UAGro
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE GUERRERO
MAESTRÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y GESTIÓN LOCAL

GENOTIPOS RESISTENTES A LA MANCHA DE ASFALTO EN CRUZAS TRIHIBRIDAS DE MAÍZ (*Zea mays* L.), EN EL ESTADO DE GUERRERO.

TESIS:

COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE MAESTRO EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y GESTIÓN LOCAL

P R E S E N T A:

ING. ÁNGEL EDUARDO MUÑIZ VILLALOBOS.

DIRECTOR: DRA. TEOLINCACIHUATL ROMERO ROSALES

CO-DIRECTOR: DR. CÉSAR DEL ÁNGEL HERNÁNDEZ GALENO

ASESORES:

DR. NOEL ORLANDO GÓMEZ MONTIEL

DR. ELÍAS HERNÁNDEZ CASTRO

DR. JUAN ELÍAS SABINO LÓPEZ

IGUALA DE LA INDEPENDENCIA, GUERRERO., DICIEMBRE DEL 2020.

La presente tesis titulada **GENOTIPOS RESISTENTES A LA MANCHA DE ASFALTO EN CRUZAS TRIHIBRIDAS DE MAÍZ (*Zea mays* L.), EN EL ESTADO DE GUERRERO,** desarrollada por el alumno Ing. Ángel Eduardo Muñiz Villalobos matricula: 11241764 de la generación febrero 2018 – enero 2020, ha sido leída y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de Maestro en Ciencias Agropecuarias y Gestión Local. La dirección de la investigación estuvo integrada por el:

COMITÉ TUTORIAL

Dra. Teolincacihuatl Romero Rosales
Directora de tesis

Dr. César del Ángel Hernández Galeno
Co-director de tesis

Dr. Noel Orlando Gómez Montiel
Asesor

Dr. Elías Hernández Castro
Asesor

Dr. Juan Elías Sabino López
Asesor

Iguala de la Independencia a 18 de Diciembre del 2020

AGRADECIMIENTOS

A Dios: Por permitirme lograr esta meta por lo vivido a diario, por darme la capacidad de ingresar a este mundo tan maravilloso de la investigación por todo lo que me has dado y bendecido

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT): Por la beca otorgada para la realización de esta investigación y mis estudios de Maestría.

A la Universidad Autónoma de Guerrero: Por la preparación como profesionista que me ha dado como Ing. y como M.C; el orgullo de formar parte de la Universidad Autónoma de Guerrero.

Al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP): por el apoyo desinteresado que brindo en el establecimiento del experimento y al equipo de mejoramiento de maíz.

A mis profesores y asesores de tesis:

Dr. César del Ángel Hernández Galeno: por el apoyo que siempre tuve de su parte como mi asesor, con los análisis estadísticos, la confianza y amistad que me brindo, las enseñanzas que me dejo al ser parte de sus asesorados, el empeño y paciencia que demostró para poder integrarme a este mundo de la investigación.

Dra. Teolincacihuatl Romero Rosales: por los consejos y confianza que me brindo para concluir este trabajo de investigación por la oportunidad que me otorgo para abrirme pasó a este mundo de ciencia, por su tiempo y paciencia.

Dr. Noel Orlando Gómez Montiel: por el apoyo que me otorgo durante todo el trabajo de investigación con las enseñanzas que plasma al hablar, por permitirme ser su asesorado durante este tiempo, sus consejos, la paciencia que tuvo para concluir, por ser un ejemplo a seguir y ser de los mejores investigadores que posiblemente podre conocer, gracias por todo lo que significa tenerlo en este trabajo de tesis.

Dr. Elías Hernández Castro y ***Dr. Juan Elías Sabino López***: Por los consejos que me brindaron, por su conocimiento y por ser parte del comité tutorial, por el apoyo con las revisiones para concluir este trabajo de investigación.

DEDICATORIAS

A mi padre **Jesús Muñiz Espíritu**: por el apoyo y comprensión que me has dado siempre, por los consejos y regaños que me permitieron un mejor desempeño como profesionista, por motivarnos a continuar demostrando que todo se puede si se quiere, por la disciplina que tienes como profesionista y tus conocimientos que me brindas a diario. Al mejor padre que dios me dio.

A mi madre **Ana Velia Villalobos Martínez:** por ser la mujer más maravillosa, la paciencia que siempre me has brindado, por darme todo el amor que pude tener, por ser una parte muy importante en mi vida.

A mis hermanos **Jesús Muñiz Villalobos** por ser la persona más inteligente, humilde, por apoyarme siempre que puedes, por sobresalir en cada meta que te propones y ser el mejor ejemplo que me puedes dar.

A mi hermano **Mario Alberto Muñiz Villalobos:** por el cariño que siempre me has brindado durante este tiempo y por ser un ejemplo a seguir con lo que siempre te caracteriza tu humildad, tus logros, tu capacidad de afrontar los retos.

A **Roció Díaz Suarez:** por estar conmigo en los peores momentos, poder contar con tu cariño y tu ayuda me ha sido muy importante, siempre estuviste motivándome y apoyándome hasta donde tus alcances te lo permitieron, muchas gracias.

A mis **tíos, primos, familia en general:** por brindarme todo su apoyo, sus consejos y sus conocimientos que me ayudaron a superarme día con día. Les agradezco familia porque siempre han estado a mi lado cada día de mi vida

CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS ii
DEDICATORIAS iii
INDICE DE CUADROS DE TEXTO vi
INDICE DE FIGURAS viii
RESUMEN viii
ABSTRACT x
1. INTRODUCCIÓN GENERAL 1
1.1. PROBLEMATICA 4
1.2. JUSTIFICACIÓN 5
1.3. OBJETIVOS 6
1.3.1 Objetivo general 6
1.3.2. Objetivos específicos 6
2. HIPÓTESIS 7
3. REVISION DE LITERATURA 8
3.1. Híbridos 12
3.2 Resistencia genética a enfermedades 13
4. LITERATURA CITADA 14
5. CAPITULO I. GENOTIPOS DE MAÍZ RESISTENTES A LA MANCHA DE ASFALTO EN EL ESTADO DE GUERRERO. 19
5.1. RESUMEN 19
ABSTRAC 20
5.2 INTRODUCCIÓN 21
5.3 MATERIALES Y MÉTODOS 23
5.3.1. Localidades de evaluación 23
5.3.2. Evaluación de maíces híbridos trilíneales 23
5.3.3. Diseño experimental 24
5.3.4. Manejo agronómico 24
5.3.5. Evaluación del complejo mancha de asfalto 25
5.3.6. Variables agronómicas 27
5.3.7. Análisis estadístico 28
5.4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN 28

5.4.1. Materiales de evaluación (Mochitlán y Cajeles). 28
5.4.2. Análisis de varianza 29
5.4.3. Comparación de medias de tratamientos 33
5.4.4. Comparación de medias del análisis conjunto. 36
5.5. CONCLUSIONES 38
6. CAPÍTULO II RESPUESTA DE NUEVOS HÍBRIDOS TRILINEALES DE MAÍZ AL COMPLEJO DE LA MANCHA DE ASFALTO, EN GUERRERO, MÉXICO. 43
6.1 RESUMEN 43
ABSTRACT 44
6.2 INTRODUCCIÓN 46
6.3 MATERIALES Y MÉTODOS 48
6.3.1 Localidades de evaluación 48
6.3.2. Material genético 48
6.3.3. Diseño experimental 49
6.3.4. Conducción del experimento 49
6.3.5. Niveles de severidad para el complejo mancha de asfalto 51
6.3.6. Variables de estudio 53
6.3.7. Análisis estadístico 54
6.4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN 55
6.4.1. Área del establecimiento de los experimentos 55
6.4.2. Ensayo de materiales en las localidades de Mochitlán (L1) y Cajeles (L2). 55
6.4.3. Análisis de varianza 56
6.4.4. Comparación de medias de tratamientos 60
6.5 CONCLUSIONES 65
6.6 AGRADECIMIENTOS 65
6.7 LITERATURA CITADA 66
7. CONCLUSIONES GENERALES 70

INDICE DE CUADROS DE TEXTO

N° Cuadro	Titulo del cuadro por sección	Pag.
	Capítulo I	
Cuadro I	Ubicación y fecha de siembra de genotipos de maíz para evaluar su resistencia a la mancha de asfalto en el estado de Guerrero, 2018 PV.	23
Cuadro II	Genotipos evaluados para determinar el nivel de resistencia al complejo de la enfermedad mancha de asfalto, 2018 PV	24
Cuadro III	Escala de severidad utilizada para la evaluación visual del complejo de la mancha de asfalto (Ceballos y Deutsch, 1992).	25
Cuadro IV	Análisis de varianza de la información obtenida en la localidad de Mochitlán, Guerrero, para 25 híbridos de maíz en la región Centro del estado de Guerrero, ciclo primavera-verano 2018.	29
Cuadro V	Análisis de varianza para la localidad de Cajeles, Guerrero, de los 25 híbridos de maíz en la zona centro del estado de Guerrero, ciclo primavera-verano 2018.	30
Cuadro VI	Análisis de varianza combinado para las localidades de Mochitlán y Cajeles, Guerrero, de los 25 híbridos de maíz en la zona centro del estado de Guerrero, ciclo primavera-verano 2018.	31
Cuadro VII	Cuadrados medios y significancia estadística del análisis de varianza combinado, para 25 híbridos de maíz en la zona Centro del estado de Guerrero, ciclo primavera verano, 2018.	32
Cuadro VIII	Evaluación de 25 híbridos de maíz en la localidad de Mochitlán, región Centro del estado de Guerrero, Guerrero, ciclo primavera-verano 2018.	33
Cuadro IX	Comparación de medias sobresalientes de cuatro variables evaluadas de 25 híbridos experimentales de maíz en la localidad de Cajeles, región Centro del estado de Guerrero, ciclo primavera-verano 2018.	35
Cuadro X	Medias sobresalientes en el análisis combinado, de cuatro variables evaluadas de 25 híbridos experimentales de maíz región Centro del estado de Guerrero, ciclo primavera-verano 2018.	37
	Capítulo II	
Cuadro I	Materiales evaluados para determinar el nivel de resistencia al complejo de mancha de asfalto.	49
Cuadro II	Escala de severidad utilizada para la evaluación visual del complejo de la mancha de asfalto (Ceballos y Deutsch, 1992).	52

Cuadro III	Análisis de varianza de la localidad de Mochitlán, para 49 híbridos experimentales de maíz en la región Centro del estado de Guerrero, ciclo primavera-verano 2018.	56
Cuadro IV	Análisis de varianza de la localidad de Cajeles, Guerrero, 49 híbridos experimentales de maíz en la región Centro del estado de Guerrero, ciclo primavera-verano 2018.	57
Cuadro V	Análisis de varianza combinado de las dos localidades, para 49 nuevos híbridos experimentales de maíz en la región Centro del estado de Guerrero, ciclo primavera-verano 2018.	58
Cuadro VI	Cuadrados medios y significancia estadística del análisis de varianza combinado, 49 nuevos híbridos experimentales de maíz en la región Centro del estado de Guerrero, ciclo P-V 2018.	59
Cuadro VII	Híbridos experimentales de maíz sobresalientes en la localidad de Mochitlán, región Centro del estado de Guerrero, Guerrero, ciclo primavera-verano 2018.	60
Cuadro VIII	Híbridos sobresalientes de maíz de 49 genotipos evaluados en la localidad de Cajeles, región Centro del estado de Guerrero, Guerrero, ciclo primavera-verano 2018.	62
Cuadro IX	Comparación de medias en el análisis combinado, de cuatro variables evaluadas en 49 genotipos de maíces híbridos experimentales en la localidad de Cajeles, región Centro del estado de Guerrero, Guerrero, ciclo primavera-verano 2018.	63

INDICE DE FIGURAS

N° de figura	Titulo de figura	Pág.
I	Severidad de daño a nivel de planta (A) y hoja (B) con valores ordinal y rango porcentual (Garrido *et al.*, 2017; Quiroga *et al*., 2017)	26

RESUMEN

La adaptación al cambio climático en los cultivos agrícolas es una actividad esencial para asegurar la obtención de alimentos que permitan la autosuficiencia alimentaria de la población mundial. En el cultivo del maíz, el mejoramiento genético busca incrementar su productividad, de manera simultánea, se identifican genotipos sobresalientes por su tolerancia a diversos factores bióticos y abióticos, que la limitan. En los estados de Guerrero, Jalisco, Michoacán, Hidalgo, Veracruz, Oaxaca, Chiapas y el Estado de México, existe la enfermedad del complejo de mancha de asfalto, que provoca severos daños al cultivo y puede ocasionar la pérdida total de la producción. Para su control, se utilizan dos métodos: el químico y el genético, en el primero, es efectivo, sin embargo, incrementa los costos de producción y conlleva efectos ambientales negativos. El control genético, se considera una alternativa más rentable, ecológica y que contribuye a la sostenibilidad del ecosistema. En el estado de Guerrero la enfermedad de la mancha de asfalto se presenta en las localidades de: Mochitlán, Cajeles, Teloloapan, Quechultenango, entre otras. En estas localidades, la producción de maíz es de suma importancia, por ello, es necesario generar opciones de maíces mejorados que incluyan la resistencia a esta enfermedad para favorecer acciones amigables con el medio ambiente. El programa de mejoramiento genético de maíz del Campo Experimental Iguala del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, durante más de 10 años, ha realizado evaluaciones para identificar líneas puras y cruzas entre ellas, con resistencia a la mancha de asfalto, actualmente, ya se han identificado algunos progenitores sobresalientes, con los cuales se hicieron cruzamientos para generar híbridos trilineales, estos materiales se tienen que tamizar en localidades donde la mancha de asfalto es endémica así corroborar si mantienen la resistencia que sus progenitores previamente mostraron. El objetivo de esta investigación fue evaluar e identificar en 74 híbridos experimentales de maíz con resistencia a la mancha de asfalto. En el año 2018 se establecieron dos experimentos en el estado de Guerrero, en las localidades de

Mochitlán y Cajeles, en las cuales la enfermedad de la mancha de asfalto se presenta de manera endémica y frecuente. En cada localidad se establecieron dos experimentos de látices triples, con 25 y 49 híbridos. Se cuantificaron las variables de severidad de la enfermedad, el área bajo la curva de progreso de la enfermedad, calificación de planta y mazorca, altura de planta y mazorca y rendimiento. Se realizaron análisis individuales por localidad y uno combinado. Los resultados mostraron significancia estadística en la fuente de variación localidad, algunos genotipos no mostraron significancia estadística. sin embargo, al aplicar la prueba en la comparación de medias de Tukey ($p \leq 0.05$), se identificaron genotipos sobresalientes con el menor índice de daño provocado por la mancha de asfalto en ambos experimentos y localidades; en el experimento de 25 materiales destacan: (T49 x B41) x T48 y (LT154 x LT156) x CLWN247; y para el segundo experimento de 49 híbridos los sobresalientes fueron (GNDE x GNF) x CLWN247, (LT164 x LT165) x PW91, (T47 x CLWN247) x LT154, (T49 x LT156) x LT154, (LT164 x LT165) x CLWN247; así mismo, se identificaron genotipos sobresalientes en rendimiento de grano en ambas localidades. Para hacer recomendaciones con mayor confianza, se sugieren evaluaciones con los genotipos sobresalientes en otros ambientes donde la mancha de asfalto es endémica y de esta manera, recopilar la información suficiente para su liberación comercial.

PALABRAS CLAVE: *Zea mays* L., *Phyllachora maydis* Maubl., *Monographella maydis* Müller & Samuels y *Coniothyrium phyllachorae* Maubl., resistencia a enfermedades.

