores obtenidos por el testigo indicando que este fungicida tiene mayor influencia en la inhibición del crecimiento del hongo que en su erradicación. Adicionalmente, el tratamiento T/V, que posee los mejores valores del ensayo, es significativamente superior en los tres estimados, lo que demuestra su alto potencial (Alezones y González 2018).

En los estudios publicados hasta el momento no está clara la relación existente entre las dosis sub inhibitorias de los fungicidas con la producción de fumonisinas. Sin embargo, la importancia de utilizar las dosis adecuadas de fungicidas y evaluarlas junto con factores ambientales como temperatura y estrés hídrico. Manipulando dichos factores se puede lograr una buena inhibición de crecimiento del hongo y se puede reducir la expresión del gen FUM1, responsable de la producción de fumonisina en las especies *F. verticillioides* (Falcão *et al.* 2014).

2.2. MARCO METODOLÓGICO

El presente documento que corresponde al componente práctico de trabajo complejo para la modalidad de titulación, se elaboró mediante la recolección de información de bibliotecas virtuales, textos actualizados, revistas y artículos, ponencias, congresos y todo material bibliográfico de carácter científico que aporte al desarrollo de esta investigación documental.

La información recopilada fue sometida a procesos de análisis, síntesis y resumen donde se trató sobre los principales fungicidas químicos para el control del hongo *Fusarium verticillioides* que afectan en el cultivo de maíz.

2.3. RESULTADOS

Entre los resultados se puede destacar:

El maíz (*Zea mays* L.) constituye el alimento de mayor importancia en muchos países de América, por lo tanto es indispensable utilizar un manejo agronómico adecuado para lograr incrementar los rendimientos por unidad de superficie.

Los productos químicos como herbicidas, insecticidas, fertilizantes y fungicidas son necesarios para incrementar los rendimientos, mejorando la producción del cultivo de maíz.

En los últimos años, se ha incrementado el uso de fungicidas en el cultivo de maíz debido al aumento de enfermedades foliares; cabe destacar que los fungicidas son sustancias de origen natural o sintético (químico) que aplicado a las plantas protegen de la entrada y/o posterior desarrollo de hongos patógenos en sus tejidos.

La pudrición de la mazorca causada por el hongo *Fusarium verticillioides* causan pérdidas severas en la cosecha, afectando la comercialización del grano en un 5 % de daño, constituyendo además un

problema de salud pública, debido a que las micotoxinas que producen los hongos cuando la incidencia del patógeno es alta causa enfermedades en los humanos.

Para el control químico de *Fusarium verticillioides* se utilizan varios fungicidas como *Captan* (1,65 kg/ha), *Quintozeno* (400 g/46 kg de semilla), *Fludioxonil + Metalaxil-M* (2,0 L/ha), *Difenoconazole* (0,25 L/ha), *Carboxin + Thiram* (160 g/ha), considerados como los productos más utilizados en el cultivo de maíz para el control de este patógeno.

2.4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

De acuerdo a los resultados obtenidos se expresa que:

El maíz (*Zea mays* L.) constituye el alimento de mayor importancia, siendo importante utilizar un manejo agronómico adecuado para lograr incrementar los rendimientos, tal como señala González *et al.* 2017, que la incidencia de enfermedades de la mazorca del maíz está relacionada con el manejo agronómico y las condiciones ambientales a las que se exponen durante su desarrollo. Las especies de hongos tienen amplia distribución y son endémicas en todas las regiones productoras de maíz del mundo.

Los productos químicos como los fungicidas son necesarios para incrementar los rendimientos y su uso se debe por el aumento de enfermedades foliares, mejorando la producción del cultivo de maíz, ya que en los últimos años, se ha incrementado la aplicación de estos pesticidas en maíz debido al aumento de enfermedades foliares. Los fungicidas como sustancias de origen natural o sintético que aplicado a las plantas protegen de la entrada y/o posterior desarrollo de hongos patógenos en sus tejidos (Samoiloff 2018).

La pudrición de la mazorca causada por el hongo *Fusarium verticillioides* causan pérdidas severas en la cosecha, concordando con De la Torre *et al.* (2017) que refiere que *F. verticillioides* es el principal hongo patógeno que afecta la productividad del maíz en el mundo. Este hongo

penetra a la planta por distintas rutas e infecta raíces, tallo y mazorca. El patógeno produce varias toxinas en el tejido y en los granos del maíz, lo que disminuye su calidad.

El control químico de *F. verticillioides* se realiza con varios fungicidas como *Captan*, *Quintozeno*, *Fludioxonil + Metalaxil-M*, *Difenoconazole*, *Carboxin + Thiram*, que se usan en la actualidad, inhibiendo la producción de fumonisinas bajo el efecto de fungicidas y la inhibición in vitro de crecimiento del fitopatógeno (Falcão *et al.* 2014).

3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

3.1. CONCLUSIONES

Entre las conclusiones se determinan:

Fusarium verticillioides es uno de los principales patógenos dentro del complejo de hongos que atacan al cultivo de maíz, tanto a nivel mundial como nacional, penetrando por la planta, especialmente por raíces, tallos y mazorca, produciendo cierta clase de toxinas que afectan al tejido del vegetal y los granos, disminuyendo los rendimientos y la calidad de la producción.

