



UNIVERSIDAD TECNICA 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:

INGENIERA AGROPECUARIA

TEMA:

Estrategias naturales para el manejo del carbón de la espiga (*Ustilago
maydis*) en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) en el Ecuador.

AUTORA:

Melanie Jamileth Sánchez Salvatierra.

TUTOR:

Ing. Agr. Xavier Gutiérrez Mora, MAE.

Babahoyo - Los Ríos - Ecuador

2024

RESUMEN

La enfermedad conocida como carbón de la espiga, ocasionada por el patógeno *Ustilago maydis* (Persoon) Roussel, puede ser identificada de manera sencilla en el cultivo comercial de maíz. El objetivo planteado fue detallar las estrategias naturales para el manejo del carbón de la espiga (*Ustilago maydis*) en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.). En la elaboración de este documento se buscó obtener información actualizada de literatura científica, recursos en línea y repositorios digitales. Estas fuentes proporcionaron perspectivas y conceptos diversos de varios autores, los cuales fueron cruciales para analizar el proceso de la investigación. Este trabajo se llevó a cabo como una investigación bibliográfica no experimental, utilizando métodos de síntesis y resumen de la información obtenida. Las conclusiones determinaron que los síntomas presentan decoloración hasta adquirir un tono marrón. Se puede apreciar un notable desarrollo micelial de color gris a blanco en la totalidad de la espiga. El crecimiento generalmente se origina en la base de la oreja y progresa en dirección ascendente. La infección por hongos puede ocurrir en varias regiones de la planta, particularmente en los tejidos jóvenes en crecimiento activo afectando el grano (mazorca) del cultivo y provocando reducciones en el rendimiento. No se han identificado estrategias naturales de control; no obstante, se recomienda la implementación de prácticas como la aplicación de fertilizantes balanceados, según los resultados de análisis del suelo. Esto se debe a que altas concentraciones de nitrógeno en el suelo, combinadas con niveles bajos de fósforo, aumentan el riesgo de incidencia de la enfermedad conocida como carbón común.

Palabras claves: control, enfermedad, gramíneas, patógenos.

SUMMARY

The disease known as head smut, caused by the pathogen *Ustilago maydis* (Persoon) Roussel, can be easily identified in commercial corn cultivation. The objective was to detail the natural strategies for the management of head smut (*Ustilago maydis*) in the cultivation of corn (*Zea mays* L.). In the preparation of this document we sought to obtain updated information from scientific literature, online resources and digital repositories. These sources provided diverse perspectives and concepts from various authors, which were crucial to analyzing the research process. This work was carried out as a non-experimental bibliographic research, using methods of synthesis and summary of the information obtained. The conclusions determined that the symptoms present discoloration until they acquire a brown tone. A notable gray to white mycelial development can be seen throughout the spike. The growth usually originates at the base of the ear and progresses in an upward direction. Fungal infection can occur in various regions of the plant, particularly in young, actively growing tissues affecting the grain (cob) of the crop and causing reductions in yield. No natural control strategies have been identified; However, the implementation of practices such as the application of balanced fertilizers is recommended, according to the results of soil analysis. This is because high concentrations of nitrogen in the soil, combined with low levels of phosphorus, increase the risk of incidence of the disease known as smut.

Keywords: control, disease, grasses, pathogens.

CONTENIDO

RESUMEN.....	II
SUMMARY	III
CONTENIDO.....	IV
ÍNDICE DE FIGURAS	V
1.CONTEXTUALIZACIÓN.....	1
1.1. INTRODUCCIÓN	1
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.3. JUSTIFICACIÓN.....	4
1.4. OBJETIVOS	4
1.4.1. Objetivo general	4
1.4.2. Objetivos específicos.....	4
1.5. LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN.....	5
2. DESARROLLO.....	6
2.1. MARCO CONCEPTUAL	6
2.1.1. El cultivo de maíz en el Ecuador	6
2.1.2. Plagas y enfermedades.....	6
2.1.3. Generalidades del carbón de la espiga (<i>Ustilago maydis</i>).....	7
2.1.4. Síntomas que causa el carbón de la espiga (<i>Ustilago maydis</i>) en el cultivo del maíz (<i>Zea mays</i> L.).....	8
2.1.5. Principales estrategias naturales para el manejo del carbón de la espiga (<i>Ustilago maydis</i> L.) en el cultivo de maíz (<i>Zea mays</i> L.).....	9
2.2. MARCO METODOLÓGICO.....	12
2.3. RESULTADOS.....	12
2.4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	13
3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	15
3.1. CONCLUSIONES	15
3.2. RECOMENDACIONES.....	15
4.REFERENCIAS Y ANEXOS	17
4.1. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	17
4.2. ANEXOS	22

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. <i>Ustilago maydis</i> en maíz, en la sierra ecuatoriana.....	22
Figura 2. Control cultural eliminando mazorcas enfermas	22

1.CONTEXTUALIZACIÓN

1.1. INTRODUCCIÓN

El maíz (*Zea mays* L.) es el único cereal que puede servir de alimento tanto para humanos como para animales en cualquier etapa del ciclo de crecimiento o producción de la planta. Este cultivo tiene una importancia económica significativa a escala global, atribuida a su utilidad como fuente de alimento para humanos y ganado, así como a su papel como precursor de una amplia gama de productos industriales (Murillo 2022).