ABSTRACT

Adaptation to climate change in agricultural crops is an essential activity to ensure the obtaining of food that allows food self-sufficiency of the world population. In maize cultivation, genetic improvement seeks to increase its productivity, simultaneously, outstanding genotypes are identified for their tolerance to various biotic and abiotic factors, which limit it. In the states of Guerrero, Jalisco, Michoacán, Hidalgo, Veracruz, Oaxaca, Chiapas and the State of Mexico, the tar spot disease exists, which causes severe damage to the crop and can cause the total loss of production. For its control, two methods are used: chemical and genetic. In the case of the former, it is effective; however, it increases production costs and entails negative environmental effects. Genetic control is considered a more profitable, ecological alternative that contributes to the sustainability of the ecosystem. In the state of Guerrero, the tar spot disease occurs in the towns of: Mochitlán, Cajeles, Teloloapan, Quechultenango, among others. In these localities, corn production is of the utmost importance; therefore, it is necessary to generate improved corn options that include resistance to disease to favor environmentally friendly actions. The maize genetic improvement program of the Iguala Experimental Field of the National Institute of Forestry, Agricultural and Livestock Research, for more than 10 years, has carried out evaluations to identify pure lines and crosses thereof, with resistance to tar spot, currently, some outstanding ones have been identified, with which crosses were made to generate trilinear hybrids, which must be evaluated in localities that present the tar spot and corroborate that they maintain the resistance that their parents previously demonstrated. The objective of this research was to evaluate and identify in 74 experimental corn hybrids their resistance to tar spot. In 2018, two experiments were established in the state of Guerrero, in the towns of Mochitlán and Cajeles, in which the tar spot disease occurs endemically and frequently. In each locality, two experimental designs of latices were established, with 25 and 49 hybrids and three replications each. The variables of disease

severity, area under the disease progress curve, plant and ear qualification, plant and ear height, and yields were quantified. Individual analyzes were carried out by locality and one combined. The results showed statistical significance in the source of local variation, some genotypes did not show statistical significance, however, in the comparison of Tukey means ($p \leq 0.05$), outstanding genotypes with the lowest index of damage caused by the tar spot were identified for both experiments and locations; In the experiment of 25 materials, the following stand out: (T49 x B41) x T48 and (LT154 x LT156) x CLWN247; and for the second experiment of 49 hybrids the outstanding ones were (GNDE x GNF) x CLWN247, (LT164 x LT165) x PW91, (T47 x CLWN247) x LT154, (T49 x LT156) x LT154, (LT164 x LT165) x CLWN247 ; likewise, there are genotypes in both locations that share the best yields. For both experiments, new evaluations are recommended to corroborate the tolerance of the genotypes that excelled, and thus be able to commercially release some of these materials and offer sustainable alternatives to producers in the regions of Guerrero, where tar spot is frequent.

KEY WORDS: *Zea mays* L., *Phyllachora maydis* Maubl., *Monographella maydis* Müller & Samuels, *Coniothyrium phyllachorae* Maubl., disease resistant.

1. INTRODUCCIÓN GENERAL

Por su producción el maíz (*Zea mays* L.), se encuentra entre los tres cultivos de mayor superficie sembrada a nivel mundial, con una superficie mundial cosechada de 193,733, 568 ha^{-1}, y una producción de 1,147,621,938 t (FAOSTAT, 2018). En México el maíz es el cultivo más importante por la superficie que se siembra, que en más de siete millones de hectáreas cultivadas anualmente (SIAP, 2019). Así mismo, es la principal fuente de alimentación de la población, a nivel mundial México es el consumidor número uno de *maíz per cápita*, sin embargo, también es utilizado por otros sectores como el pecuario, en la fabricación de almidones y otros procesos industriales, principalmente en la producción de etanol como fuentes de energías alternativas, (González *et al.*, 2011).

La producción del cultivo del maíz está sujeta a factores adversos de tipo biótico y abiótico, que generan pérdidas en calidad y rendimiento. En el caso de los factores bióticos la mancha de asfalto se ha incrementado su frecuencia en los ambientes del trópico húmedo, subhúmedo y zonas de transición, esta enfermedad es inducida por la sinergia de los hongos *Phyllachora maydis* Maubl., *Monographella maydis* Müller & Samuels *y Coniothyrium phyllachorae* Maubl. (Hock *et al.*, 1989). En la República Mexicana esta enfermedad año con año se hace más frecuente en zonas de climas templados, su presencia es predominante en las áreas tropicales y subtropicales de 11 estados de México (Gómez *et al*., 2013), en las cuales puede llegar a causar pérdidas de 30 a 100 % (Hock *et al*. 1989; Martínez y Espinoza, 2014), de esta manera se hace necesario priorizar su control mediante acciones de mejoramiento genético del maíz, esto con el fin de obtener materiales resistentes.

La humedad y temperatura favorecen el desarrollo de tizones foliares, incluida la mancha de asfalto, que ocurre con mayor severidad en áreas con alta humedad relativa, de ambientes entre 1300 y 2300 m, nuevos reportes indican también su presencia en menores altitudes por ello, es de

suma importancia hacer un manejo agronómico adecuado, que incluye la identificación oportuna de los síntomas del complejo de mancha de asfalto, que aparece regularmente entre los 40 y 50 días posteriores a la siembra, así es factible realizar las acciones de control respectivas, cuando se utiliza el control químico. Sin embargo, se debe favorecer el manejo integrado de la enfermedad como una estrategia efectiva, lo cual implica el uso de variedades resistentes o tolerantes acompañadas de prácticas culturales que aminoren la presencia de la enfermedad, como fecha de siembra temprana y eliminación del rastrojo de ciclos pasados, entre otros (Quiroga *et al*., 2017). Así mismo, es deseable favorecer la producción de granos libre de residuos químicos, para evitar en lo posible el daño al medio ambiente, una manera de hacerlo es generar y al mismo tiempo utilizar otras alternativas que a través de los años se han desarrollado, entre ellas la inclusión de genotipos resistentes a enfermedades, que además cuenten un alto potencial genético, para el rendimiento de grano, (Paliwal, 2001).

Las empresas nacionales y transnacionales son los principales proveedores de semilla mejorada de maíz (se comercializan principalmente híbridos), no obstante, en muchas ocasiones los materiales no son los requeridos por los productores en las distintas zonas de producción. Algunos de los problemas por los que no se aceptan estos maíces mejorados incluyen: características agronómicas indeseables (porte alto, susceptibilidad, acames) no aptas para los mercados, genotipos con poca adaptabilidad, susceptibles a plagas y enfermedades, no competitivos en condiciones marginales, bajos rendimientos, entre otras. Para solventar estos problemas o disminuirlos, se recomienda utilizar como base la diversidad genética existente y direccionarla hacia la identificación de nuevos materiales que permitan cubrir esos requerimientos, de esta manera los programas de mejoramiento son considerados de suma importancia, ya que son una alternativa para aminorar las deficiencias en los genotipos existentes, (Bauman, 1977).

En las últimas cinco décadas los programas de mejoramiento genético de maíz, han buscado disminuir las deficiencias ya mencionadas, por lo tanto han derivado y mejorado líneas progenitoras de híbridos, con características de resistencia a enfermedades, tamaño deseable de mazorcas, grano, así como ampliar su adaptación y estabilidad, entre otras características deseables. El mejoramiento de las líneas se puede realizar con diferentes metodologías como mejoramiento convergente, selección gamética, retrocruzas, etc.

En el programa de mejoramiento genético de maíz del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), desde los 80´ hasta la actualidad se continúan derivando e identificado líneas sobresalientes, que se han seleccionado, entre otros ambientes, en localidades con presencia de la mancha de asfalto, con el propósito de incluirlas en cruzamientos que permitan generar híbridos con resistencia a enfermedades, principalmente foliares y de pudriciones de la mazorca.

1.1.PROBLEMATICA

Uno de los temas de mayor relevancia en la actualidad es el cambio climático en los diferentes campos de acción, es de suma importancia por el impacto negativo que genera, al provocar condiciones climáticas con temporales de lluvia escasos o en algunas ocasiones en exceso. En la mayor parte de la superficie agrícola de México se siembra el maíz, cultivo de importancia prioritaria y que constituye la base de la alimentación para los habitantes del país. En el estado de Guerrero, la producción de este grano es para consumo nacional, y autoconsumo en las comunidades rurales, en estas últimas es una fuente importante de autoempleo y en muchas ocasiones la única forma de obtener un ingreso económico a la unidad familiar. En los últimos años los problemas fitosanitarios que atacan al maíz han sido diversos, sin embargo, el complejo de la enfermedad mancha de asfalto (CMA), ocasionada por los hongos *Phyllachora maydis* Maublanc *Monographella maydis*, y *Coniothyrium phyllachorae* Maubl. (Müller y Samuels, 1984), ha tomado gran relevancia por el porcentaje de pérdidas que ocasiona que en casos extremos es del 80 al 100 %. Esta enfermedad es muy común en las regiones, tropicales y subtropical del estado de Guerrero y se puede encontrar desde las costas hasta los 1600 msnm, con los efectos negativos previamente mencionados. Para su control, se reconoce principalmente el químico, con efectos negativos en la rentabilidad del cultivo y el medioambiente. El otro método de control es el genético; sin embargo, existen pocas opciones de materiales mejorados específicos resistentes a esta enfermedad. Por ello, la gran diversidad genética de maíz en México, específicamente en Guerrero, puede ser útil para generar materiales mejorados con resistencia a la mancha de asfalto.

1.2. JUSTIFICACIÓN

En el estado de Guerrero se siembran con maíz 480,000 ha^{-1}, de esta superficie en más del 50 % se tienen las condiciones climáticas favorables para la presencia de la enfermedad mancha de asfalto. En las localidades donde se tienen afectaciones por esta enfermedad se pueden tener pérdidas parciales o totales de la producción. En las regiones donde se presenta se siembran variedades criollas, mejoradas e híbridos. Ahora por su selección natural se han desarrollado variedades nativas y mejoradas tolerantes, pero son de bajo rendimiento. De manera que, se ha preferido la generación de híbridos con fuentes de resistencia vertical específicas. A la fecha estas fuentes de resistencia forman parte de los progenitores de un gran número de híbridos trilíneales que se continúan evaluando en el presente estudio. Por otra parte la superficie donde presenta la enfermedad está creciendo y se ha observado en las dos costas, casi a nivel del mar hasta los 1600m de altitud en la localidad de Teloloapan. Por lo tanto urge explorar y generar nuevas fuentes de resistencia genética al complejo de la enfermedad mancha de asfalto problema que se ha acrecentado en el estado de Guerrero, Chiapas, Oaxaca y otras regiones del golfo de México.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo general

Evaluar e identificar cruzas trilíneales de maíz con resistencia a la mancha de asfalto en las localidades de Mochitlán y Cajeles, del estado de Guerrero.

1.3.2. Objetivos específicos

Evaluar 25 cruzas trilíneales de maíz en el estado de Guerrero en las localidades de Mochitlán y Cajeles.

Evaluar 49 cruzas trilíneales de maíz en el estado de Guerrero en las localidades de Mochitlán y Cajeles.

Cuantificar la incidencia y severidad de la mancha de asfalto en las cruzas trilíneales de maíz evaluadas en el estado de Guerrero.

Identificar genotipos resistentes a la mancha de asfalto en las evaluaciones de cruzas trilíneales de maíz en las localidades de Mochitlán y Cajeles del estado de Guerrero.

2. HIPÓTESIS

Hipótesis 1: Existen diferencias en las variables cuantificadas en las cruzas trilíneales de maíz, evaluadas en localidades con incidencia de la mancha de asfalto del estado de Guerrero.

Hipótesis 2: Existe al menos una cruza trilíneal de maíz con tolerancia a la mancha de asfalto, en los 74 híbridos evaluados en este estudio

3. REVISION DE LITERATURA

Una de las enfermedades que en la actualidad provoca severos daños a la producción de maíz es el complejo de la enfermedad mancha de asfalto, considerada endémica en las zonas tropicales y subtropicales de América (Hock *et al*. 1992). En México fue referida en el año de 1904 en las hojas de maíz (Maulblanc, 1904). Esta es inducida por la sinergia de un complejo de hongos, donde principalmente aparece *Phyllachora maydis* Maubl., posteriormente se expresa el parásito facultativo *Monographella maydis* Müller & Samuels (Dittrich *et al*., 1990), se considera que la asociación de los dos organismos provoca una necrosis foliar que se desarrolla en las plantas infestadas. En complemento, también se puede encontrar a *Coniothyrium phyllachorae* Maubl. En algunas excepciones se ha identificado a *Microdochium maydis* (anamorfo de *M. maydis*) (Hock *et al*., 1992).

La expresión de la sintomatología de esta enfermedad se inicia con la infección de *P. maydis* (Hock *et al.*, 1989), este hongo produce puntos negros, en forma de costras carbonosas, origen del nombre de mancha de asfalto. Se manifiesta con cierta severidad en el haz de las hojas; posteriormente, presentan un ligero halo amarillento en su contorno. Dichas manchas negras corresponden al clípeo del hongo, el cual está constituido por un estroma, donde están infiltrados varios peritecios sumergidos en el mesofilo, con un diámetro promedio de 190µ (Malaguti & Subero, 1972). Cuando las condiciones ambientales son favorables se desarrolla un halo necrótico en el contorno de cada una de las lesiones de *P. maydis*, debido a la infección provocada por el *M. maydis*, es el síntoma típico por la asociación de conjunto de hongos que comúnmente se conoce como el síntoma de "ojo de pescado" (Hock *et al.*, 1989), esta serie de síntomas pueden aparecer de 2 a 7 días después de lo que fue la infestación de *P. maydis* (Hock *et al.*, 1992). Müller & Samuels (1984), reportan que *M. maydis* en algunas ocasiones se presenta en las hojas de maíz como endofítico, y cuando se asocia con *P. Maydis* cambia su estado patogénico. *C. phyllachorae* lo podemos encontrar en los

estromas de *P. Maydis* como un micoparásito (Hock *et al*., 1992). Cuando las condiciones son favorables para la presencia de la enfermedad el follaje de la planta puede secarse en el transcurso de los primeros ocho días posteriores a la aparición de la enfermedad, ésto debido a la asociación de las lesiones del complejo de los tres agentes y a la posible producción de una toxina (Hock *et al*. 1989; Hock *et al*. 1995). De todos los organismos implicados en el complejo de mancha de asfalto, *M. Maydis* es el que genera un efecto más severo y se manifiesta como una necrosis foliar.

El desarrollo de la enfermedad mancha de asfalto, suele ser muy diversa, ya que en ocasiones se presenta en zonas montañosas, en ambientes moderadamente fríos, pero con cierta humedad de las regiones tropicales y subtropicales (Malaguti & Subero, 1972). Se conoce que el desarrollo propicio del complejo requiere de una temperatura promedio mensual de 16 a 22 °C, precipitación mensual de 150 mm, o su equivalente a una humedad relativa mayor al 75 % y con un mínimo diario de 60 %, estas condiciones ambientales favorables son aptas para el desarrollo de la enfermedad; en ocasiones también se requieren de 10 a 20 días nublados por mes, una baja insolación media anual de 1800 a 1900 horas y una evaporación anual de más de 500 mm; estas características ambientales se presentan en las zonas de transición (Hock *et al*. 1989). Muchas ocasiones el esparcimiento de los agentes asociados a la enfermedad se da con las corrientes de aire que dispersan las esporas a plantas de maíz adyacentes (Hock, 1987; Lii, 1972). La germinación y formación del apresorio de las ascosporas de *P. maydis*, aumentan en un rango entre 10 a 20 °C y se ve una disminución a una temperatura mayor a 25° C, con ésto se confirma que el hongo se adapta y prefiere climas fríos en regiones húmedas de climas tropicales; mientras que los conidios de *M. maydis* tienen un mayor rango de germinación (rango óptimo de entre 5 a 35 °C); estas condiciones favorables de humedad resultan en una mayor germinación (Dittrich *et al*., 1990).