Los productos químicos, principalmente los fungicidas, permiten el control de *F. verticillioides*, lo que utilizándolo en mezclas y en dosis adecuadas permiten disminuir los costos de producción y a su vez no causan deterioro ambiental por su uso indiscriminado.

Los principales fungicidas químicos para *F. verticillioides* en el cultivo de maíz son *Captan*, *Tiabendazole*, *Quintozeno*, *Fludioxonil + Metalaxil-M*, *Difenoconazole*, *Carboxin + Thiram*, considerados como los productos más utilizados para el control de este patógeno.

El mejor producto químicos que controla *F. verticillioides* en el cultivo de maíz es la mezcla de *Fludioxonil + Metalaxil-M*, que en nuestro país se comercializa como un producto comercial que contiene los dos ingredientes activos *Fludioxonil* (en dosis de 2,0 L/ha, para tanque de 200 L de agua), que pertenece al grupo químico de los fenilpirroles, molécula activa contra un amplio espectro de hongos superiores, Ascomycetos, Basidiomycetos y Deutoromycetos presentes en la semilla y en el suelo y *Metalaxy-M*, que pertenece al grupo químico de las Fenilaminas, molécula activa contra hongos de la clase Oomycetos.

3.2. RECOMENDACIONES

Entre las recomendaciones se destacan:

Sembrar híbridos de maíz resistentes a *F. verticillioides* para que no inhiban la producción del cultivo.

Utilizar fungicidas químicos para el control de *F. verticillioides*, en mezclas y en dosis adecuadas para disminuir los costos de producción y no causar contaminación ambiental.

Aplicar para el control de *F. verticillioides* en el cultivo de maíz, la mezcla de *Fludioxonil + Metalaxil-M*, como producto comercial en dosis de 2 ml/kg de semilla.

4. REFERENCIAS Y ANEXOS

4.1. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Acosta, R. 2016. El cultivo del maíz, su origen y clasificación. El maíz en Cuba. *Cultivos tropicales*, 30(2), 10-03.
- Agrios, G .N. 2005. Fitopatología, 2da edición. México, Limusa, 952 p.
- Alburquerque Andrade, D., Gusqui Mata, R. 2018. Eficacia de fungicidas químicos para el control in vitro de diferentes fitopatógenos en condiciones controladas. *Arnaldoa*, 25(2), 489-498.
- Alezones, J.; González, A. 2018. Efecto de diferentes fungicidas sobre la incidencia de fusarium verticillioides en semillas de un híbrido de maíz de grano blanco. Fundación para la Investigación Agrícola DANAC. Carretera Panamericana, Encrucijada Marín – San Javier, Vía Guarataro, San Felipe 3201, Venezuela. *Fitopatología. Venezuela*. 22: 31-32.
- Bentazos-Mendoza E Ramírez-Fonseca A. L., Coutiio-Estrada B., Espinoza-Paz N., Sierra-Macías M., Zambada-Martínez A., and Grajales-Solis M. 2019. Híbridos de maíz resistentes a la pudrición de mazorca en Chiapas y Veracruz. *Agricultura Técnica En México* 4 (35): 391-400.
- Bentazos-Mendoza. E. 2018. Variedades de maíz resistentes. una opción para reducir la pudrición de la mazorca en Chiapas. México. *Agricultura Técnica En México* 27 (1): 57-67.
- Carmona, M., Scandiani, M. 2017. Importancia y control de Fusarium verticillioides en semillas de maíz. *AAPRESID*, 1, 73-76.
- Castro del Ángel, E, Sánchez Arizpe, A., Galindo Cepeda, M. E., & Vázquez Badillo, M. E. 2020. Control biológico de la pudrición de mazorca en genotipos de maíz con especies de Trichoderma. *Revista bio ciencias*, 7, e965. Epub 28 de abril de 2021. <https://doi.org/10.15741/revbio.07.e965>
- De la Torre-Hernández, M. A., Sánchez-Rangel, D., Galeana-Sánchez, E., & Plasencia-de la Parra, J. 2017. Fumonisin-síntesis y función en la interacción Fusarium verticillioides-maíz. *TIP. Revista especializada en ciencias químico-biológicas*, 17(1), 77-91.