El maíz es un cultivo tradicional que ha adquirido importante importancia económica en diversas zonas de las regiones costeras y andinas del Ecuador. La producción de maíz ha aumentado constantemente en los campos agrícolas ecuatorianos, ya que las semillas híbridas de alto rendimiento permiten a los agricultores lograr mayores cosechas dentro de la misma área. A nivel nacional, la producción de maíz se divide en dos categorías: la producción tecnificada llevada a cabo principalmente por grandes productores (agricultura convencional) y la producción manual, que involucra a pequeños productores (agricultura tradicional). Estos últimos han logrado alcanzar un rendimiento promedio de 7,1 y 4,8 toneladas por hectárea respectivamente (Guamán *et al.* 2020).

Globalmente, la producción de maíz se ve afectada por diversas enfermedades causadas por agentes patógenos que perturban el crecimiento de la planta, y cuya incidencia se ve influenciada por factores como el clima, la calidad de la semilla, las prácticas agronómicas y la presencia de insectos vectores (Estrada 2021).

La enfermedad conocida como carbón de la espiga, ocasionada por el patógeno *Ustilago maydis* (Persoon) Roussel, puede ser identificada de manera sencilla, siendo su característica principal la aparición de vesículas, tumores o agallas, principalmente en las espigas y ocasionalmente en las hojas u otros tejidos vegetales. Estas branquias son inicialmente grisáceas o blanco grisáceas cuando están cerradas, muy llamativas y sirven como sustituto de los granos individuales

(Parejas 2020).

Los estigmas no fertilizados persisten y sirven como principal punto de entrada para las teliosporas de carbón de la espiga (*Ustilago maydis*), un patógeno comúnmente conocido como carbón del maíz. Las condiciones ambientales secas, las altas temperaturas y el estrés hídrico son particularmente propicios para la proliferación de tizones, lo que lleva a una alta incidencia de *U. maydis* y la reaparición del carbón de maíz "maydis y el resurgimiento de la enfermedad del carbón del maíz (Ferraguti 2023).

El inóculo de *U. maydis* se localiza en el suelo, y durante las etapas iniciales de la infección, la hifa infectiva penetra a través de la raíz de la plántula e invade los haces vasculares, creciendo sistemáticamente a través del floema. Durante la etapa de crecimiento vegetativo, los síntomas son difíciles de detectar; sin embargo, algunos autores han documentado manchas cloróticas en las hojas y retraso del crecimiento. Durante la fase reproductiva de la planta, los indicadores y manifestaciones se vuelven evidentes en ambas estructuras florales, en las cuales las flores son suplantadas por una acumulación pulverulenta de aspecto carbonoso compuesta por teliosporas, o generando filodios en las partes afectadas, lo que da lugar a una disminución en la productividad (Díaz *et al.* 2021).

Normalmente, las medidas de control se basan en el cultivo de híbridos de maíz que poseen rasgos de resistencia o tolerancia, ya que actualmente faltan líneas de maíz inmunes a la infección por *U. maydis*. Además, es necesario controlar los insectos para disminuir la aparición de lesiones y, en consecuencia, mitigar los daños mecánicos. El riego disminuye la incidencia de enfermedades ya que mejora la condición del agua del suelo (Vásquez y Guambuete 2022).

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El maíz es un cultivo que goza de una significativa demanda a nivel global y nacional. Sin embargo, un desafío clave radica en el acceso insuficiente a información pertinente entre los pequeños productores sobre los atributos inherentes del cultivo. Esto implica considerar aspectos como la adecuación a las

características locales, capacidad de rendimiento, resistencia a agentes patógenos, requisitos agroclimáticos y necesidades nutricionales, tomando en cuenta la calidad del suelo como factor determinante en la selección del germoplasma para la implantación en sus terrenos para lograr altos estándares de producción. Las decisiones se basan en la disponibilidad de semillas de proveedores confiables (Fernández 2024).

Las enfermedades representan una de las principales causas de pérdidas en la producción de cultivos de cereales. Las enfermedades que afectan esta plantación impactan negativamente tanto en la cantidad como en la calidad de los granos, generando una disparidad entre el rendimiento teórico y el observado. La mayoría de las enfermedades foliares en los cultivos de maíz son causadas por organismos fúngicos, los cuales están influenciados por las condiciones ambientales. Algunas de estas enfermedades prosperan en días cálidos y noches frescas con abundante rocío, con una alta capacidad de reproducción y propagación (Parejas 2020).

El cultivo de maíz se ve afectado por una variedad de factores bióticos y abióticos, los cuales inciden negativamente en la producción, disminuyendo tanto la cantidad como la calidad de la cosecha obtenida. La coevolución del maíz y agentes bióticos capaces de causar enfermedades ha dado como resultado que los ambientes propicios para el crecimiento del maíz sean también favorables para los patógenos que lo afectan. Las enfermedades fúngicas son identificadas como el factor biótico preponderante que incide en el ecosistema (Vigueras 2021).

El hongo común *Ustilago maydis* puede afectar el tallo, pero más comúnmente afecta las inflorescencias. El tallo desarrolla una agalla gris suave que contiene una alta concentración de esporas de patógenos de color marrón oscuro. Cuando la mazorca se ve afectada, la producción de grano generalmente se ve comprometida ya que es reemplazada por el patógeno. Cuando la inflorescencia masculina se ve afectada, no hay polen presente.

1.3. JUSTIFICACIÓN

En Ecuador se registró una extensión cosechada de maíz de 365,334 hectáreas, con un rendimiento promedio de 4.58 toneladas por hectárea y una producción total de 1,479,700 toneladas. Estas cifras resaltan la importancia del cultivo de maíz en el país, cuya producción está destinada principalmente a servir como fuente de alimento tanto para humanos como para animales. En el Ecuador juegan un papel importante las investigaciones relacionadas con el mejoramiento genético, la nutrición vegetal, la fitopatología y la entomología (Cepeda *et al.* 2022).