El complejo mancha de asfalto, se ha observado en México, y otras regiones tropicales de América, desde hace más de 30 años, por ello la importancia de la distribución de la enfermedad (Hock *et*

al. 1989). En México se documentó *P. maydis* por primera vez en 1904 por Maulblanc; posteriormente se registró su presencia en más países de Latinoamérica como: Perú (Abbot, 1931), Republica Dominicana y Puerto Rico (Orton, 1944; Lii, 1972), Venezuela (Standen, 1952; Malaguti & Subero, 1972), Bolivia (Bell & Alandia, 1957), Guatemala (Schieber, 1968), Colombia (Castaño, 1969), Panamá, Costa Rica, Honduras, Nicaragua, Ecuador, las Antillas (Hock *et al.*, 1989), El Salvador y Haití (Hock *et al.*, 1992). Los países de América donde aún no existen reportes de la enfermedad son Brasil, Paraguay, Argentina, Chile (Hock *et al.*, 1995), Uruguay y Canadá.

Aunque en la mayoría de los países donde se presenta la enfermedad no se ha cuantificado su distribución, si se ha observado su importancia económica y un impacto en pérdidas por rendimiento de grano (Hock *et al*., 1989), inicialmente la enfermedad era considerada como secundaria o de menor importancia en el cultivo de maíz, pero en los últimos 25 años ya ha afectado económicamente a la producción de maíz. La enfermedad del complejo de mancha de asfalto se ha convertido en uno de los factores más limitantes en la producción de maíz en algunas regiones de México y Centroamérica. En México, Galt (1977) determinó que la pérdida del rendimiento debido al ataque del complejo de la enfermedad mancha de asfalto fue del 1.7 %, esto es una pérdida de 50 kg ha^{-1} de grano de maíz, suponiendo un promedio de 3.0 t ha^{-1}. Durante 1985 a 1988 (Hock *et al*., 1989) mencionan afectaciones ocasionadas por la mancha de asfalto en la etapa de prefloración en un aproximado de 400 a 500 mil hectáreas de maíz en diferentes estados de la República Mexicana como Jalisco, Michoacán, Hidalgo, Veracruz, Oaxaca y Chiapas, en esta superficie se observó una disminución de la producción de hasta un 30 % con sus respectivas pérdidas económicas. (Garrido *et al.*, 1987) mencionan reportes del CMA ocasionando pérdidas de 5000 ha en Villaflores, Chiapas en 1984.

Año con año la enfermedad va ocasionando pérdidas en diferente magnitud, con una tendencia a incrementarse. (Pereyda *et al*., 2009) mencionan que en los ciclos agrícolas del 2001 al 2005 en el

municipio de Mochitlán, Guerrero, aproximadamente el 40 % de las 3100 hectáreas cultivadas fueron afectadas por el CMA, con pérdidas en el rendimiento de grano de hasta 55 % y una afectación en la calidad del forraje. En el año 2005 hubo reportes de un daño considerable cuantificado en 100 % en 600 ha^{-1} en el municipio de Tixtla, Guerrero (González *et al*., 2008). En los ciclos de producción comprendidos en los años 2007 y 2008, reportes mencionan que en Guatemala el complejo de mancha de asfalto causó daños de más del 80 % en la producción de grano, (ICTA, 2011). En Honduras reportan daños entre el 35 al 75 % en los ciclos de producción del año 2011 (DGSV, 2011). En Perú, el complejo mancha de asfalto genera pérdidas económicas, con una perdida promedio del 50 %. Reportes en la República Mexicana mencionan que el complejo de mancha de asfalto se presentó en distintas parcelas de producción en el estado de Oaxaca, expresándose con pérdidas en rendimientos entre 70 a 90 %, afectando en su totalidad con algunas parcelas (Mahuku *et al*., 2013). En la actualidad se considera económicamente una limitante a considerar en las 800 mil hectáreas que se distribuyen desde los estados de Jalisco, Nayarit, Michoacán, Veracruz, Oaxaca, Chiapas y Guerrero (González, 2013).

Hock (1987) reporta que algunas prácticas agrícolas pueden reducir la incidencia de la enfermedad, tales como fechas de siembra tempranas, eliminación del rastrojo de ciclos pasados. Se conoce que el control químico es otra de las alternativas para el manejo de la enfermedad, con diversos fungicidas efectivos; la limitante de esta alternativa es principalmente por el alto costo de los químicos, los jornales y equipo de aplicación que se necesitan, que hace sea poco utilizada, ya que disminuye la relación beneficio costo del cultivo (Hock *et al*., 1989; Bajet *et al.*, 1994; Hock *et al*., 1995).

Una de las alternativas económicamente rentable y amigable con el medio ambiente es el control genético, en México investigadores del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), durante varias décadas han mejorado líneas de maíz para detectar resistencia

a la mancha de asfalto, a partir de ello se ha realizado la liberación comercial de los híbridos H562 y H563 con tolerancia a la mancha de asfalto (Gómez *et al.*, 2013; Gonzales., *et al* 2013). Otras instituciones, como el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), han evaluado en base a su resistencia a la enfermedad, más de 300 líneas de maíz y cuentan con diferentes fuentes de resistencia verticales entre ellas la línea T10 que interviene en varios híbridos liberados al comercio.

3.1.Híbridos

(Gostincar *et al.*, 1998) mencionan que el cruzamiento de dos líneas puras da origen a las variedades hibridas, y mantienen una superioridad al manifestarse la heterosis o el llamado vigor híbrido. Estas líneas puras de plantas autógamas podrían conservarse indefinidamente, generación tras generación, si las siembras se mantuvieran libres de plantas extrañas. Las variedades sintéticas algunas veces pueden desequilibrarse por el efecto selectivo del medio sobre los individuos integrantes de la población inicial y pueden perder potencial productivo. Una de sus desventajas más fuertes de los híbridos es que no se conserva su potencial genético en generaciones avanzadas, es decir que su descendencia no resulta igual a la generación F1, ofreciendo una gran variabilidad.

El maíz es considerado un cultivo con amplio margen de estudio para investigaciones científicas de estudios de genética. Al tratarse de una planta monoica aporta gran información, ya que posee una parte materna (femenina) y otra paterna (masculina), lo cual, le permite crear diferentes recombinaciones (cruces) y así generar nuevas combinaciones que pudieran mostrar mayor heterosis, estos cruzamientos se realizan con distintos objetivos, como en la obtención de rendimientos altos, características agronómicas favorables, tolerancia a plagas y enfermedades, de manera que cuando se seleccionan las plantas expresen mayor resistencia a las condiciones climáticas adversas, así como, a ciertas plagas (Cazco., *et al* 2006).

El mejoramiento de las líneas de maíz, es un proceso sistemático, en el cual se desarrollan metodologías nuevas para la selección, con este proceso se pueden descartar líneas no favorables en las primeras etapas de selección todo en relación a su apariencia fenotípica, posteriormente se realizan pruebas de su aptitud combinatoria, para identificar híbridos sobresalientes. No obstante, la mayoría de los fitomejoradores tienen dificultades en la obtención de las líneas superiores, por no elegir las mejores fuentes de germoplasma y por la continua depresión endogámica a la que se somete el germoplasma (Vergara *et al.*, 2003).

Para obtener líneas de maíz con alta aptitud combinatoria, es necesario contar con una gran diversidad genética, explorar poblaciones grandes y usar sistemas de endogamia moderado (Márquez *et al*., 1988), existen métodos que pueden aumentar mediante selección y mejoramiento las líneas existentes (Hallauer *et al.*, 2010). El proceso de la selección de las líneas donantes como fuentes de alelos favorables para el mejoramiento de un híbrido élite, es una parte esencial en los programas de hibridación (Vergara *et al.*, 2003).

3.2 Resistencia genética a enfermedades

Se le denomina resistencia a la capacidad que tiene un organismo hospedante para limitar, detener, neutralizar o sobreponerse completamente, a la actividad nociva de algún organismo patogénico o virus, después que se ha expresado algún contacto entre el hospedante y el patógeno, o cuando este último se ha establecido y ha comenzado su desarrollo (Nicks *et al.*, 1993; Bos & Parvevliet, 1995). Viéndolo desde otro punto de vista, como su expresión fenotípica, esta resistencia se puede restringir al establecimiento de la relación parasítica entre patógeno y la planta en el lugar y durante el proceso de infección (resistencia completa), o de otra manera, limitar la magnitud de la colonización o reproducción del patógeno en la planta tras el establecimiento de la infección (resistencia incompleta o parcial). En otras situaciones, sobre todo con los patógenos biotróficos, la resistencia completa se expresa como una respuesta de hipersensibilidad (Jiménez-Díaz, 2000).

4. LITERATURA CITADA

Abbot, E. V. 1931. Further notes on plant diseases in Peru. Phytopathology 21: 1067.

Bajet, B. N.; Renfro, B. l.; Valdez, C. J. M. 1994. Control of tar spot of maize and its effect on yield. International Journal of Pest Management 40 (2): 1212-125.

Bauman, L. F. 1977. Improvement of established maize inbreds. Maydica 22:213-222.

Bell, F. H.; Alandia, B. S. 1857. Diseases of temperature climate crops in Bolivia. Plant Disease Report 41: 646-649.

Bos, L.; Parlevliet, J. E. 1995. Concepts and terminology on plant/pest relationships: toward consensus in plant pathology and crop protection. Ann. Rev. Phytopathology 33 (2): 69-102.

Castaño, J. J. 1969. Mancha de asfalto (tar spot) de la hoja del maíz. Agric. Tropical 25: 332.

Cazco, C. 2006. Maíz cultivos andinos. Clase tercer año de ingeniería agropecuaria, Universidad Técnica del Norte. Ibarra- Ecuador

Córdoba, G. C. E.; Varón de Agudelo, F. H.; Huertas, D. C.; Marmolejo, T. F. 1999. Phytosanitary situation of maize (*zea mays*) cultivation in the Valle oh Cauca. Fitopatología Colombiana 23 (1): 35-42.

DGSV. 2011. Alerta enfermedad conocida como "mancha de asfalto" amenaza de maíz en Honduras. Boletín relevante emitido por el Sistema Nacional de Vigilancia Epidemiológica Fitosanitaria SINAVEF. Consultado en línea el 12 de diciembre de 2013 a través del portal http://portal.sinavef.gob.mx/InfoRelevante4.html

Dittrich, U., Hock, J.; Kranz, J.; Renfro, B. L. 1990. Germination of *Phyllachora maydis* ascospores and conidia of *Monographella maydis*. Cryptogamic Botany 2: 214-218.

FAO. 2018. Producción mundial del maíz. Internet. http://faostat3.fao.org/faostat-gateway/go/to/download/Q/QC/E. Fecha de consulta: 10/11/20.

Garrido, R. E. 1987. Resistencia genética del maíz a la mancha de asfalto (*Phyllachora maydis)* en el centro de Chiapas. Memoria del XIV Congreso Nacional de Fitopatología.

Gostincar, J. 1998. Técnicas Agrícolas en cultivos extensivos Biblioteca de la agricultura, segunda edición, editorial idea Books S.A. España pág. 383-394.

Gómez, M. N. O., González, C. M., Cantú, A, M. A., Sierra, M. M., Coutiño, E. B., & Manjarrez, S. M., (2013). 'H-563', híbrido de maíz tropical tolerante a la enfermedad "Mancha de asfalto". *Revista fitotecnia mexicana*, *36*(1), 81-83. Recuperado en 14 de diciembre de 2020,

González, C. M., M. N. Gómez, H.J. Pereyda y E. J. Muñiz. 2008. Obtención de híbridos de maíz elotero tolerantes al complejo mancha de asfalto en el estado de Guerrero. INIFAP. Folleto técnico 17. Iguala, Guerrero, México. 27 p.

González, R. K.; García, S. J. A.; Mattus, G. J. A.; Martínez, S. T. 2011. Vulnerabilidad del mercado nacional de maíz (*zea mays* L.) ante cambios exógenos internacionales. Agrociencia 45: 733-744.

González, C. M. 2013. Nuevos métodos de control de la mancha de asfalto del maíz. Fichas Tecnológicas Sistema Producto (Nueva Tecnología). Instituto Nacional de Investigaciones, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). CIRPAS, CE Iguala, Iguala, Gro. 2 p

Hallauer A., R., M. Carena, and J. B. Miranda F. 2010. Quantitative Genetics in Maize Breeding. Springer-Verlag New York Inc. 664 p.

Hock, J.; Kranz, J. 1987. Estudio epidemiológico de la asociación de *Monographella maydis* y *Phyllachora maydis* en maíz. Memoria de XIV Congreso Nacional de Fitopatología. Morelia

Hock, J., J. Kranz, y B. L. Renfro. 1989. El "complejo mancha de asfalto" de maíz, su distribución geográfica, requisitos ambientales e importancia económica en México. Revista Mexicana de Fitopatología. 7: 129-135.

Hock, J., U. Dittrich, B. L. Renfro, J. Kranz. 1992. Sequential development of pathogens in the maize tar spot disease complex. Mycopathologia 117: 157-161.

Hock, J.; Kranz, J.; Renfro, B. L. 1995. Studies on the epidemiology of the tar spot disease complex of maize in Mexico. Plant Pathology 44: 440-502.

ICTA. 2011. Reconocimiento en campo de la mancha de asfalto en el cultivo del maíz. ICTA. Proyecto Ixcán. IICA/Red Sicta. Ixcán, Quiché, Guatemala 2011. 10p.

Jiménez-Díaz, M. R. 2000. Interacciones planta-hongo: mecanismos de infección, patogénesis y resistencia. En **Llácer, G.; López, M.; Trapero, A.; Bello, A. (Eds). 2000**. Patología vegetal. Soc. Española de fitopatología. Ed. Mundi prensa. Madrid. ISBN 84-7114-900-1.

Mahuku, G.; Shrestha, R.; San Vicente, F. 2013. Complejo mancha de asfalto del maíz: hechos y acciones. Folleto técnico Cimmyt-MasAgro. 6p.

Malaguti, G.; Subero, L. j. 1972. La mancha de asfalto de maíz. Agronomía Tropical. 22 (4): 443-445

Márquez S. F. 1988. Genotecnia Vegetal. Métodos Teoría Resultados. Tomo II. AGT editor, S.A. pp, 345-404.

Maublanc, A. 1904. Espéces nouvelles de champignons inferieurs. Bull. Soc. Myc. Fr. 20:72.

Müller, E.; Samuels, J. G. 1984. *Monographella maydis* sp. nov. and its connection to the tar spot disease in *Zea mays*. Nova Hedwigiam40: 113-121.

Niks, R. E.; Ellis, P. R.; Parlevliet, J. E. 1993. Resistance to parasites. In **Hayward, M. D.; Bosemark, N. o.; Romagosa, I (Eds), 1993**. Plant breeding: principles and prospects. London, Chapman & Hall. 553 p. ISBN 0-412-43390-7.

Orton, R. 1944. Graminicolous species of *Phyllachora* in North America. Mycologia 36:18-53.

Paliwal, L. R. 2001. Mejoramiento para resistencia a las enfermedades. **En Paliwal, L R.; Granados, G.; Renée, L. H.; Violic, D. A.; 2001**. El maíz en los trópicos: mejoramiento y producción. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma FAO. ISBN 978-92-5-304457-3.