- De León, C. (2017). Enfermedades del maíz causadas por hongos. Curso Internacional sobre Diagnóstico y Enfermedades en Maíz. Seminario Taller de Cosecha de Maíces de la Zona Andina, 17.
- Deras Flores, H. (2020). Guía técnica: el cultivo de maíz. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura.
- Falcão, V., Ono, M., de Avila Miguel, T., Vizoni, E., Hirooka, E., y Ono, E. (2014). Fusarium verticillioides: Evaluation of fumonisin production and effect of fungicides on in vitro inhibition of mycelial growth. *Mycopathologia*, 171, 77–84. Doi: 10.1007/s11046-010-9339-9
- Gallardo-Reyes, Ema Doraly; Ibarra-Moreno, Griselda Macrina; Sánchez-Mariñez, Reyna Isabel; Cuamea-Cruz, Guillermo; Molina-Gil, David; Parra-Vergara, Norma Violeta; Rosas-Burgos, Ema Carina; Cortez-Rocha, Mario Onofre. 2016. Micobiota de Maíz (*Zea mays* L.) Recién Cosechado y Producción de Fumonisina B1 por Cepas de *Fusarium verticillioides* (Sacc.) Nirenb *Revista Mexicana de Fitopatología*, vol. 24, núm. 1, pp. 27-34
- González Huerta, A., Vázquez García, L. M., Sahagún Castellanos, J., Rodríguez Pérez, J. E., Pérez López, D. D. J. 2017. Rendimiento del maíz de temporal y su relación con la pudrición de mazorca. *Agricultura técnica en México*, 33(1), 33-42
- Marín, P., de Ory, A., Cruz, A., Magan, N., y González-Jaén, M. 2017. Potential effects of environmental conditions on the efficiency of the antifungal tebuconazole controlling *Fusarium verticillioides* and *Fusarium proliferatum* growth rate and fumonisin biosynthesis. *International Journal of Food Microbiology*, 165 (3), 251-258. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2013.05.022>
- Marina, F. 2016. Estudio de las especies de *Fusarium* (Sección *Liseola*) aisladas de maíz. Control de *Fusarium verticillioides* y fumonisinas mediante extractos de alcaloides de *Lupinus exaltatus*.
- Matos, C. S. M., Barrocas E. N., Machado J. C., and Cardoso-Alves F. 2013. Health and physiological quality of corn seeds treated with fungicides and assessed during storage. *Journal of Seed Science* 35 (1): 10-16.
- Mazzani, C., Luzón, O., Chavarri, M., Fernández, M., & Hernández, N. 2018. *Fusarium verticillioides* y fumonisinas en maíz cosechado en pequeñas

- explotaciones y conucos de algunos estados de Venezuela. *Fitopatología Venezolana*, 21(1), 18-22.
- Moebnig, M., Deneke D. L, Wrage L. J., Alms J., Vos D., Rosenberg M., Szczepaniec A., Hadi B., and Ruden K. 2013. Corn crop protection guide: seed treatments. South Dakota State University: iGrow. Morales-Martínez. E. 1993. Tratamiento químico de las semillas para el combate de los hongos. México. D.F.: UNAM. 68 p.
- Navarrete, E., Peña, G., Menéndez, M., Laino, A., Rodríguez, G. M., Vaca, C. M., Burgos, J. (2017). Financiamiento del cultivo de maíz en el cantón Mocache-Ecuador. *UEA| Revista Amazónica Ciencia y Tecnología*, 4(3), 270-300.
- Peiretti-Uzal, D. A., Nazar-Lovera, M. C., Biasutti-Valenzano, C. A., Giordal-Lerda, L. M. (2017). Susceptibilidad a *Fusarium verticillioides* (SACC.) Nirenberg en la población de maíz mpb-fca 8561. *Agronomy Mesoamerican*, 171-176.
- Pérez Rodríguez, J. (2018). *Sensibilidad a fungicidas de las especies de Fusarium responsables de la pudrición de la mazorca de maíz* (Master's thesis).
- Rivas-Valencia, P., Virgen-Vargas J., Rojas-Martínez I., Cano-Salgado A. and Ayala-Escobar V. 2018. Evaluación de pudrición de mazorca de híbridos de maíz en valles altos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 2 (6): 845-54.
- Robles, F. S., Macías, R. G., Sánchez, F. I. E., Ortega, J. C. A., & Zavala, J. G. O. 2018. Caracterización de la cadena de valor del maíz. *Ingenio y Conciencia Boletín Científico de la Escuela Superior Ciudad Sahagún*, 5(9).
- Rodríguez, I. C., & Flores, J. 2018. Capacidad antagónica in vitro de *Trichoderma* spp. frente a *Rhizoctonia solani* Kuhn y *Fusarium verticillioides* Nirenberg. *Bioagro*, 30(1), 49-58.
- Samoiloff, A. 2018. Efecto del control químico de enfermedades foliares sobre la podredumbre del tallo de maíz en híbridos comerciales sembrados en fechas tardías.
- Sartori, M., Nesci, A., Etcheverry, M. 2017. Infección de *Fusarium verticillioides* y contenido de fumonisinas en granos de maíz de plantas con

inflorescencias femeninas cubiertas y no cubiertas *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, vol. 47, núm. 1, junio, pp. 251-261

Solano-Báez, A. R., De Alba, D. L. G., Valdovinos-Ponce, G., Silva-Rojas, H. V., & Soto-Rojas, L. 2017. La pigmentación de *Fusarium verticillioides* (Sacc.) como factor de virulencia en plántulas de maíz. *Agronomía Mesoamericana*, 22(2), 297-307.

Turiján Altamirano, T., Damián Huato, M. Á., Ramírez Valverde, B., Juárez Sánchez, J. P., & Estrella Chulín, N. 2017. Manejo tradicional e innovación tecnológica en cultivo de maíz en San José Chiapa, Puebla. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 3(6), 1085-1100.