Dado que el inóculo reside en el suelo, las estrategias de gestión se centran en prevenir la infección durante el crecimiento inicial de la plántula. Para lograr esto, se emplean estrategias preventivas naturales, como prácticas de manejo cultural que incluyen la rotación de cultivos durante un período de 2 a 5 años, aprovechando la resistencia del huésped, que se presenta como la estrategia más beneficiosa al evitar daños y disminuir los costos de producción.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo general

Describir la importancia del uso de estrategias naturales para el manejo del carbón de la espiga (*Ustilago maydis*) en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.).

1.4.2. Objetivos específicos

- Detallar los síntomas que causa el carbón de la espiga (*Ustilago maydis*) del cultivo del maíz (*Zea mays* L.)
- Identificar las principales estrategias naturales para el manejo del carbón de la espiga (*Ustilago maydis* L.) en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.)

1.5. LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

La presente investigación está enfocada dentro de los dominios de la Universidad Técnica de Babahoyo de Recursos agropecuarios, ambiente, biodiversidad y biotecnología. El enfoque principal de este estudio se centra en el: “Estrategias naturales para el manejo del carbón de la espiga (*Ustilago maydis* L.) en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.)”. En este contexto, la línea se aborda en el Desarrollo agropecuario, agroindustrial sostenible y sustentable y en la Sublíneas de Agricultura sostenible y sustentable.

2. DESARROLLO

2.1. MARCO CONCEPTUAL

2.1.1. El cultivo de maíz en el Ecuador

La producción de esta gramínea en Ecuador presenta una clara vinculación con las labores agrícolas llevadas a cabo en todas las regiones del país. Su presencia se remonta a alrededor de seis mil años, una hipótesis respaldada por su significativa influencia en la cultura Valdivia, que habitaba diversas zonas de la costa ecuatoriana y utilizaba tanto los granos de la gramínea para la alimentación como sus hojas en la construcción de techos para sus viviendas (García 2019).

Significa un aspecto relevante que la superficie de cultivo anual registró variaciones negativas, aunque en el año 2017 se observaron rendimientos significativamente favorables, aproximadamente alcanzando 1.2 millones de toneladas en unas 200,000 hectáreas dedicadas al cultivo de maíz. Estos resultados se evidenciaron especialmente en provincias como Loja, Los Ríos y Santa Elena, según la información suministrada por la entidad estadística conocida como la Corporación “Tierra Fértil” (Castillo 2018).

2.1.2. Plagas y enfermedades

El cultivo de maíz está sujeto a innumerables plagas y enfermedades, que pueden plantear desafíos desde el momento de la siembra hasta la cosecha. Sin embargo, los cultivares contemporáneos se han desarrollado mediante técnicas de mejoramiento vegetal que confieren diversos grados de resistencia a patógenos e insectos, mejorando así la resiliencia de los cultivos. Hay diversos factores que contribuyen al aumento de la susceptibilidad de los cultivos a plagas y enfermedades, como por ejemplo las condiciones climáticas, las prácticas de manejo agronómico, las estrategias de control fitosanitario y la rotación de cultivos (Loza 2017).

2.1.3. Generalidades del carbón de la espiga (*Ustilago maydis*).

Carbón de la espiga (*Ustilago maydis*). pertenece al grupo de los Ustilaginales, siendo un hongo basidiomiceto. Los Ustilaginales representan un grupo importante de hongos fitopatógenos que abarca más de 50 géneros y 1200 especies, que se dirigen a más de 4000 especies de plantas monocotiledóneas pertenecientes a 75 familias en todo el mundo (Ruiz 2018).

El carbón se produce en todas las regiones productoras de maíz, pero su gravedad puede ser mayor en los climas húmedos y templados en comparación con las zonas tropicales bajas con climas cálidos y húmedos. El hongo infecta las mazorcas, tallos, hojas y mazorcas de maíz. Las conspicuas agallas blancas cerradas reemplazan a los granos individuales de manera notable. Conforme avanza el tiempo, las agallas eventualmente se rompen, liberando masas negras de esporas que posteriormente infectarán las plantas de maíz en el próximo ciclo de cultivo (Alaniz 2016).

Las esporas de carbón de la espiga (*Ustilago maydis*) sobreviven el invierno en los residuos de la cosecha o en el suelo, manteniendo su viabilidad durante periodos prolongados. Las esporas de carbón están muy extendidas en todas las regiones tradicionales productoras de maíz a niveles que podrían inducir una infección en condiciones favorables (Miller 2016).

Entre las especies fitopatógenas de Ustilaginales, se encuentran *Ustilago hordei* (carbón cubierto) y *U. nuda* (carbón volador) que afecta la cebada, y *U. nigra* (carbón volador negro) que infecta la avena. Entre los patógenos que afectan al trigo, se encuentran *Tilletia indica* (carbón parcial) y *T. caries* y *T. controversa* (compuestos de azufre maloliente y agentes inductores de crecimiento retardado). *T. Scitaminea* es un importante parásito de la caña de azúcar (Ruiz 2018).

Carbón de la espiga es ocasionada por *Ustilago maydis* que es un hongo basidiomiceto que parasita específicamente el maíz (*Zea mays* L.) y su probable ancestro, el teosinte (*Zea mays* ssp. *parviglumis*), que causa la enfermedad conocida como carbón común del maíz. Este hongo pertenece al orden

Ustilaginales, que es un grupo importante de organismos debido a su inclusión de patógenos de importancia agrícola responsables de causar enfermedades conocidas como carbones en aproximadamente 4.000 especies de angiospermas en 75 familias (Estrada *et al.* 2019).