Pereyda-Hernández, Juan, & Hernández-Morales, Javier, & Sandoval-Islas, J. Sergio, & Aranda-Ocampo, Sergio, & León, Carlos de, & Gómez-Montiel, Noel (2009). Etiología y manejo de la mancha de asfalto (*Phyllachora maydis* Maubl.) del maíz en Guerrero, México. Agrociencia, 43(5),511-519.[fecha de Consulta 14 de Diciembre de 2020]. ISSN: 1405-3195. Disponible en: https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=302/30211289006

Quiroga, M. R., Garrido, R. E., Rosales, E. M. y Salazar, P. W. 2017. Manual técnico: Manejo integrado del complejo de mancha de asfalto del maíz en México. Universidad Autónoma de Chiapas. México. 39 p.

Rincón S. F. 1997. Calidad fisiológica de las semillas y su comportamiento agronómico de líneas de maíz. XVIII Congreso Nacional. SOMEFI. Sociedad Mexicana de Fitogenética 2000. Pp.279.

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2020. Cierre de la producción Agrícola (SIAP 1980-2019). México, D.F. disponible en línea: https://nube.siap.gob.mx(cierreagricola/ (consultado noviembre, 2020).

Schieber, E. 1968. Estudio preliminar de *Phyllachora maydis* afectando maíz en Centroamérica. Phytopathology 58 (5): 554.

Standen, J. H. 1952. Host index of plant pathogens of Venezuela. PL. Dis. Reptr. Suppl. 212.

Vergara, N. A., S. R. Herrera R., H. Córdoba O. 2003. Potencial de líneas para mejorar híbridos. Revista Fitotecnia Mexicana. 26 (4): 291-299.

5. CAPITULO I. GENOTIPOS DE MAÍZ RESISTENTES A LA MANCHA DE ASFALTO EN EL ESTADO DE GUERRERO.

5.1. RESUMEN

El complejo mancha de asfalto es una de las enfermedades con mayor relevancia económica en el Trópico de México, por el impacto en el rendimiento de grano y disminución de la calidad de forraje. Este complejo es muy frecuente en la cañada de Mochitlán, Colotlipa, Quechultenango y en el valle del Ocotito en el estado de Guerrero, se conoce que es inducido por los hongos *Phyllachora maydis* Maubl., *Monographella maydis* Müller & Samuels y *Coniothyrium phyllachorae* Maubl. El mejoramiento genético enfocado a generar tolerancia al complejo de mancha de asfalto, es la medida de control más eficiente y rentable, que se ha identificado a través del tiempo. Los objetivos del presente trabajo fueron determinar la incidencia y severidad del complejo mancha de asfalto en 25 híbridos trilíneales. El experimento se estableció en el valle de Mochitlán y Cajeles de la región Centro del estado de Guerrero. Los genotipos fueron evaluados en un diseño látice triple 5x5. Las variables cuantificadas fueron: calificaciones de planta, enfermedad y mazorca; rendimiento, área bajo la curva del progreso de la enfermedad, severidad, alturas de planta y mazorca. El análisis de varianza mostró diferencias significativas en las fuentes de variación localidad y genotipos, principalmente. Se identificaron materiales con cierta tolerancia al complejo de la mancha de asfalto, para ambas localidades, destacan los genotipos (T49 x B41) x T48 y (LT154 x LT156) x CLWN247. Con esta información se tienen prospectos de liberación comercial, así mismo, se reduce el número de materiales para evaluaciones posteriores, en un mayor número de localidades donde se presenta la mancha de asfalto.

PALABRAS CLAVE: *Phyllachora maydis* Maubl., *Monographella maydis* Müller & Samuels y *Coniothyrium phyllachorae* Maubl., *Zea mays* L., resistencia a enfermedades.

ABSTRAC

The tar spot Complex (CMA) is one of the most important diseases in the tropics of Mexico, economically, due to the impact on its yield and the decrease in forage quality. This is induced by the fungi *Phyllachora maydis* Maubl., And *Monographella maydis* Müller & Samuels and *Coniothyrium phyllachorae* Maubl., In the Mochitlán and Cajeles valley of the State of Guerrero. The genetic improvement of the tolerance that materials have shown through the production cycles of genotypes under evaluation leads us to the most efficient and profitable control measure for the disease. The objectives of the present work were to determine the incidence and severity in 25 trilinear hybrids, the experiments were established in the Mochitlán and Cajeles valley of the central region of the State of Guerrero. The genotypes were established under a 5x5 lattice design with three replications. The variables were: plant rating, disease rating, ear rating, yield, area under the disease progression curve (ABCPE), severity, plant height, ear height. The analysis of variance showed significant differences in some sources of variation: locality and genotypes, materials with a certain tolerance for both localities were identified such as genotypes (T49 x B41) x T48 and (LT154 x LT156) x CLWN247, highlighting for both localities, reducing the number of materials evaluated with attractive agronomic characteristics, and performance components that can be further evaluated with genetic improvement.

KEY WORDS: *Phyllachora maydis* Maubl., And *Monographella maydis* Müller & Samuels and *Coniothyrium phyllachorae* Maubl.

5.2 INTRODUCCIÓN

El cultivo del maíz (*Zea mays* L.), es muy importante a nivel mundial. En el año 2018, la superficie mundial cosechada fue de 193,733,568 ha^{-1}, con una producción de 1,147,621,938 t (FAOSTAT, 2018). La producción obtenida en México en el año 2019 fue de 27,228,242 t, con rendimiento promedio de 4.07 t h^{-1} y superficie cosechada de 7,157,586 ha^{-1}; destaca por su volumen de producción el estado de Sinaloa con 6,440,204 t, rendimiento promedio de 11.57 t ha^{-1}, superficie cosechada de 556,430 ha^{-1}. En tanto que, el estado de Guerrero produjo 1,292,294 t, con rendimiento promedio de 2.85 t ha^{-1} y superficie cosechada de 453,209 ha^{-1} (SIAP, 2019).

En la actualidad en México, el maíz es el sustento de más de cien millones de habitantes, y se siembran anualmente más de siete millones de hectáreas. Sin embargo, se encuentra expuesto a una diversidad de factores que provocan pérdidas en la calidad y cantidad de sus granos; el potencial genético del cultivo es condicionado por distintos factores, como ambientes desfavorables, baja fertilidad de los suelos, malezas y las pérdidas provocadas por la acción de diferentes plagas y enfermedades (Paliwal, 2001).

Las condiciones de temperatura y humedad benefician el progreso de enfermedades foliares, que incluyen a la mancha de asfalto, esta enfermedad se desarrolla con mayor severidad en sitios con humedad relativa alta, localizados en altitudes de 1300 a 2300 m, y representan una gran limitante en la producción de maíces en ambientes del trópico húmedo, subhúmedo y zonas de transición (Hock *et al*., 1989) adicionalmente, su presencia en zonas de climas templados se ha vuelto más frecuente. Los primeros reportes de mancha de asfalto en maíz por el hongo *Phyllachora maydis* Maublanc, se realizaron en México (Maublanc, 1904); de igual manera se ha documentado su presencia en al menos once estados, donde por los daños considerables, sobresalen Guerrero y Chiapas (Gómez *et al*., 2013). La enfermedad provoca lesiones oscuras, estomáticas, de fisonomía lisa y brillante, de forma oval a circular, con 0.5 a 2.0 mm de diámetro y forma estrías hasta de 10

mm de longitud (Parbery, 1967; Hamlin, 1999). Interviene el hongo secundario *Monographella maydis* Müller & Samuels, éste genera lesiones en torno a las producidas por *P. maydis*. Al inicio de la infección se observa un halo de forma elíptica, color verde claro de 1–4 mm, consecutivamente, se vuelve necrótico y genera el síntoma conocido como ojo de pescado. En las lesiones recientes, es frecuente encontrar a *Microdochium sp*, anamorfo de *Monographella maydis*. Asimismo, se puede observar en tejido necrótico, *Coniothyrium phyllachorae* Maubl. (Müller y Samuels, 1984), que concede una estructura levemente áspera al tejido dañado.

En la región Centro del estado de Guerrero que incluye la cañada de Mochitlán y el valle del Ocotito; se establecen siembras escalonadas durante los ciclos agrícolas de primavera-verano (PV) y otoño-invierno (OI). Una alternativa para combatir los efectos de esta enfermedad consiste en realizar el control químico con diferentes fungicidas pertenecientes a distintos grupos químicos, con resultados eficientes, pero incrementan los costos de producción del cultivo y el respectivo efecto en la rentabilidad del mismo. La segunda opción, es utilizar genotipos resistentes a la mancha de asfalto, y se considera la medida de control más eficaz, tanto económica como ambientalmente (Renfro, 1984; Singh y Rajaram, 2002). El objetivo de este trabajo fue evaluar e identificar genotipos de maíz resistentes al complejo mancha de asfalto en el estado de Guerrero.

5.3 MATERIALES Y MÉTODOS

5.3.1. Localidades de evaluación

La investigación se realizó en la región Centro del estado de Guerrero, durante el ciclo agrícola primavera - verano 2018. Los experimentos se establecieron en las fechas de siembra que se mencionan en el Cuadro 1, en las localidades de: Mochitlán, municipio de Mochitlán, Guerrero, con localización geográfica en 17° 28’ 13” de latitud N y 99° 22’ 13” de longitud O, altitud de 998 m, clima cálido subhúmedo, temperatura y precipitación media anual de 22° C y 1000 mm, respectivamente; y Cajeles perteneciente al municipio de Chilpancingo de los Bravo del estado de Guerrero, México, a una altitud de 760 m, coordenadas geográficas 17° 13’ 54” de latitud N y 99° 10’ 18” de longitud O, temperatura media anual de 26 °C y 1275 mm de precipitación.

Cuadro 1.- Ubicación y fecha de siembra de genotipos de maíz para evaluar su resistencia a la mancha de asfalto en el estado de Guerrero, 2018 PV.

Identificación	Localidad y municipio	Municipio	Fecha de siembra
L1	Mochitlán	Mochitlán	3 de julio del 2018
L2	Cajeles	Chilpancingo de los Bravo	6 de julio del 2018

5.3.2. Evaluación de maíces híbridos trilíneales

Se utilizaron 25 cruzas trilíneales de maíces blancos proporcionadas por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Estos maíces fueron generados por el cruzamiento de líneas puras que incluyen al menos una con tolerancia a la mancha de asfalto, estos cruzamientos fueron seleccionados después de varios ciclos de evaluación de híbridos experimentales en localidades del estado de Guerrero que se caracterizan por la presencia de la enfermedad referida (Cuadro 2).

Cuadro 2.- Genotipos evaluados para determinar el nivel de resistencia al complejo de la enfermedad mancha de asfalto, 2018 PV.

Número	Genealogía de los híbridos	Número	Genealogía de los híbridos
1	(T48 x CLWN247) x CML311	14	(CML550 x CLWN247) x T48
2	(T48 x CLWN247) x T49	15	(LT154 x CML549) x CLWN247
3	(T48 x LT154) x T49	16	(CML549 x LT156) x T49
4	(T48 x LT154) x CML549	17	(T49 x B41) x T48
5	(T48 x CLWN247) x LT154	18	(T47 x CML549) x CLWN247
6	(T48 x T49) x GNF	19	(H383 x LT154)
7	(T49 x CML549) x CLWN247	20	(T47 x LT154) x CLWN247
8	(T49 x CML549) x LT154	21	(CLRWN96 x PW97L) x CLWN247
9	(T49 x B41) x LT154	22	(CML550 x T48) x CLWN247
10	(T49 x B41) x CML549	23	(CLWN 247 x CML311) x T48
11	(T49 x B41) x GNF	24	(CML311 x CLWN247) x GNF
12	(CML550 x CLWN247) x LT156	25	(CLRWN96 x PW97L) x CLWN247
13	(LT154 x LT156) x CLWN247		

5.3.3. Diseño experimental

Los 25 genotipos evaluados se aleatorizaron conforme a un diseño látice triple 5 x 5, la parcela experimental consistió de dos surcos de cinco metros de largo, separados a 80 cm y distancia entre plantas de 40 cm, depositando tres semillas por golpe, para realizar un aclareo a dos plantas posterior a la emergencia y así obtener la densidad de población de 62,500 plantas por hectárea.

5.3.4. Manejo agronómico

Se preparó el terreno con un barbecho para romper e incorporar al suelo restos de rastrojo a una profundidad de 25-30 cm y así mejorar la penetración del agua. Posteriormente, se realizó un rastreo y surcado para preparar la cama de siembra, ayudando a eliminar la primera generación de malezas. La siembra se realizó de forma manual, después en estado de plántula se realizaron aclareos para homogenizar las plantas por surco. Para la fertilización en cada localidad se utilizó la dosis recomendada por el INIFAP que considera 90N-60P-00K, con la aplicación de 45N-60P-00K al momento de la siembra y 45N-00P-00K a los 40 días después de la siembra. El control de plagas consideró dos aplicaciones de químicos para el control del gusano cogollero en las dosis recomendadas por el fabricante (Lorsban™ Advanced, *i. a.* Clorpirifos etil). El control de malezas

se realizó de manera manual, en general el manejo agronómico se realizó conforme a las recomendaciones del paquete tecnológico para maíz en el estado de Guerrero (SAGARPA, 2015).

5.3.5. Evaluación del complejo mancha de asfalto

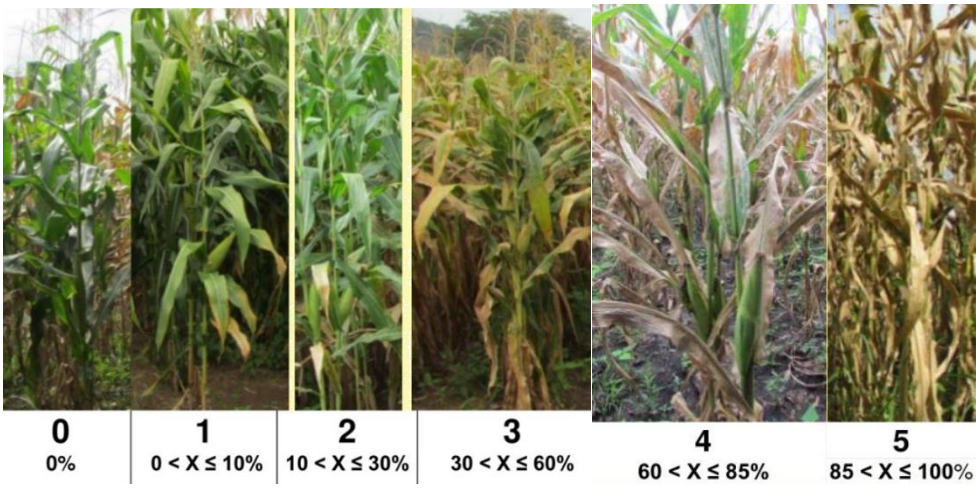
Para identificar los niveles de severidad se empleó la escala propuesta por Ceballos y Deutsch (1992) (Cuadro 3) y como referencia visual se utilizaron imágenes de la enfermedad (Figura 1). Se realizaron cuatro evaluaciones de la enfermedad; la primera se realizó a los 60 días después de la siembra (dds). Posteriormente, las evaluaciones se efectuaron a intervalos de cuatro a seis días, según lo observado en cada parcela. La incidencia de daños, fue medida en porcentaje de plantas con daño por la enfermedad, respecto del total de plantas evaluadas (Figura 1). Con las cuatro evaluaciones realizadas se calculó el área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE), mediante la fórmula publicada por Tooley y Grau, (1984). Se realizó una segunda calificación de la severidad de la enfermedad en planta y mazorca de manera visual mediante una escala ordinal de 1 a 5, donde 1 corresponde a plantas muy sanas y 5 a plantas con la mayor afectación por el complejo de la mancha de asfalto.

Cuadro 3. Escala de severidad utilizada para la evaluación visual del complejo de la mancha de asfalto (Ceballos y Deutsch, 1992).

Clase	Categoría	Área afectada (%)	Observaciones
0	Inmune o altamente resistente	0-2	Sin ninguna o muy pocas lesiones, todas en hojas inferiores a la mazorca.
1	Resistente	3-10	Algunas lesiones en hojas inferiores a la mazorca.
2	Moderadamente resistente	11-25	Muchas lesiones en hojas inferiores, algunas áreas necróticas, pero la mayor parte del área verde. Algunas lesiones en hojas superiores.
3	Moderadamente susceptible	26-50	Mayoría de las hojas inferiores del área a la mazorca necrosadas, muchas lesiones cerca de unirse en hojas superiores.

4	Altamente susceptible	51-80	Sin tejido verde en hojas inferiores, considerable área foliar necrosada en hojas superiores.
5	Extremadamente susceptible	>80	Planta muerta o con muy pocas áreas verdes.

A



B

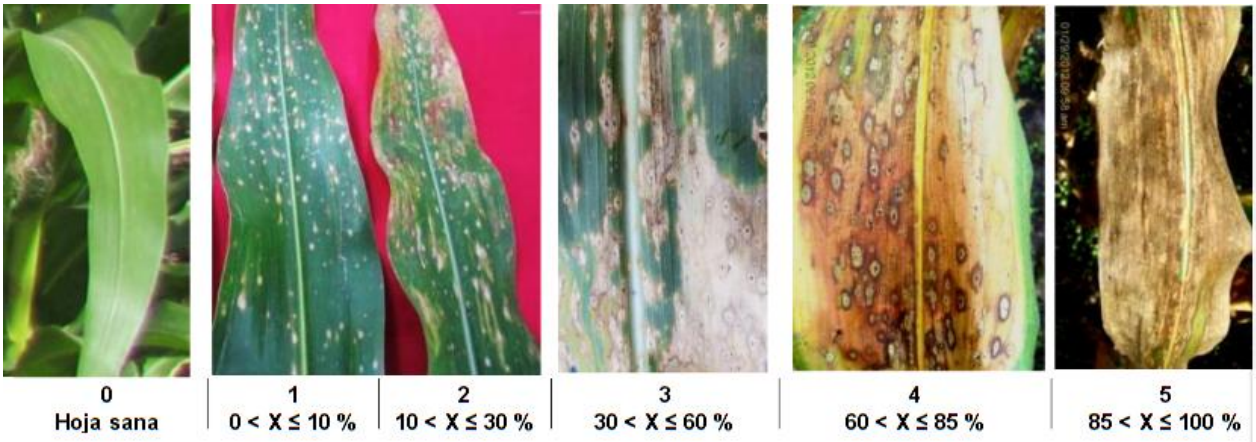


Figura 1. Severidad de daño a nivel de planta (A) y hoja (B) con valores ordinal y rango porcentual (Garrido *et al.*, 2017; Quiroga *et al.*, 2017)

5.3.6. Variables agronómicas

Se cuantificaron las variables de tipo morfológico, que incluyeron: altura de planta (AP), se registró en centímetros y se utilizó un estadal, la altura total se consideró desde la base de la planta en el suelo hasta la punta de la espiga. La altura de mazorca (AMZ), se expresó en centímetros y se obtuvo con un estadal, se contabilizo desde la base de la planta en el suelo hasta el nudo donde se encuentra la mazorca principal. El número de mazorcas podridas (MZPD) se tomó al momento de la cosecha e incluyó el número total de mazorcas dañadas por pudrición. Calificación de planta (CALP), se asignaron valores a partir de la apreciación visual de las plantas en la parcela experimental, para ello se consideran atributos como: la uniformidad, el daño causado por enfermedades e insectos y acame, principalmente. La escala asignada fue del 1 al 5, donde: 1 corresponde a una planta sana y 5 a una muy deficiente. Calificación de mazorca (CAMZ), se determinó visualmente en las mazorcas cosechadas en cada unidad experimental, se tomó como referencia las siguientes características: uniformidad, tamaño, daño causado por insectos y enfermedades y llenado de grano. La escala que se aplicó fue del 1 al 5, donde 1 presentó un daño mínimo y 5 daños muy severos. Calificación de enfermedad (CALENF), contempló una apreciación visual de enfermedades en la planta, para cada uno de los materiales evaluados, con calificaciones de 1 a 5, donde 1 hace referencia a poca o nula presencia de enfermedades y 5 un daño muy severo, esta calificación final de enfermedades se efectuó en madurez fisiológica. Rendimiento de grano, se calculó en kg ha^{-1} de grano por hectárea, para ello, se tomaron las variables número de plantas y mazorcas por parcela, así como, el peso de campo de las mazorcas en kilogramos, se determinó la humedad del grano mediante una muestra de cinco mazorcas, para realizar los ajustes necesarios.

5.3.7. Análisis estadístico

Se realizó un análisis de varianza por localidad y combinando las dos localidades, mediante el procedimiento PROC GLM de SAS (Statistical Analysis System) versión 9.0 (SAS, 2002). Posteriormente, se realizaron comparaciones múltiples de medias con la prueba de Tukey, para determinar la existencia de variación entre los genotipos evaluados y así identificar materiales sobresalientes por su resistencia al complejo mancha de asfalto. Los análisis se realizaron con el paquete estadístico SAS Versión 9.0. El área bajo la curva de progreso de la enfermedad se calculó en el programa R versión 3.6.2 mediante la paquetería agricolae (Mendiburu, 2020).

5.4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización del área de influencia de los experimentos

En relación con los daños reportados en las comunidades de Mochitlán y Cajeles, se corroboró lo que mencionan Pereyda *et al*., (2009), respecto a la siembra de un alto número de híbridos y variedades de maíz para explorar una gran variabilidad genética. El área agrícola de Mochitlán y Cajeles se encuentra a 23 y 50 km de la ciudad de Chilpancingo, respectivamente, donde una parte de los productos agrícolas de maíz se comercializan como elote. En ambas localidades se tuvo la presencia en diferente grado complejo de la mancha de asfalto, identificada principalmente por manchas oscuras en las hojas de la planta, rodeadas de forma elíptica por un halo que semeja al ojo de pescado, síntomas típicos del complejo de la enfermedad mancha de asfalto.

5.4.1. Materiales de evaluación (Mochitlán y Cajeles).

En las dos localidades, las siembras fueron tardías lo cual favoreció la presencia de la mancha de asfalto. Todos los materiales evaluados se infestaron del CMA, pero con diferente nivel de severidad. Las variables de calificación de mazorca y rendimiento, solo se cuantificaron en Cajeles, ya que en Mochitlán, se presentó un incidente en la cosecha que adelanto el productor cooperante.

5.4.2. Análisis de varianza

El análisis de varianza de la localidad de Mochitlán, Guerrero, indicó diferencias significativas (P≤ 0.05) para la fuente de variación tratamientos en las variables calificación de planta y calificación de enfermedad de los 25 híbridos trilíneales de maíz evaluados durante el ciclo agrícola P-V 2018. Para las variables altura de planta, altura de mazorca y severidad de enfermedad, se observaron diferencias altamente significativas (P≤ 0.01). Lo anterior, permite identificar materiales sobresalientes por las características mencionadas. En la variable área bajo la curva del progreso de la enfermedad, no hubo significancia estadística principalmente debido a que la enfermedad solo se presentó de manera tardía, lo cual podría indicar también niveles bajos de variación por el bajo número de genotipos, sin embargo, entre los materiales evaluados se identificaron genotipos con valores bajos para el ABCPE y la última evaluación de severidad, lo cual es deseable para seleccionar genotipos con tolerancia a la mancha de asfalto, los genotipos sobresalientes para Mochitlán fueron: (T49 x CML549) x LT154, (CML550 x T48) x CLWN247, (T49 x B41) x CML547, (LT154 x LT156) x CLWN247, (T49 x B41) x T48. Los coeficientes de variación se encuentran en rangos aceptables, de esta manera consideramos que la información recabada del experimento es válida (Cuadro 4).

Cuadro 4. Análisis de varianza de la información obtenida en la localidad de Mochitlán, Guerrero, para 25 híbridos de maíz en la región Centro del estado de Guerrero, ciclo primavera-verano 2018.

Fuente de variación	Cuadrado de la media (Trat)	Media	Máximo	Mínimo	CV (%)
SEVF	0.09^{**}	4.5	5.0	4.3	5.3
ABCPE	11.43^{ns}	50.4	54.6	47	5.6
AP	616.3**	282.3	310.6	234	6.0
AMZ	181.7^{**}	116.9	129	106	8.8

CALP	0.27*	2.5	3.2	2.0	12.7
CENF	0.40*	2.7	3.5	2.1	9.0

*P≤ 0.05, **P≤ 0.01, NS: no significativo, FV: fuente de variación, SEVF: severidad final, ABCPE: área bajo la curva del progreso de la enfermedad, AP: altura de planta, AMZ: altura de mazorca, CALP: calificación de planta, CENF: calificación de enfermedad.

El análisis de varianza de las variables cuantificadas en Cajeles, permitió identificar diferencias significativas (P≤0.05) en la fuente de variación tratamientos, para las variables calificación de planta, calificación de enfermedad, calificación de mazorca y rendimiento. En las variables de severidad, área bajo la curva del progreso de la enfermedad, altura de planta, altura de mazorca, no reflejaron diferencias significativas estadísticamente, de igual manera, se identificaron genotipos con el menor índice de daño, permitiendo identificar como sobresalientes a (CML311 x CLWN247) x GNF, (LT154 x LT156) x CLWN247, (T49 x CML549) x LT154, (CLRWN96 x PW97L) x CLWN247, (CML550 x CLWN247) x LT156, (Cuadro 5).

Cuadro 5. Análisis de varianza para la localidad de Cajeles, Guerrero, de los 25 híbridos de maíz en la zona centro del estado de Guerrero, ciclo primavera-verano 2018.

Fuente Variación	**Cuadrado de la media (Trat)**	**Media**	**Máximo**	**Mínimo**	**CV**
SEVF	0.25^{ns}	2.5	3.2	2.1	20.6
ABCPE	11.2^{ns}	32.7	36.5	28.1	11.0
AP	354.9^{ns}	252	277	215	8.8
AMZ	178^{ns}	97	111	68	13.6
CALP	0.24*	2.6	3.5	2.1	10.4
CENF	0.71*	3.9	4.8	3.1	9.4
CMZ	0.25*	2.56	3.5	2.1	11.6
REN	0.82*	4.07	5.2	3.0	14.4

*:P≤ 0.05, **:P≤ 0.01, NS: no significativo, FV: fuente de variación, SEVF: severidad final, ABCPE: área bajo la curva del progreso de la enfermedad, AP: altura de planta, AMZ: altura de mazorca, CALP: calificación de planta, CENF: calificación de enfermedad, CMZ: Calificación de mazorca, REN: rendimiento.

Análisis combinado de Mochitlán y Cajeles

La fuente de variación correspondiente a tratamientos dentro de localidades, no presentó significancia estadística para ninguna de las variables evaluadas. Esto indica que los tratamientos en ambas localidades tuvieron una expresión similar. En la fuente de variación grupo dentro de localidades, se detectaron significancias estadísticas (P≤0.05) en las variables calificación de planta, calificación de enfermedad, área bajo la curva del progreso de la enfermedad. En las variables restantes no se presentó significancia estadística. En este último caso, se indica que las variables evaluadas en cada una de las repeticiones (grupos) al interior de localidades, presentaron resultados similares, con lo cual se disminuye el error experimental (Cuadro 6).

Cuadro 6. Análisis de varianza combinado para las localidades de Mochitlán y Cajeles, Guerrero, de los 25 híbridos de maíz en la zona centro del estado de Guerrero, ciclo primavera-verano 2018.

Fuente Variación	Cuadrado de la media (Trat)	Media	Máximo	Mínimo	CV
SEVF	0.14^{ns}	3.5	3.9	3.2	11.4
ABCPE	13.4^{ns}	41.5	44	38.4	7.8
AP	662.3**	267.0	285.5	224.3	7.4
AMZ	184.7^{ns}	106.8	117.3	88.5	11.0
CALP	0.40*	2.6	3.2	2.1	11.6
CENF	1.01*	3.3	4.05	2.6	9.4
CMZ	0.25*	2.5	3.5	2.1	11.6

REN	0.82*	4.07	5.2	3	14.4

*:P≤ 0.05, **:P≤ 0.01, NS: no significativo, FV: fuente de variación, SEVF: severidad final, ABCPE: área bajo la curva del progreso de la enfermedad, AP: altura de planta, AMZ: altura de mazorca, CALP: calificación de planta, CENF: calificación de enfermedad, CMZ: Calificación de mazorca, REN: rendimiento.

En el análisis de varianza de las localidades de Mochitlán y Cajeles en la fuente de variación Localidades, la variable altura de planta presentó alta significancia estadística (P≤0.01), las variables calificación de planta, calificación de enfermedad, calificación de mazorca y rendimiento tuvieron significancia estadística (P≤0.05), en los casos de severidad, área bajo la curva del progreso de la enfermedad y altura de mazorca no presentaron significancia estadística. La existencia de la significancia estadística para las variables se atribuye a diferencias climáticas, de suelo y humedad, principalmente, que propician que los genotipos evaluados tengan un comportamiento diferenciado. En el caso de la variable ABCPE no existió significancia estadística e indica que los 25 tratamientos estudiados tuvieron un comportamiento estadísticamente similar para esta variable debido a que en las primeras etapas no se presentó la incidencia de la enfermedad. La existencia de significancia estadística en las variables previamente mencionadas, indica la presencia de variabilidad en los genotipos evaluados que permite seleccionar los sobresalientes en función de los objetivos que se persiguen en el proceso de fitomejoramiento efectuado.

Cuadro 7. Cuadrados medios y significancia estadística del análisis de varianza combinado, para 25 híbridos de maíz en la zona Centro del estado de Guerrero, ciclo primavera verano, 2018.

FV	Loc	Group (Loc)	Treat	Loc*Trat
SEVF	44.7*	6.1*	0.5**	0.3^{ns}
ABCPE	11651.2*	166.6*	13.4ns	9.3^{ns}
AP	35144.1*	1455.9*	662.3**	308.9^{ns}

AMZ	15511.8*	111.3^{ns}	184.7^{ns}	175.2^{ns}
CALP	1.31^{ns}	0.85^{ns}	2.56*	0.7^{ns}
CENF	84.4*	0.43**	1.5*	0.1^{ns}
CMZ	--	0.2^{ns}	0.2*	--
REN	--	0.9^{ns}	0.8*	--

* P≤ 0.05, ** P≤ 0.01, FV: fuente de variación, SEVF: severidad final, ABCPE: área bajo la curva del progreso de la enfermedad, AP: altura de planta, AMZ: altura de mazorca, CALP: calificación de planta, CENF: calificación de enfermedad, CMZ: Calificación de mazorca, REN: rendimiento.