Aunque la incidencia del carbón común del maíz no se sitúa entre las enfermedades fúngicas más perjudiciales para los cultivos, y su repercusión económica no es especialmente destacada. El hongo *Ustilago maydis* representa uno de los modelos de investigación más ampliamente empleados a nivel mundial para examinar los mecanismos de señalización celular, desarrollo morfológico, diferenciación de forma, reproducción sexual, interacciones planta-patógeno, y patogénesis provocada por hongos. El ciclo de vida único, la facilidad de manipulación en el laboratorio y la disponibilidad de diversas herramientas moleculares, celulares y fitopatológicas para su estudio hacen de este organismo el modelo más importante entre los hongos basidiomicetos biotróficos (Villota 2020).

2.1.4. Síntomas que causa el carbón de la espiga (*Ustilago maydis*) en el cultivo del maíz (*Zea mays* L.)

El principal síntoma del carbón de la espiga (*Ustilago maydis*) causado por el hongo, que afecta al cultivo de maíz (*Zea Mays*) son los siguientes, espigas deformadas, granulación negra y desarrollo de tumores. El hongo infecta las plantas a través de heridas o directamente a través de los estomas. La enfermedad puede reducir la calidad y cantidad de la cosecha, y su manejo incluye el uso de semillas resistentes y prácticas de rotación de cultivos para minimizar la incidencia. En el cultivo de maíz (Vries *et al* 2020).

- **Espigas deformadas:** Las espigas afectadas presentan un crecimiento irregular y se llenan con una masa negra y polvorienta, que son las esporas del hongo.
- **Granulación negra:** Las semillas se transforman en masas negras que sustituyen a los granos normales
- **Desarrollo de tumores:** Aparecen tumores en diferentes partes de la

planta, incluidos tallos y hojas.

2.1.5. Principales estrategias naturales para el manejo del carbón de la espiga (*Ustilago maydis* L.) en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.)

No se han evidenciado estrategias naturales para el manejo de *U. maydis*, sin embargo, para su manejo se emplean diversos métodos, siendo el control químico el más utilizado, a pesar de sus efectos perjudiciales para el ecosistema, como resistencia a fungicidas, toxicidad, altos costos, etc (Torres *et al.* 2015).

La incidencia de carbón de la espiga (*Ustilago maydis*) en los cultivos de maíz, particularmente en los destinados al consumo en fresco, ha aumentado constantemente; sin embargo, aún no se encuentran disponibles alternativas eficientes de control químico para este hongo. Al atacar a la planta, comúnmente es posible observar clorosis, acumulación de antocianinas y disminución del crecimiento. El indicador más significativo es el soros, que es una acumulación de teliosporas, considerada crucial como fuente primaria de inóculo (Carreño y Sandoval 2019)

Dado que la infección tiene lugar durante la germinación de la semilla y en las fases preliminares del crecimiento de la plántula de maíz, la estrategia primordial de control radica en la producción de material resistente, enfocándose primordialmente en la aplicación de fungicidas directamente a las semillas, con el propósito de prevenir el contacto entre el patógeno y el huésped durante dichas etapas de desarrollo (Quezada *et al.* 2023).

Implementación de fertilización balanceada, posiblemente apoyándose en la interpretación de análisis de suelo. Elevadas concentraciones de nitrógeno en el suelo, en combinación con niveles reducidos de fósforo, aumentan la susceptibilidad a la infección por carbón común. El clima altamente árido tiende a agravar las condiciones antes mencionadas (Miller 2016).

Estos patógenos tienen la capacidad de inducir epidemias graves y pérdidas económicas significativas en la agricultura, a pesar de la aplicación de tratamientos químicos a semillas y plantas, la presencia de cultivares parcialmente resistentes y

los diversos métodos de cultivo empleados (Ruiz 2018).

En el control cultural se menciona:

La estrategia de control de la enfermedad cultural se centra principalmente en la eliminación de las plantas afectadas por carbón mediante su arranque y quema antes de que los tumores se abran, con el objetivo de prevenir la dispersión de las esporas. Se sugiere la práctica de la rotación de cultivos y la desinfección de semillas, a pesar de que estos métodos no han demostrado ser eficaces en la disminución de la incidencia de los carbones. Sin embargo, son capaces de erradicar esporas presentes en las semillas contaminadas y evitar la introducción de la enfermedad en áreas donde no está presente (Sepúlveda 2018).

Hay pocos genes del maíz involucrados en la respuesta al carbono. Se han desarrollado híbridos con resistencia al carbón como resultado de programas de mejoramiento, sin embargo, la caracterización precisa y la longevidad de esta resistencia siguen siendo desconocidas. En ciertos contextos, la resistencia puede ser atribuible a características poligénicas que abarcan un reducido número de genes, mayoritariamente relacionados con rasgos funcionales, fisiológicos y morfológicos. La mayoría de los genes de resistencia están presentes en los cereales de grano pequeño contra diversas enfermedades fúngicas, pero los genes que confieren resistencia a carbón de la espiga (*Ustilago maydis*) aún no se han identificado en el maíz (Martínez *et al.* 2018).

También es ventajosa la utilización de híbridos resistentes; sin embargo, en el caso del maíz dulce, sólo se ha observado tolerancia a esta enfermedad, con plantas infectadas constantemente presentes aunque en baja proporción (Sepúlveda 2018).

La planta experimenta una mayor vulnerabilidad a la infección de este hongo cuando se ve sometida a situaciones de estrés severo, tales como la sequía, la deficiencia o exceso de nutrientes, o la alta densidad de plantas. Penachos de longitud insuficiente que requieran una exposición prolongada de las sedas para la polinización, pueden favorecer la entrada del hongo al colonizar las sedas (Miller

2016).

El control biológico menciona que:

Los estudios de investigación indican que los altos niveles de nitrógeno y los suelos enriquecidos con materia orgánica parecen aumentar la susceptibilidad de las plantas a las infecciones por hongos. Sin embargo, una alternativa ampliamente empleada para el manejo de fitopatógenos fúngicos implica la aplicación de microorganismos antagonistas, entre los que destaca *Trichoderma harzianum* Rifai. Que ejerce un impacto en el proceso de crecimiento de las plantas, al estimular su desarrollo vegetal. Además, este microorganismo secreta sustancias estimulantes que potencian la proliferación celular, propiciando su desarrollo acelerado (Torres *et al.* 2015).

En experimentos *in vitro*, se observó que las cepas de *T. asperellum*, presentaban un marcado efecto antagonista. que es capaz de reducir el crecimiento radial de las colonias del patógeno del 88,71% al 100%. *Asperellum* fue capaz de inhibir el crecimiento radial de las colonias de patógenos entre un 88,71% y un 100%. En los ensayos de campo, se compararon los tratamientos en términos de su respuesta a *T. asperellum* con *F. verticillioides* y U. Las plantas de maíz exhibieron una notable disminución en el daño promedio por enfermedad de $8,3 \pm 6,7$ y $9,5 \pm 3,0$, junto con un aumento en el rendimiento de grano. El rendimiento se registró en $4,43 \pm 0,33$ y $4,11 \pm 0,15$ t/ha, respectivamente (Cuervo *et al.* 2022).

2.2. MARCO METODOLÓGICO

En la elaboración de este documento se buscó obtener información actualizada de literatura científica, recursos en línea y repositorios digitales. Estas fuentes proporcionaron perspectivas y conceptos diversos de varios autores, los cuales fueron cruciales para analizar el proceso de la investigación. Se especificó la temática relevante sobre las estrategias naturales para el manejo del carbón de la espiga (*Ustilago maydis*) en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.). Este trabajo se llevó a cabo como una investigación bibliográfica no experimental, utilizando métodos de síntesis y resumen de la información obtenida.

2.3. RESULTADOS

El síntoma más destacado consiste en agallas típicas, similares a tumores, que varían desde 1 cm de tamaño. superior a los 30 centímetros. de diámetro. Estas agallas a menudo se desarrollan tanto en espigas femeninas como masculinas, así como en tallos, nudos y hojas, como resultado de infecciones localizadas en los tejidos meristemáticos. Las agallas están compuestas por tejido fúngico, inicialmente de color blanco y posteriormente adquieren un tono gris a medida que maduran. En la etapa final se forma en su interior una masa oscura compuesta por las teliosporas del hongo que se liberan al romperse la agalla.

Las agallas se caracterizan por un incremento desproporcionado en la cantidad y/o tamaño de células debido a procesos de hiperplasia e hipertrofia. Estas prominentes agallas blancas cerradas suplen a los granos individuales de manera notable. Sin embargo, el meristemo apical de las plántulas puede infectarse mientras las plantas aún se encuentran en sus primeras etapas de desarrollo. En este caso, los bulbos se desarrollan debajo de la superficie del suelo. La formación de callos se produce únicamente mediante la infección de tejidos meristemáticos.

La infección por hongos puede ocurrir en varias regiones de la planta, con especial predilección por los tejidos jóvenes en crecimiento activo. El hongo *Ustilago maydis* infecta los granos (mazorcas) del cultivo, provocando reducciones en el rendimiento. Generalmente, esta enfermedad no suele provocar grandes

pérdidas económicas, pero en situaciones de condiciones ambientales favorables, puede manifestarse como una patología destructiva para la producción de maíz dulce, en su mayoría.

La enfermedad induce daños más graves en plantas jóvenes en crecimiento activo, lo que puede provocar retraso del crecimiento o mortalidad. Los daños sufridos por los híbridos susceptibles pueden tener grandes consecuencias. Varios estudios han establecido una relación entre el tamaño de la agalla y el impacto en la producción, indicando que agallas con un diámetro inferior a 5 cm resultarían en una disminución del rendimiento de alrededor del 9%, mientras que aquellas con un diámetro de 5 a 7,6 cm podrían afectar el rendimiento en un 14%. Agallas con un diámetro superior a 7,6 cm podrían causar un deterioro de casi el 40% en la producción.

No se han identificado estrategias naturales efectivas para controlar la enfermedad, por lo tanto, la reducción de su incidencia se centra en la eliminación de las plantas afectadas por carbón. Se debe arrancar y quemar dichas plantas antes de que los tumores se abran, con el fin de prevenir la dispersión de las esporas.

Por otra parte, la alternancia de cultivos y el tratamiento desinfectante de semillas pueden ser llevados a cabo. A pesar de que estas prácticas no resultan eficaces para disminuir la incidencia de las enfermedades causadas por hongos, sí tienen la capacidad de destruir esporas presentes en las semillas contaminadas y evitar la propagación de la enfermedad en áreas donde no está presente. La utilización de híbridos resilientes también es beneficiosa, sin embargo, en el caso del maíz dulce sólo se ha observado una tolerancia a esta enfermedad, con plantas infectadas constantemente presentes, aunque en menor proporción.