5.4.3. Comparación de medias de tratamientos

En la prueba de comparación de medias Tukey (P≤0.05), aplicada a los 25 genotipos establecidos en la localidad de Mochitlán, se observaron para cada variable en estudio, genotipos superiores. En la variable de severidad se tuvo alta significancia estadística, esto permitió identificar a los genotipos (T49 x B41) x LT154, (T49 x CML549) x LT154, (CLWN 247 x CML311) x T48, con menor índice de daño generado por la mancha de asfalto. En las variables de calificación de planta y calificación de enfermedad, también se presentó significancia estadística entre los materiales. En la variable del área bajo la curva del progreso de la enfermedad no hubo significancia, sin embargo, se identificaron a los genotipos (T49 x B41) x LT154, (T47 x CML549) x CLWN247, (T48 x CLWN247) x T49, como sobresalientes por el menor índice de daño del complejo mancha de asfalto; así mismo, se pudo identificar a los genotipos (T48 x LT154) x T49, (T48 x T49) x GNF, (T49 x B41) x GNF, como los más susceptibles, para la localidad de Mochitlán.

Cuadro 8. Evaluación de 25 híbridos de maíz en la localidad de Mochitlán, región Centro del estado de Guerrero, Guerrero, ciclo primavera-verano 2018.

GENOTIPO	TRAT	SEVF	ABCPE	CALP	CALENF
(T49 x CML549) x LT154	8	4.33 a	49.00 a	2.00 b	2.10 f
(CML550 x T48) x CLWN247	22	4.33 a	49.00 a	2.23 ab	2.20 ef
(LT154 x LT156) x CLWN247	13	4.33 a	49.00 a	2.36 ab	2.50 cdef
(T49 x B41) x T48	17	4.33 a	48.16 a	2.43 ab	2.56 bcdef
(T49 x B41) x CML549	10	4.33 a	50.66 a	2.36 ab	2.50 cdef
(T48 x LT154) x T49	3	4.33 a	49.83 a	2.33 ab	2.46 cdef
(T48 x CLWN247) x T49	2	4.33 a	47.83 a	2.36 ab	2.43 def
(CML550 x CLWN247) x LT156	12	4.66 a	50.16 a	2.00 b	2.30 def
(CML311 x CLWN247) x GNF	24	4.66 a	54.66 a	2.36 ab	2.10 f
(T48 x LT154) x CML549	4	4.66 a	52.66 a	2.36 ab	2.43 def

SEVF: severidad final, ABCPE: área bajo la curva del progreso de la enfermedad, CALP: calificación de planta, CENF: calificación de enfermedad.

En la pruebas de comparación de medias de Tukey ($P \leq 0.05$), aplicada para los 25 genotipos en la localidad de Cajeles, su pudieron observar en cada una de las variables evaluadas, materiales tolerantes a enfermedades, en las variables calificación de planta, calificación de enfermedad, calificación de mazorca y rendimiento, hubo diferencia estadística significativa entre los materiales evaluados, para las variables de área bajo la curva del progreso de la enfermedad y la última evaluación de severidad no reflejaron diferencias estadísticas; sin embargo, al aplicar las pruebas de Tukey se identificaron genotipos con el menor índice de daño ante el complejo de la enfermedad mancha de asfalto materiales como (T47 x CML549) x CLWN247, (LT154 x CML549) x CLWN247, (T48 x T49) x GNF , (CML311 x CLWN247) x GNF, (LT154 x LT156) x CLWN247, (T49 x CML549) x LT154, estos tres últimos comparten los mejores rendimientos para esta localidad, por otra parte se separaron los materiales más susceptibles, para la misma localidad.

Shaner y Hess (1978), comentan que el tiempo de aparición de los síntomas tiene efecto en la curva del progreso de la enfermedad y provoca una extensión de infección en tiempo ya que en la localidad de Cajeles hubo menor incidencia durante el tiempo de las evaluaciones, esto podría deberse a las condiciones ambientales que se diferenciaron entre ambas localidades.

Cuadro 9. Comparación de medias sobresalientes de cuatro variables evaluadas de 25 híbridos experimentales de maíz en la localidad de Cajeles, región Centro del estado de Guerrero, ciclo primavera-verano 2018.

GENOTIPO	TRAT	SEVF	ABCPE	CALP	CALENF	CALM	REND
(CML311 x CLWN247) x GNF	24	2.20 a	31.83 a	2.13 b	3.33 cd	2.20 c	5.26 a
(CML550 x T48) x CLWN247	22	2.26 a	32.66 a	2.26 b	3.16 d	2.26 bc	4.54 ab
(CML550 x CLWN247) x LT156	12	2.30 a	30.50 a	2.23 b	3.16 d	2.30 bc	4.60 ab
(T49 x CML549) x LT154	8	2.36 a	32.50 a	2.36 b	3.16 d	2.36 bc	4.50 ab
(T48 x LT154) x T49	3	2.30 a	32.16 a	2.23 b	3.33 cd	2.30 bc	3.93 ab
(T47 x CML549) x CLWN247	18	2.10 a	32.66 a	2.46 b	3.50 bcd	2.10 c	4.83 ab
(LT154 x LT156) x CLWN247	13	2.43 a	32.16 a	2.46 b	3.76 abcd	2.43 bc	3.96 ab
(CLRWN96 x PW97L) x CLWN247	25	2.43 a	31.83 a	2.50 b	3.83 abcd	2.43 bc	4.29 ab
(LT154 x CML549) x CLWN247	15	2.20 a	33.83 a	2.70 ab	3.83 abcd	2.20 c	4.17 ab

(CML550 x CLWN247) x T48	14	2.43 a	33.00 a	3.00 ab	4.00 abcd	2.43 bc	4.24 ab

SEVF: severidad final, ABCPE: área bajo la curva del progreso de la enfermedad, CALP: calificación de planta, CENF: calificación de enfermedad, CALM: calificación de mazorca, REND: rendimiento

5.4.4. Comparación de medias del análisis conjunto.

En la comparación de medias aplicando la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$), las variables, calificación de enfermedad, de planta y de mazorca, tuvieron significancia estadística, sin embargo, la última evaluación de severidad y área bajo la curva del progreso de la enfermedad no mostraron diferencias significativas. Para el caso de severidad los tratamientos 18, 22, 3, 8, 13, 17 y 10 reflejaron los valores más bajos; de igual manera, para el área bajo la curva del progreso de la enfermedad, los materiales con menor índice de daño fueron 6, 9, 2, 18 y 17, respectivamente. Con esta información se puede indicar que estos materiales fueron menos afectados por el complejo de la enfermedad mancha de asfalto indicando que los genotipos tuvieron un alto margen de respuesta a la infección por *P. maydis* y *M. maydis*, fenotípicamente se observaron desde plantas con el mínimo de síntomas hasta alto número de plantas con mayor porcentaje de lesiones y un rápido desarrollo, lo que podría coincidir con lo mencionado por (Vasa *et al*,. 1992). Lo cual se puede explicar por haber detectado una mayor resistencia a nivel genético del híbrido evaluado o bien a que estos tratamientos tuvieron un escape a la enfermedad por otros mecanismos.

Cuadro 10. Medias sobresalientes en el análisis combinado, de cuatro variables evaluadas de 25 híbridos experimentales de maíz región Centro del estado de Guerrero, ciclo primavera-verano 2018.

GENOTIPOS	TRAT	SEVF	ABCPE	CALP	CALENF
(CML550 x T48) x CLWN247	22	3.30 a	40.83 a	2.25 cde	2.68 ij
(T49 x CML549) x LT154	8	3.35 a	40.75 a	2.18 de	2.63 j
(T49 x B41) x T48	17	3.41 a	40.16 a	2.55 bcde	3.20 defghij
(LT154 x LT156) x CLWN247	13	3.38 a	40.58 a	2.41 bcde	3.13 fghij
(T49 x B41) x CML549	10	3.41 a	41.83 a	2.41 bcde	3.16 efghij
(CML311 x CLWN247) x GNF	24	3.43 a	43.25 a	2.25 cde	2.71 ij
(CML550 x CLWN247) x LT156	12	3.48 a	40.33 a	2.11 e	2.73 ij
(T48 x CLWN247) x T49	2	3.46 a	39.83 a	2.55 bcde	2.96 hij
(T48 x LT154) x T49	3	3.31 a	41.00 a	2.28 cde	2.90 hij
(T47 x CML549) x CLWN247	18	3.21 a	40.00 a	2.48 bcde	3.10 fghij

SEVF: severidad final, ABCPE: área bajo la curva del progreso de la enfermedad, CALP: calificación de planta, CENF: calificación de enfermedad.

5.5.CONCLUSIONES

En la evaluación de híbridos trilíneales de maíz en la región Centro del estado de Guerrero, se tuvo presencia de la mancha de asfalto en las dos localidades experimentales, esto permitió la identificación de los materiales (T49 x CML549) x LT154, (T49 x B41) x T48, (LT154 x LT156) x CLWN247, (CML311 x CLWN247) x GNF, (T49 x B41) x LT154, como los más resistentes al complejo mancha de asfalto. Estos maíces híbridos también presentaron características favorables como: rendimientos intermedios,

5.6.AGRADECIMIENTOS

Al CONACYT por el apoyo al otorgarme una beca para el desarrollo del trabajo de investigación descrito, a la Maestría en Ciencias Agropecuarias y Ambientales y Gestión Local por brindarme el espacio para mi desarrollo y mejora académicamente.

Al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y pecuarias. INIFAP, y al proyecto de “Obtención de híbridos y variedades de maíz para áreas de temporal en el trópico de México”, por el financiamiento para el establecimiento del experimento.

5.7. LITERATURA CITADA

Ceballos, H.; Deutsch, J. A. 1992. Inheritance of resistance to Tar Spot Complex in maize. Phytopathology 82:505-512.

Castellano, M. 2014. Reconozca y controle mancha de asfalto en maíz. Programa de Manejo Integrado de Plagas en América Central. Escuela Agrícola Panamericana Zamorano.

FAO. 2018. Producción mundial del maíz. Internet. http://faostat3.fao.org/faostat-gateway/go/to/download/Q/QC/. Fecha de consulta: 24/11/2020.

Mendiburu F. y M. Yaseen 2020. Agricolae: Procedimientos estadísticos para la investigación agrícola. Paquete R versión 3.6.2, https://myaseen208.github.io/agricolae/https://cran.r-project.org/package=agricolae.

Gómez, M. N. O., González, C. M., Cantú, A, M. A., Sierra, M. M., Coutiño, E. B., & Manjarrez, S. M., (2013). 'H-563', híbrido de maíz tropical tolerante a la enfermedad "Mancha de asfalto". *Revista fitotecnia mexicana*, *36*(1), 81-83. Recuperado en 14 de diciembre de 2020,

Gómez, M. N., J. C. Cañedo, M. A. Cantú, y R. S. Cruzaley. 1993. VS-535, nueva variedad sintética de maíz para regiones cálidas de Guerrero y áreas similares. INIFAP. Folleto Técnico 3. Iguala, Guerrero, México. 12 p.

González C. M. 2013. Nuevos métodos de control de la mancha de asfalto del maíz. Fichas Tecnológicas Sistema Producto (Nueva Tecnología). Instituto Nacional de Investigaciones, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). CIRPAS, CE Iguala, Iguala, Gro. 2 p

Hamlin, R.T. 1999. Combined Keys to Illustrated Genera of Ascomycetes. Vol. I y II. APS Press. St. Paul. Minnesota. pp: 63-64.

Hock, J., J. Kranz, y B. L. Renfro. 1989. El “complejo mancha de asfalto” de maíz, su distribución geográfica, requisitos ambientales e importancia económica en México. Revista Mexicana de Fitopatología. 7: 129-135.

Maublanc, A. 1904. Espéces nouvelles de champignons inferieurs. Bull. Soc. Myc. Fr. 20:72.

Müller, E.; Samuels, J. G.; 1984. Monographella maydis sp. nov. and its connection to the tar spot disease in *Zea mays*. Nova Hedwigiam40: 113-121.

Paliwal, L. R.; 2001. Mejoramiento para resistencia a las enfermedades. En Paliwal, L R.; Granados, G.; Renée, L. H.; Violic, D. A.; 2001. El maíz en los trópicos: mejoramiento y producción. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma FAO. ISBN 978-92-5-304457-3.

Parbery, D. G. 1967. Studies on graminicolous species of *phyllachora* Nke. I. Aust. J. Bot. 11: 117-130.

Pereyda-Hernández, Juan, & Hernández-Morales, Javier, & Sandoval-Islas, J. Sergio, & Aranda-Ocampo, Sergio, & León, Carlos de, & Gómez-Montiel, Noel (2009). Etiología y manejo de la mancha de asfalto (*Phyllachora maydis* Maubl.) del maíz en Guerrero, México. Agrociencia, 43(5),511-519.[fecha de Consulta 14 de Diciembre de 2020]. ISSN: 1405-3195. Disponible en: https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=302/30211289006

Quiroga, M. R., Garrido, R. E., Rosales, E. M. y Salazar, P. W. 2017. Manual técnico: Manejo integrado del complejo de mancha de asfalto del maíz en México. Universidad. Autónoma. De Chiapas. México. 39 p.

Renfro B. L. (1984) Breeding methods and genetic control of disease resistance in tropical maize. *Review of Tropical Plant Pathology* 1:225-244.

Toley P. W. and C. R. Grau (1984) Field characterization of rate-reducing resistance to *Phytophthora megasperma* f. sp. *glycinea* in soybean. Phytopathology 74:1201-1208.

SAS Version 9.0. 2002 Statistical Analysis System. Copyright by SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2020. Cierre de la producción agrícola (SIAP 1980-2019). México, D.F. disponible en línea: https://nube.siap.gob.mx(cierreagricola/ (consultado noviembre, 2020).

Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). 2015. Agenda Técnica Agrícola Guerrero. Paquete Tecnológico de Maíz Temporal. 2ª ed. Guerrero. México. pp 49-52.

Singh, R. P.; Rajaram, S.; 2002. Breeding for disease resistance in wheat. In Curtis, B. C.; **Rajaram, S.; Gomez, M. H. (Eds.). 2002**. Bread wheat: Improvement and Production. FAO Plant Production and Protection Series No. 30. ISBN 92-5-104809-6.

6. CAPÍTULO II RESPUESTA DE NUEVOS HÍBRIDOS TRILINEALES DE MAÍZ AL COMPLEJO DE LA MANCHA DE ASFALTO, EN GUERRERO, MÉXICO.

6.1 RESUMEN

La enfermedad de la mancha de asfalto toma mayor relevancia año con año, provocando limitantes en las principales zonas productoras de maíz en el estado de Guerrero y otros estados de la República Mexicana. Se necesitan generar alternativas para afrontar dicha problemática, una de las más importantes es la generación de maíces mejorados que incorporen la resistencia genética a la enfermedad. El objetivo de este estudio fue evaluar la tolerancia a la mancha de asfalto en 49 nuevos maíces híbridos experimentales prospectos por tolerancia a la enfermedad. La investigación se realizó en el ciclo primavera verano 2018, en las localidades de Mochitlán y Cajeles de la región Centro del estado de Guerrero, se utilizó un diseño experimental de látice triple 7x7, las variables evaluadas fueron: calificación de planta, enfermedad y mazorca; rendimiento de grano, área bajo la curva del progreso de la enfermedad, severidad, altura de planta y mazorca. Se realizaron análisis estadísticos por localidad y un análisis combinado de las variables; los resultados mostraron diferencias significativas principalmente en la fuente de variación localidad. Se identificaron genotipos sobresalientes en ambas localidades con cierta tolerancia al complejo de la mancha de asfalto, específicamente destacan: (GNDE x GNF) x CLWN247, (LT164 x LT165) x PW91, (T47 x CLWN247) x LT154, (T49 x LT156) x LT154, (LT164 x LT165) x CLWN247. En los genotipos sobresalientes por su tolerancia a la enfermedad; también, se identificaron tres que adicionalmente presentan altos rendimientos. Con la información obtenida se debe valorar la pertinencia de liberación comercial de algún híbrido con tolerancia a la mancha de asfalto, o

bien, continuar con las evaluaciones futuras de los materiales para corroborar su resistencia a la mancha de asfalto, en un rango mayor de localidades donde se localiza la enfermedad.