2.4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El síntoma más destacado son las típicas agallas, parecidas a tumores, que varían desde 1 cm de tamaño. por encima de los 30 centímetros. de diámetro. Estas agallas comúnmente se desarrollan tanto en espigas femeninas como masculinas,

así como en tallos, nudos y hojas, como resultado de infecciones en los tejidos meristemáticos. Esta observación se alinea con la afirmación de Villota (2020) de que la enfermedad carbón de la espiga es causada por *Ustilago maydis* que es un hongo biotrófico, un basidiomiceto que infecta el maíz (*Zea mays*) y su ancestro, el teosinte (*Zea mays* spp). Inducir la enfermedad conocida como carbón común en plantas de maíz (*Zea mays* ssp. *parviglumis*). Esta afección se caracteriza por la presencia de tumores en los tejidos vegetales infectados, que contienen masas de teliosporas de color oscuro en su interior.

La infección por hongos puede ocurrir en varias regiones de la planta, particularmente en los tejidos jóvenes en desarrollo. El hongo *Ustilago maydis* infecta los granos (mazorcas) del cultivo, lo que provoca reducciones en el rendimiento. Generalmente, esta enfermedad por lo general no resulta en pérdidas importantes, sin embargo, bajo circunstancias ambientales favorables, podría convertirse en una afección devastadora para la producción de maíz dulce. Este hecho se respalda con la investigación realizada por Vásquez y Guambuquete (2022), quienes han demostrado que la presencia de carbón de la espiga puede generar impactos económicos relevantes en regiones productoras de maíz, ya sea en áreas secas y cálidas, así como en zonas de altitud media y climas templados. La infección es sistémica, denotando que el hongo se infiltra en las plántulas y crece dentro de las plantas de forma asintomática hasta alcanzar la etapa de floración y emisión de estigma.

No se han identificado estrategias naturales efectivas para controlar la enfermedad. En cambio, la principal medida para reducir la incidencia de la enfermedad consiste en erradicar las plantas afectadas por el carbón mediante su remoción y quema antes de que los tumores se abran y dispersen las esporas, con el objetivo de prevenir la propagación del patógeno, tal como se ha descrito en el estudio de Quezada y colaboradores. Según (2023), como la infección ocurre durante la germinación de las semillas y las primeras etapas del desarrollo de las plántulas de maíz, la principal estrategia de control se basa en la generación de materiales resistentes, así como en la aplicación directa de fungicidas a las semillas para inhibir la interacción patógeno-hospedador durante estas etapas de desarrollo.

3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

3.1. CONCLUSIONES

La enfermedad carbón de la espiga se atribuye al hongo *Ustilago maydis*. Los síntomas se presentan como una decoloración hasta adquirir un tono marrón. Se puede apreciar un notable desarrollo micelial de color gris a blanco en la totalidad de la espiga. El crecimiento generalmente se origina en la base de la oreja y progresa en dirección ascendente. La infección por hongos puede ocurrir en varias regiones de la planta, particularmente en los tejidos jóvenes en crecimiento activo.

El hongo *U. maydis* tiene la capacidad de afectar a sus hospederos en todas las etapas de crecimiento, provocando manifestaciones como la aparición de clorosis, la formación de tumores en las mazorcas, espigas, hojas y tallos, que a su vez resultan en deformaciones en la morfología de la planta, provocando reducciones en el rendimiento.

No se han identificado estrategias naturales de control; sin embargo, es necesario implementar prácticas culturales como eliminar las plantas afectadas por carbón, arrancando y quemando dichas plantas antes de que los tumores se abran, con el fin de prevenir la dispersión de las esporas.

3.2. RECOMENDACIONES

Se recomienda usar como mejor estrategia de control materiales resistentes a la enfermedad carbón de la espiga (*Ustilago maydis*), con especial énfasis en la aplicación directa de fungicidas a las semillas para inhibir la interacción entre el patógeno y el huésped durante estas etapas de desarrollo, ya que faltan mecanismos de control naturales.

Eliminar las plantas afectadas por carbón mediante su extracción y quema previa a la liberación de los tumores, con el fin de prevenir la diseminación de las esporas.

Sensibilizar a los agricultores respecto a la importancia de controlar la enfermedad.

4.REFERENCIAS Y ANEXOS

4.1. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alaniz, E. 2016. Resistencia de variedades de maíz a *Ustilago maydis*, en dos comunidades del estado de México. Disponible en <http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/65661/TESIS+ERICK+PDF-split-merge.pdf?sequence=3>
- Barrios, M., Basso, C. 2018. Efecto de la fertilización nitrogenada sobre componentes del rendimiento y calidad nutricional del grano de seis híbridos de maíz. *Bioagro*, 30(1), 39–48. [http://www.ucla.edu.ve/Bioagro/Rev30\(1\)/4.ms1707.pdf](http://www.ucla.edu.ve/Bioagro/Rev30(1)/4.ms1707.pdf)
- Becerril, I. 2008. *Evaluación de híbridos simples de material transgénico en comparación a sus isogénicos normales* [Universidad de Zaragoza]. https://digital.csic.es/bitstream/10261/101169/1/Becerrill_TFC-EEAD_2008.pdf
- Betancourt, C. 2019. Evaluación de la tolerancia del cultivo de maíz (*Zea mays*) al ataque del gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*) sometido a diferentes frecuencias de control químico durante la época seca en la zona de Mocache. Universidad Técnica Estatal de Quevedo. <http://190.15.134.12/handle/43000/3265>
- Bielsa, A. 2006. *Evaluación agronómica de ciclos de selección recurrente intrapoblacional en poblaciones sintéticas de maíz* [Escuela Universitaria Politécnica la Alumina de Doña Godina Zaragoza]. https://digital.csic.es/bitstream/10261/116041/1/BielsaA_PFC_2006.pdf
- Carmona, M. 2021. Herbario Virtual. Cátedra de Fitopatología. Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires. <https://herbariofitopatologia.agro.uba.ar>
- Carreño, O., Sandoval, C. 2019. Evaluación in vitro e in vivo del efecto de distintos fungicidas sobre la germinación de teliosporas de *Ustilago maydis*, agente causal del carbón común del maíz (Doctoral dissertation, Universidad de Talca (Chile). Escuela de Agronomía.). Disponible en <http://dspace.utalca.cl/handle/1950/9034>
- Castillo, M. 2018. El cultivo de maíz ha sido constante los últimos años. *Revista*