PALABRAS CLAVE: *Phyllachora maydis* Maubl., *Monographella maydis* Müller & Samuels y *Coniothyrium phyllachorae* Maubl., *Zea mays* L., resistencia a enfermedades.

ABSTRACT

The tar spot stain disease becomes more relevant year after year, causing limitations in the main corn producing areas in the state of Guerrero and other states of the Mexican Republic. Alternatives need to be generated to face this problem, one of the most important is the generation of genotypes with certain genetic resistance to the tar spot complex disease. This study was carried out with the objective of developing alternatives with tolerant genotypes for the control of tar spot in 49 experimental hybrid maize, for the subtropical zones in the state of Guerrero. The research was carried out in the spring summer 2018 cycle, in the towns of Mochitlán and Cajeles in the central region of the state of Guerrero, an experimental design of a 7x7 lattice was used with three repetitions, the variables evaluated were: plant rating, disease and cob; yield, area under the curve of disease progression, severity, plant and ear height. Individual analyzes were carried out by locality and a combined analysis of the variables, the results showed significant differences mainly in the sources of local variation, outstanding genotypes were determined in both localities with a certain tolerance to the tar spot complex, initially in general they stand out : (GNDE x GNF) x CLWN247, (LT164 x LT165) x PW91, (T47 x CLWN247) x LT154, (T49 x LT156) x LT154, (LT164 x LT165) x CLWN247, the five materials expressed tolerance; Likewise, three genotypes share the best yields; the most outstanding materials were identified by reducing the number of tolerant

prospects for possible evaluations, in a greater range of locations where the tar spot problem is found.

KEY WORDS: *Phyllachora maydis* Maubl., *Monographella maydis* Müller & Samuels and *Coniothyrium phyllachorae* Maubl., *Zea mays* L., disease resistance.

6.2 INTRODUCCIÓN

A nivel mundial el maíz (*Zea mays* L.) es el cultivo de mayor importancia, se considera el alimento básico de la población mexicana, sembrándose 7.2 millones de ha^{-1} (SIAP, 2019), con producción de 27,228,242 t, y rendimiento promedio de grano de 4.07 t ha^{-1}. En el estado de Guerrero el cultivo de maíz es la actividad agrícola predominante, se siembran 491,301 ha^{-1}, con una producción de 1,292,294.44 t y rendimiento promedio de grano de 2.8 t ha^{-1} (SIAP, 2019).

El maíz ha sido durante más de miles de años el cultivo base a mejorar por el hombre, iniciándose con la técnica de selección masal metodología más utilizada a lo largo del tiempo. De esta manera, la siembra del maíz en diversos ambientes, permitió generar una amplia variabilidad genética que se atribuye a esta especie (Coyac *et al*., 2013) y que es de gran utilidad para el mejoramiento, el cual se puede realizar mediante dos grandes métodos, la selección e hibridación, en los cuales se mejoran diferentes características entre ellas la resistencia a las enfermedades en cultivos agrícolas.

El mejoramiento genético del maíz y otros cultivos es necesario para incrementar su productividad y la calidad de sus productos. El maíz se encuentra expuesto a una diversidad de factores que provocan pérdidas en la calidad y cantidad de sus granos; el potencial genético del cultivo es condicionado por distintos factores, como ambientes desfavorables, baja fertilidad de los suelos, malezas y las pérdidas provocadas por la acción de diferentes plagas y enfermedades (Paliwal, 2001). Entre las enfermedades de importancia económica para el cultivo, se encuentran las que afectan el follaje y de ellas destaca la mancha de asfalto por su creciente distribución y efectos negativos.

La distribución de la enfermedad del complejo mancha de asfalto, se han reportado en gran cantidad de países del continente americano, desde el centro sur de Sudamérica como en Brasil (Watson, 1971), hasta los Estados Unidos de América en el Norte (Cline, 2005; Ruhl *et al*., 2016; McCoy *et al,* 2018), pero en las zonas Tropicales de México es donde se han tenido lo daños más graves, al igual que en algunos países de centro América y Colombia (Bajet *et al*., 1994; Hock *et al*., 1995). En México, en los años 80´s inició su propagación con daños considerables en la producción y la económica, a pesar de haber sido descrita desde 1904. En la actualidad el complejo de la enfermedad mancha de asfalto se reporta en diferentes estados del centro y sur de la República Mexicana, en el estado de Guerrero esta enfermedad se mantiene en las zonas de mayor producción, principalmente en condiciones son favorables para su desarrollo en cuanto a condiciones ambientales de alta humedad relativa, su área de infestación se presenta desde los 800 a los 2400 msnm (Hock *et al.,* 1989), en la actualidad, año con año existen reportes de la presencia del complejo de mancha de asfalto en zonas más templadas. La zona centro del estado de Guerrero, en especial la cañada de Mochitlán y el valle del Ocotito, el cultivo del maíz es de forma permanente entre los ciclos agrícolas de primavera-verano y otoño-invierno, por lo que es difícil contar el ciclo de reproducción de la enfermedad, lo cual favorece la presencia de la mancha de asfalto. Ante ello, los productores utilizan principalmente el control químico para tratar de contener la enfermedad, sin embargo, les genera un incremento en los costos de producción, por eso es importante ofrecer alternativas al control de la mancha de asfalto, una de ellas es la generación de genotipos resistentes a la enfermedad, considerado como la alternativa más eficaz para los productores desde el punto de vista económico (Gómez *et al*., 2013) y ambiental. El objetivo del experimento fue identificar genotipos tolerantes a esta enfermedad, en 49 nuevos maíces híbridos experimentales.

6.3 MATERIALES Y MÉTODOS

6.3.1 Localidades de evaluación

El estudio se realizó bajo condiciones de temporal en el ciclo de temporal primavera verano 2018, se estableció un experimento en las localidades de Mochitlán, municipio de Mochitlán y Cajeles, Cajelitos, ambos pertenecientes a la región Centro del estado de Guerrero. Las fechas de siembra fueron, el 3 y 6 de julio de 2018 para Mochitlán y Cajeles, respectivamente. Mochitlán se encuentra a 23 kilómetros de Chilpancingo con ubicación geográfica en las coordenadas 17° 28’ 13” de latitud N y 99° 22’ 13” de longitud O, altitud de 998 m, clima cálido subhúmedo, temperatura y precipitación media anual de 22° C y 1000 mm. La localidad de Cajeles se encuentra a 45 kilómetros de Chilpancingo, a una altitud de 760 m, en las coordenadas geográficas 17° 13’ 54” de latitud N y 99° 10’ 18” de longitud O, temperatura media anual de 26 °C y 1275 mm de precipitación.

6.3.2. Material genético

Los genotipos evaluados fueron proporcionados por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). En total se evaluaron 49 nuevas cruzas trilíneales de maíces blancos, estos materiales experimentales se generaron en el programa de mejoramiento genético de Iguala-INIFAP y se formaron con líneas puras que al menos tuvieran una línea tolerante homocigotas con tolerancia a la mancha de asfalto, estas cruzas se seleccionaron después de ser evaluadas durante varios años, en distintas localidades del estado de Guerrero, donde se presentan las condiciones ambientales para la presencia del complejo mancha de asfalto (Cuadro 1).

Cuadro 1.- Materiales evaluados para determinar el nivel de resistencia al complejo de mancha de asfalto.

Número	Genealogía de los híbridos	Número	Genealogía de los híbridos
1	(T48 x T47) x LT154	26	(LT164 x LT165) x CLWN247
2	(T48 x T47) x CLWN247	27	(B41 x B49) x LT154
3	(T48 x T47) x T49	28	(CLRCWN96 x LT154) x CLWN247
4	(T48 x T47) x CML311	29	(CML549 x CLWN216) x CML311
5	(T48 x T49) x CLWN247	30	(CLRCWN96 x PW97L) x LT154
6	(T11 x LT154) x CML311	31	H383 x ST30
7	(T49 x CML269) x LT154	32	(CML264 x CML269) x T49
8	(T49 x CML269) x CML549	33	(CML549 x B41) x T49
9	(T49 x CML269) x GNF	34	(H561 x PW91)
10	(CML550 x T49) x LT154	35	(D1 x GNF) x T49
11	(CML550 x T49) x CML549	36	(CML311 x CLWN247) x LT154
12	(LT154 x T49) x T48	37	H383 x LT154
13	(LT154 x T49) x CLWN247	38	(CML311 x T48) x LT154
14	(LT154 x LT156) x T49	39	(CML549 x CLWN216) x GNF
15	(LT154 x T47) x CLWN247	40	H383 x CLRCWN96
16	(LT154 x CLWN247) x T48	41	(GNDE x GNF) x CLWN247
17	(LT154 x CLWN247) x T49	42	(T49 x LT156) x LT154
18	(LT154 x CLWN247) x GNF	43	(LT164 x LT165) x T49
19	(CML311 x CLWN247) x T49	44	(CLRWN96 x CLWN247) x LT154
20	(CML550 x CLWN247) x T49	45	(CLWN247 x CML311) x LT154
21	(CML550 x CLWN247) x GNF	46	(LT156 x T49) x (SBx91)
22	(T47 x CLWN247) x LT154	47	(LT154 x LT155) x T48
23	(CLRCWN96 x CLWN247) x T48	48	(ST30 x T49) x SBC
24	(CLRCWN96 x CLWN247) x LT154	49	H561 x GNF
25	(T47 x TLT154) x T48		

6.3.3. Diseño experimental

En cada ambiente se evaluaron 49 genotipos en proceso de selección, bajo un diseño de látice triple 7 x 7. El tamaño de la parcela experimental fue de un surco de cinco metros de largo, 80 cm de separación entre surcos y distancia de 40 cm entre plantas.

6.3.4. Conducción del experimento

En la preparación del terreno en el cual se estableció el experimento, consistió en retirar residuos de cosechas anteriores, posteriormente se efectuó el barbecho para romper e incorporar al suelo restos de rastrojo a una profundidad de 25-30 cm, y de esta manera mejorar la penetración del agua y la germinación de la semilla, el surcado se realizó a una distancia de 80 cm.

Siembra

En la localidad de Mochitlán la siembra se realizó el día 3 de julio del 2018 mientras que en Cajeles se efectuó el día 6 del mismo mes y año. Se realizó de forma manual, se depositaron en el fondo del surco tres semillas por golpe cada 40 cm, posteriormente, a la emergencia se realizó un aclareo para dejar dos plantas por mata con el fin de obtener una densidad de población de 62,500 plantas por hectárea.

Fertilización

Se utilizó la fórmula 90N-60P-00K recomendada por el INIFAP, con la aplicación de 45N-60P-00K al momento de la siembra y 45N-00P-00K a los 40 días después de la siembra de cada localidad.

Labores culturales

El control de malezas se realizó de manera manual y en general el manejo agronómico se realizó conforme a las recomendaciones del paquete tecnológico para maíz en el estado de Guerrero (SAGARPA, 2015).

Control de plagas

Con la finalidad de controlar plagas del suelo como gallina ciega (*Phyllophaga spp*), principalmente, al momento de la siembra se aplicó manualmente al voleo, Counter al 15%

una dosis de 7.0 kg ha^{-1}. Para el control del gusano cogollero se aplicó Lorsban™ Advanced *i.a.* Clorpirifos etil, en las dosis recomendadas por el fabricante, se requirieron dar dos aplicaciones.

Cosecha

La cosecha se realizó de manera manual y por parcela experimental, después de que los genotipos habían alcanzado su madurez fisiológica. En cada parcela experimental se tomó una muestra de cinco mazorcas para realizar la determinación de humedad de grano y poder incluirla en la estimación del rendimiento de grano de cada genotipo evaluado.

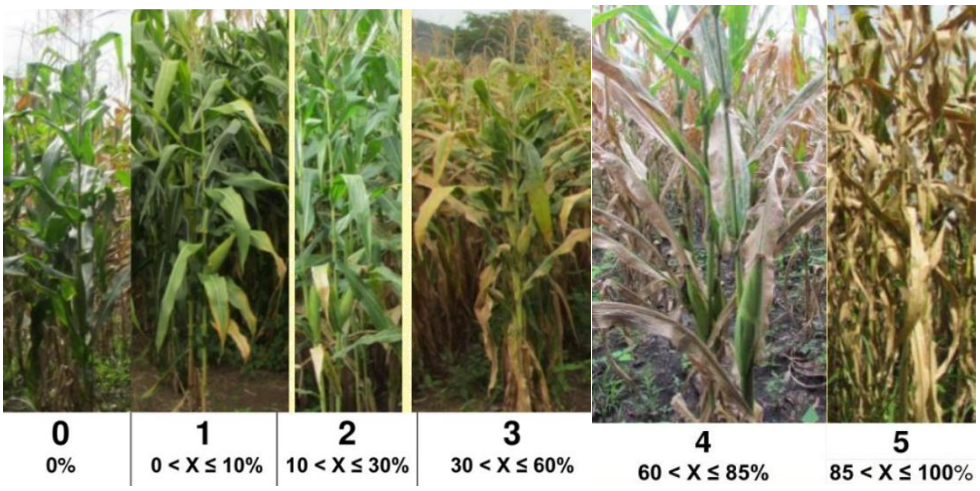
6.3.5. Niveles de severidad para el complejo mancha de asfalto

Para la identificación de los diferentes niveles de severidad del daño se realizaron cuatro evaluaciones de la enfermedad, en cada una de ellas se tomó como referencia lo propuesto por Ceballos y Deutsch, (1992) (Cuadro 2), así como, las imágenes de Garrido *et al*. (2017) y Quiroga *et al*. (2017). La primera evaluación se efectuó a los 60 días después de la siembra (dds), se continuó con las evaluaciones a intervalos de cuatro a seis días en cada parcela. Con los valores obtenidos en las evaluaciones realizadas, se calculó el área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE), mediante la fórmula publicada por (Tooley y Grau, 1984). Para valorar la presencia de la mancha de asfalto se registraron dos variables adicionales, que consideran la calificación de severidad de enfermedad en planta y mazorca de forma visual, se utilizó la escala ordinal de 1 a 5, donde 1 se atribuye a plantas con muy poco o nulo daño y 5 a plantas con una mayor afectación por el complejo de mancha de asfalto, para diferencia los niveles de la enfermedad se utilizó de referencia la imagen del progreso de la enfermedad (Figura 1).

Cuadro 2. Escala de severidad utilizada para la evaluación visual del complejo de la mancha de asfalto (Ceballos y Deutsch, 1992).

Clase	Categoría	Área afectada (%)	Observaciones
0	Inmune o altamente resistente	0-2	Sin ninguna o muy pocas lesiones, todas en hojas inferiores a la mazorca.
1	Resistente	3-10	Algunas lesiones en hojas inferiores a la mazorca.
2	Moderadamente resistente	11-25	Muchas lesiones en hojas inferiores, algunas áreas necróticas, pero la mayor parte del área verde. Algunas lesiones en hojas superiores.
3	Moderadamente susceptible	26-50	Mayoría de las hojas inferiores del área a la mazorca necrosadas, muchas lesiones cerca de unirse en hojas superiores.
4	Altamente susceptible	51-80	Sin tejido verde en hojas inferiores, considerable área foliar necrosada en hojas superiores.
5	Extremadamente susceptible	>80	Planta muerta o con muy pocas áreas verdes.