- Líderes. <https://www.revistalideres.ec/lideres/cultivo-maiz-constante-ecuador-produccion.html>
- Cuervo, A., Pérez, H., Zavala, A., Peralta, M., Aparicio, E., Romero, T. 2022. *Trichoderma asperellum* strains as potential biological control agents against *Fusarium verticillioides* and *Ustilago maydis* in maize. *Biocontrol Science and Technology*, 32(5), 624-647. Disponible en <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09583157.2022.2042196>
- Díaz-Ramírez, Gelasino, León-García de Alba, Carlos De, Nieto-Ángel, Daniel, & Mendoza-Castillo, Ma. del Carmen. 2021. Ganancia en ciclos de selección recurrente para rendimiento y resistencia a carbón de la espiga en maíz. *Revista mexicana de fitopatología*, 39(1), 61-74. Epub 07 de mayo de 2021. <https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.2008-1>
- EcuRed. 2024. *Ustilago maydis*. Disponible en https://www.ecured.cu/Ustilago_Maydis
- Estrada Martínez, M. E. 2021. Principales enfermedades del maíz (*Zea mays*, L.) en Ecuador. *Revista Científica Agro-ecosistemas*, 9(2), 53-59. Disponible en <https://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes/article/view/469/446>
- Estrada, A., López, C., Aboites, R., Ambriz, A., Herrera, J. R. 2019. *Revista Electrónica Nova Scientia*. Nova, 2(4), 104-130. Disponible en <https://www.scielo.org.mx/pdf/ns/v2n4/v2n4a7.pdf>
- Fernández Morocho, L. S. 2024. *Diagnóstico de la existencia y uso de la maquinaria agrícola en el cantón Montalvo, provincia de Los Ríos* (Bachelor's thesis, BABAHOYO: UTB, 2024). Disponible en <http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/16025>
- Ferraguti, F. J. 2023. *Espigas múltiples en maíz. Efecto del híbrido, densidad, fertilización nitrogenada y su relación con la presencia de carbón de la espiga Ustilago maydis*. Estación Experimental Agropecuaria Oliveros, INTA. Disponible en <https://repositorio.inta.gob.ar/handle/20.500.12123/16527>
- García, J. 2019. *Análisis de los principales factores de riesgo en la producción y comercialización del maíz del cantón Baba, periodo 2013-2017* [Universidad de Guayaquil]. [http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/1750/1/Niveles de cadmio y plomo en el exoesqueleto del cangrejo rojo \(Ucides occidentalis\). Feys, Johanna.pdf](http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/1750/1/Niveles%20de%20cadmio%20y%20plomo%20en%20el%20exoesqueleto%20del%20cangrejo%20rojo%20(Ucides%20occidentalis).%20Feys,%20Johanna.pdf)

- Guamán Guamán, Rocío Noemí, Desiderio Vera, Teodoro Xavier, Villavicencio Abril, Ángel Fabián, Ulloa Cortázar, Santiago Miguel, & Romero Salguero, Edison Javier. 2020. Evaluación del desarrollo y rendimiento del cultivo de maíz (*Zea mays* L.) utilizando cuatro híbridos. *Siembra*, 7(2), 47-56. <https://doi.org/10.29166/siembra.v7i2.2196>
- Jirón, E. 2014. Enemigos naturales de *Spodoptera frugiperda* (Smith) en monocultivo y policultivo de maíz en Reyes Mantecón, Oaxaca [Instituto Politécnico Nacional]. http://literatura.ciidiroaxaca.ipn.mx:8080/xmlui/handle/LITER_CIIDIROAX/225
- Loza, A. 2017. Evaluación de híbridos de maíz dulce (*Zea mays* L.) var *Saccharata*, bajo dos distancias de siembra para grano enlatado. Universidad Central del Ecuador. Disponible en <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/13353>
- Marín, L. 2015. *Evaluación agronómica de variedades comerciales de maíz (Zea mays, L.) en relación a sus ciclos de maduración* (p. 93). Escuela Universitaria Politécnica La Almunia de Doña Godina. https://www.forumdelcafe.com/sites/default/files/biblioteca/variedades_com_cafe54.pdf
- Martínez, L., Villanueva, C., Sahagún, J. 2018. Susceptibilidad y resistencia del maíz al hongo comestible huitlacoche (*Ustilago maydis* Cda.) mejorando su virulencia REVISTA CHAPINGO SERIE HORTICULTURA, vol. VI, núm. 2, julio-diciembre, 2000, pp. 241-248 Universidad Autónoma Chapingo .png, México. Disponible en <https://www.redalyc.org/pdf/609/60960209.pdf>
- Miller, S. 2016. Carbón Común en Maíz (*Ustilago maydis*). Disponible en https://www.corteva.es/content/dam/dpagco/corteva/eu/es/es/files/otros-documentos/Carboon-Comun_en_maiz_corteva.pdf
- Murillo Hernández, L. T. 2022. Efecto de la aplicación de una enmienda a base de óxidos y silicatos sobre variables de crecimiento y rendimiento del cultivo de maíz (*Zea mays* L.) en la empresa Agroinsumos Manantial, ubicada en Granada, Meta. Disponible en <http://repositoriodspace.unipamplona.edu.co/jspui/handle/20.500.12744/3062>
- Parejas, L. O. 2020. Caracterización morfo-fenológica de poblaciones nativas de

- maíz y su comportamiento frente al Carbón Común (*Ustilago maydis*). Disponible en <https://repositorio.unnoba.edu.ar/xmlui/bitstream/handle/23601/421/TFG%20-%20Parejas%20Lionel%20Ingenier%c3%ada%20Agron%c3%b3mica.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- Quezada, A., Moreno, M., De León, C., Nava, C., Hernández, A. y Márquez, G. 2023. Sensibilidad del carbón de la espiga del maíz a diferentes fungicidas. *CIENCIA ergo-sum*, 30(2). <http://doi.org/10.30878/ces.v30n2a7>
- Reyes, J. 2018. *Comportamiento del gusano cogollero (Spodoptera frugiperda J. E. Smith) en las diferentes etapas fenológicas del cultivo de maíz (Zea mays L.) bajo las condiciones climáticas del cantón Portoviejo, provincia de Manabí* [Universidad Laida “Eloy Alfaro” de Manabí]. <https://repositorio.ulead.edu.ec/handle/123456789/1451>
- Ruiz, J. 2018. *Ustilago maydis: ascenso de un hongo mexicano de la gastronomía local al mundo científico* Nova Scientia, vol. 1, núm. 1, noviembre-abril, 2008, pp. 118-135 Universidad De La Salle Bajío León, Guanajuato, México. Disponible en <https://www.redalyc.org/pdf/2033/203315665007.pdf>
- SENASA. 2023. *Ustilago maydis*. Disponible en <https://www.sinavimo.gob.ar/plaga/ustilago-maydis>
- Sepúlveda, P. 2018. *Ustilago maydis en maíz*. Disponible en <https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/66754/Ficha%20T%C3%A9cnica%20INIA%20N%C2%B0%2008?sequence=1&isAllowed=y>
- Torres, E., Virelles, M., Reyes, S., Rodríguez, S., Sosa, A. 2015. Efecto de *Trichoderma harzianum* Rifai en el control de *Ustilago maydis* (DC.) Cda en maíz (*Zea mays* L.). *Agrisost*, 20(2), 17-26. Disponible en https://www.researchgate.net/profile/Ernesto-Juniors/publication/345315746_Efecto_de_Trichoderma_harzianum_Rifai_en_el_control_de_Ustilago_maydis_DC_Cda_en_Zea_mays_L/links/5fa35a3d92851cc28695e4c8/Efecto-de-Trichoderma-harzianum-Rifai-en-el-control-de-Ustilago-maydis-DC-Cda-en-Zea-mays-L.pdf
- Vásquez Moreta, F. R., & Guambuguete, G. J. 2022. *Valoración de la eficiencia productiva de maíz (Zea mays L.), en sistemas de rotación de cultivo con trigo y fréjol arbustivo, en la localidad de Lagucoto III, provincia*

- Bolívar* (Bachelor's thesis, Guaranda. Universidad Estatal de Bolívar. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Recursos Naturales y del Ambiente. Carrera de Agronomía). Disponible en <https://dspace.ueb.edu.ec/handle/123456789/4444>
- Vásquez, F., Guambuguete, G. 2022. Valoración de la eficiencia productiva de maíz (*Zea mays L.*), en sistemas de rotación de cultivo con trigo y fréjol arbustivo, en la localidad de Laguacoto III, provincia Bolívar. Guaranda. Universidad Estatal de Bolívar. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Recursos Naturales y del Ambiente. Carrera de Agronomía. Disponible en <https://dspace.ueb.edu.ec/handle/123456789/4444>
- Vigueras Islas, K. E. 2021. *Resistencia inducida a carbón de la espiga (Sporisorium reilianum f. sp. zeae) y roya común (Puccinia sorghi) en maíz (Zea mays L.)* (Doctoral dissertation). Disponible en http://colposdigital.colpos.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/10521/4732/Vigueras_Islas_KE_MC_Fitopatologia_2021.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Villota, A. 2020. Estudio de la relación entre la función de las proteínas involucradas en la remodelación de la cromatina, y la virulencia del hongo *Ustilago maydis*. Disponible en <http://rdcb.cbg.ipn.mx/bitstream/20.500.12273/750/1/TESIS%20Nubia%20Andrea%20Villota%20Salazar.pdf>
- Zambrano Mendoza, J. L., Velásquez Carrera, J. S., Peñaherrera Mafla, D. F., Sangoquiza Caiza, C. A., Cartagena Ayala, Y. E., Villacrés Poveda, C. E., Racines Jaramillo, M. R. 2021. Guía para la producción sustentable de maíz en la Sierra ecuatoriana. Disponible en <https://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/5796>

4.2. ANEXOS



Figura 1. *Ustilago maydis* en maíz, en la sierra ecuatoriana.

Fuente: Zambrano *et al.* 2021.



Figura 2. Control cultural eliminando mazorcas enfermas

Fuente: EcuRed 2024.