A



B

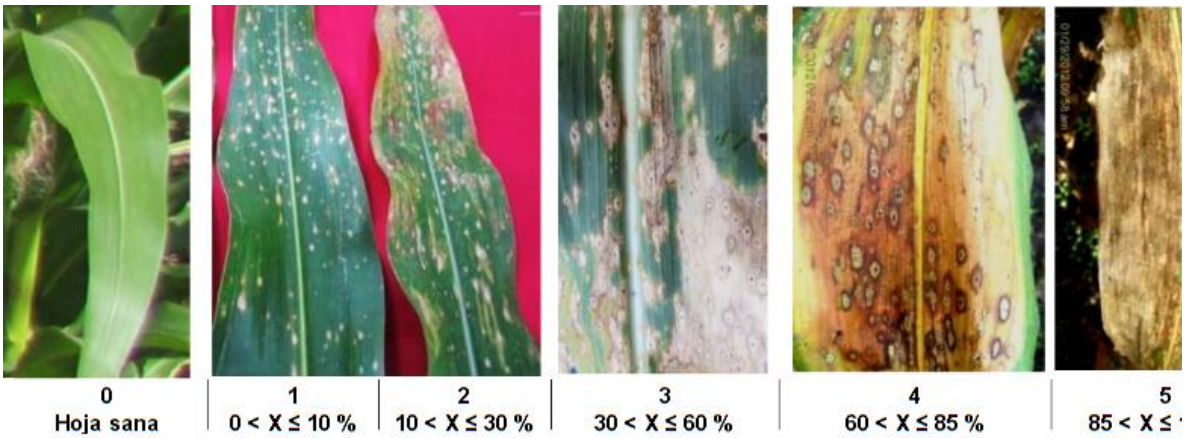


Figura 1. Severidad de daño a nivel de planta (A) y hoja (B) con valores ordinal y rango porcentual (Garrido *et al.*, 2017; Quiroga *et al.*, 2017).

6.3.6. Variables de estudio

Se cuantificaron las variables de tipo morfológico:

Altura de planta (AP): se midieron tres plantas al azar en promedio, se registró en centímetros y se utilizó un estadal, la altura total se consideró desde la base de la planta en el suelo hasta la punta de la espiga.

Altura de mazorca (AMZ): se midieron tres plantas al azar en promedio, se midió y registro en centímetros con la ayuda de un estadal, se contabilizó desde la base de la planta en el suelo hasta el nudo donde se encuentra la mazorca principal

Número de mazorcas podridas (MZPD): se tomó al momento de la cosecha e incluyó el número total de mazorcas dañadas por pudrición.

Calificación de planta (CALP): se asignaron los valores al aspecto de la planta por parcela experimental, dentro de la calificación se consideran la uniformidad, sanidad y acame entre

otras, la escala asignada fue del 1 al 5, donde: 1 corresponde a una planta sana y 5 a una muy deficiente.

Calificación de mazorca (CAMZ): se calificaron visualmente las mazorcas cosechadas de cada parcela experimental, se consideraron la uniformidad, tamaño, llenado de grano y daños causados por insectos y enfermedades. La escala que se aplicó fue del 1 al 5, donde 1 se aplicó para las mejores mazorcas y 5 para las mazorcas menos deseables.

Calificación de enfermedad (CALENF): se valoró con una calificación visual al aspecto del daño por enfermedades en la planta, para cada uno de los genotipos evaluados, con calificaciones de 1 a 5, donde 1 hace referencia a poca o nula presencia de enfermedades y 5 un daño muy severo, esta calificación final de enfermedades se hizo antes de la madurez fisiológica.

Rendimiento de grano kg/ha (REND): el rendimiento de grano se calculó en kg ha^{-1}, se consideraron las variables número de plantas y mazorcas por parcela y peso de campo de las mazorcas en kilogramos. Para la estimación de rendimiento se ajustó la humedad del grano al 12, mediante la operación (% de grano % de humedad peso de campo factor de conversión a kg $ha^{-1)}$, los porcentajes se obtuvieron mediante una muestra de cinco mazorcas.

6.3.7. Análisis estadístico

Para cada una de las localidades de evaluación de manera individual se realizó un análisis de varianza con el procedimiento PROC GLM de SAS (Statistical Analysis System) versión 9.0 (SAS, 2002). Posteriormente, se efectuó un análisis de varianza combinado de las localidades en estudio. También se realizaron comparaciones múltiples de medias con la prueba Tukey, esto con el fin de observar la variación dentro de los materiales evaluados, para identificar

genotipos sobresalientes por la resistencia al complejo de mancha de asfalto. Los análisis de varianza individual, combinado y las comparaciones de medias se realizaron con el paquete estadístico SAS Versión 9.4. El cálculo del área bajo la curva del progreso de la enfermedad se obtuvo con el programa R versión 3.6.2 mediante la paquetería agricolae (Mendiburu, 2020).

6.4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.4.1. Área del establecimiento de los experimentos

En la zona de producción de maíz de la región Centro del estado de Guerrero se tienen antecedentes de que en la década de los 80´s se presentaron los primeros problemas con la presencia de la enfermedad del complejo de mancha de asfalto, principalmente en el Valle del Ocotito y la cañada de Mochitlán, entre otros. La evaluación del experimento para el presente trabajo fueron las localidades de Mochitlán y Cajeles, donde las siembras escalonadas de maíz durante la mayor parte del año ofrecen condiciones favorables para el desarrollo de la enfermedad, estos problemas fitosanitarios se presentan año con año en ambas localidades, una vez presente la enfermedad se caracteriza por la presencia de puntos negros en las hojas de la planta, envueltas en mancha necróticas que se van expandiendo hasta unirse y formar las lesiones que asemejan una mancha de asfalto.

6.4.2. Ensayo de materiales en las localidades de Mochitlán (L1) y Cajeles (L2).

En ambas localidades las condiciones ambientales fueron favorables para la expresión de la enfermedad de la mancha de asfalto, con afectaciones de hasta el 100 %, aunque se expresó un poco tarde, prácticamente en floración.

6.4.3. Análisis de varianza

Se realizaron los análisis de varianza para cada una de las variables evaluadas, en los 49 materiales de maíces experimentales. En la localidad de Mochitlán en el ciclo agrícola P-V 2018, se observaron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) en la fuente de variación tratamientos para las variables de altura de planta, calificación de enfermedad y de planta; altura de mazorca fue la única variable que presento diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$). En el caso de las variables relacionadas con la resistencia a la mancha de asfalto que incluyen la última evaluación de severidad y el área bajo la curva del progreso de la enfermedad no se detectaron diferencias estadísticas, sin embargo, al aplicar la prueba de comparación de medias de Tukey, se identificaron materiales con menor porcentaje de daño provocado por la enfermedad que permite diferenciar los materiales más sobresalientes en las características mencionadas. Los coeficientes de variación tuvieron valores aceptables, por lo que se considera que la información recolectada es confiable (Cuadro 3).

Cuadro 3. Análisis de varianza de la localidad de Mochitlán, para 49 híbridos experimentales de maíz en la región Centro del estado de Guerrero, ciclo primavera-verano 2018.

Tipo análisis	Fuente Variación	Cuadrado de la media Trat	Media	Máximo	Mínimo	CV
Análisis Varianza Loc 1	SEVF	0.3^{ns}	4.4	5.0	4.0	10.4
	ABCPE	19.4^{ns}	51.8	59.8	46.5	9.8
	AP	304.7*	289.1	303.3	263.3	4.2
	AMZ	154.4**	117.6	13.0	103.3	8.1
	CALP	0.2*	2.5	3.5	2.1	8.1
	CENF	0.31*	2.9	3.7	2.3	9.7

*P≤0.05, **P≤0.01, FV: fuente de variación, SEVF: severidad final, ABCPE: área bajo la curva del progreso de la enfermedad, AP: altura de planta, AMZ: altura de mazorca, CALP: calificación de planta, CENF: calificación de enfermedad.

El análisis de varianza para la localidad de Cajeles, se realizaron para las ocho variables evaluadas en los 49 genotipos experimentales de maíz en el ciclo P-V 2018 (Cuadro 4). La fuente de variación de tratamientos presentó diferencias estadísticamente significativas (P≤0.05), principalmente en las variables altura de planta, calificación de planta y calificación de enfermedad. Las variables calificación de mazorca, rendimiento de grano, última fecha de evaluación de severidad y el área bajo la curva del progreso de la enfermedad no manifestaron diferencias significativas; sin embargo, al aplicar las pruebas de Tukey se identificaron genotipos con menor índice de daño causado por la enfermedad mancha de asfalto, de manera que permitió seleccionar los materiales con las mejores características deseables.

Cuadro 4. Análisis de varianza de la localidad de Cajeles, Guerrero, 49 híbridos experimentales de maíz en la región Centro del estado de Guerrero, ciclo primavera-verano 2018.

Tipo análisis	Fuente Variación	Cuadrado de la media Trat	Media	Máximo	Mínimo	CV
Análisis Varianza Loc 2	SEVF	0.22^{ns}	3.7	4.3	3	12.6
	ABCPE	16.70^{ns}	31.7	37	25.3	10.9
	AP	583.80*	255.9	290	214.6	6.4
	AMZ	197.20^{ns}	96.9	115	75.3	11.8
	CALP	0.34*	2.8	3.6	2.3	14.9
	CENF	0.52*	4.0	5.0	3.1	10.7
	CMZ	0.27*	2.8	3.8	2.3	12.1
	REN	1.87*	4.9	7.0	3.1	20.5

*:P≤0.05, **:P≤0.01, FV: fuente de variación, SEVF: severidad final, ABCPE: área bajo la curva del progreso de la enfermedad, AP: altura de planta, AMZ: altura de mazorca, CALP: calificación de planta, CENF: calificación de enfermedad, CMZ: Calificación de mazorca, REN: rendimiento.

Análisis de varianza combinado

La información de las localidades de Mochitlán y Cajeles se analizó de manera conjunta mediante un análisis de varianza. Esto permitió identificar en la fuente de variación tratamientos mostró diferencias significativas para la mayoría de las variables evaluadas ($P \leq 0.05$), entre ellas: altura de planta, altura de mazorca, calificación de planta, calificación de enfermedades y área bajo la curva del progreso de la enfermedad; en la variable de la última evaluación de severidad no hubo significancia estadística, esto indica que los tratamientos consistentes en los híbridos de maíz tuvieron una expresión similar. La prueba de Tukey, permitió diferenciar a los genotipos que presentaron menor daño por la enfermedad de la mancha de asfalto.

Cuadro 5. Análisis de varianza combinado de las dos localidades, para 49 nuevos híbridos experimentales de maíz en la región Centro del estado de Guerrero, ciclo primavera-verano 2018.

Tipo análisis	Fuente Variación	Cuadrado de la media Trat	Media	Máximo	Mínimo	CV
Análisis Varianza Combinado (L1+L2)	SEVF	0.22^{ns}	4.1	4.5	3.6	11.4
	ABCPE	25.50*	41.8	48.4	36	10.4
	AP	562.60*	272.5	294.5	248	5.3
	AMZ	215.20*	107.2	120.6	94.6	9.8
	CALP	0.46*	2.7	3.5	2.3	12.2
	CENF	0.73*	3.5	4.3	2.7	10.5
	CMZ	0.20*	2.8	3.8	2.3	12.1
	REN	1.80*	4.9	7	3.1	20.5

*:$P \leq 0.05$, **:$P \leq 0.01$, FV: fuente de variación, SEVF: severidad final, ABCPE: área bajo la curva del progreso de la enfermedad, AP: altura de planta, AMZ: altura de mazorca, CALP: calificación de planta, CENF: calificación de enfermedad, CMZ: Calificación de mazorca, REN: rendimiento.

El análisis de varianza combinado presento diferencias estadísticas significativas (P≤0.05) para todas las variables en la fuente de variación localidades, lo anterior se atribuye a las condiciones ambientales que se mantienen en las localidades tales como humedad, tipo de suelos, entre otros. La fuente de variación localidad x tratamientos presento alta significancia estadística (P≤0.01) para la variable altura de planta, las variables restantes no presentaron diferencias significativas, esto último, nos indica que las variables evaluadas en cada una de las repeticiones a través de localidades expresaron resultados parecidos y con ello el error experimental es menor (Cuadro 6). La significancia estadística en las diferentes fuentes de variación, permite inferir la existencia de la variabilidad que tienen los materiales experimentales evaluados, de esta manera permitirá hacer una selección más estricta de los materiales por su posible tolerancia a enfermedad de mancha de asfalto. Lo cual es el objetivo que se desean en este tipo de proyectos de fitomejoramiento en maíz.

Cuadro 6. Cuadrados medios y significancia estadística del análisis de varianza combinado, 49 nuevos híbridos experimentales de maíz en la región Centro del estado de Guerrero, ciclo P-V 2018.

FV	Loc	Group (Loc)	Treat	Loc*Trat
SEVF	36.08*	0.26^{ns}	0.22^{ns}	0.26^{ns}
ABCPE	29751.0 *	44.56^{ns}	25.50^{ns}	10.63^{ns}
AP	81034.5*	1409.30*	562.6*	325.9**
AMZ	31392.6*	326.90**	215.20*	136.5^{ns}
CALP	3.4*	0.10^{ns}	0.46*	0.09^{ns}
CENF	97.3*	0.17^{ns}	0.73*	0.10^{ns}
CMZ	--	0.05^{ns}	0.27*	--

REN	--	2.41^{ns}	1.87*	--

*P≤0.01, **P≤0.05, FV: fuente de variación, SEVF: severidad final, ABCPE: área bajo la curva del progreso de la enfermedad, AP: altura de planta, AMZ: altura de mazorca, CALP: calificación de planta, CENF: calificación de enfermedad, CMZ: Calificación de mazorca, REN: rendimiento.

6.4.4. Comparación de medias de tratamientos

Al aplicar la prueba de comparación de medias de Tukey (P≤0.05) a los 49 materiales experimentales evaluados en la localidad de Mochitlán, permitió identificar genotipos superiores por su tolerancia a la enfermedad, así mismo, en las variables restantes estudiadas, que incluyeron: altura de planta y mazorca, calificación de planta, calificación de enfermedad, destacaron con el menor índice de daños los genotipos (CLRCWN96 x LT154) x CLWN247, (CLRWN96 x CLWN247) x LT154, (CML549 x CML216) x CML311, (CML311 x CLWN247) x LT154, (CLRCWN96 x CLWN247) x LT154. Las variables de la última evaluación de severidad y el área bajo la curva no presentaron diferencia estadística, sin embargo, se tomaron los valores con menor daño causado por la enfermedad como materiales sobresalientes, estos incluyen a, (LT154 x CLWN247) x T49 y (CLRCWN96 x PW97L) x LT154, de igual manera se identificaron materiales con mayor susceptibilidad al complejo de mancha de asfalto, para la localidad de Mochitlán.

Cuadro 7. Híbridos experimentales de maíz sobresalientes en la localidad de Mochitlán, región Centro del estado de Guerrero, Guerrero, ciclo primavera-verano 2018.

GENOTIPOS	TRAT	SEVF	ABCPE	CALP	CALENF
(CML311 x CLWN247) x LT154	36	4.0 a	49.33 a	2.4 cdef	2.6 bcde
(CLRWN96 x CLWN247) x LT154	44	4.33 a	50.55 a	2.1 f	2.3 de

(CLRCWN96 x LT154) x CLWN247	28	4.33 a	53.00 a	2.2 ef	2.3 e
(CML549 x CLWN216) x CML311	29	4.33 a	53.00 a	2.2 def	2.4 de
(CLRCWN96 x CLWN247) x LT154	24	4.66 a	54.16 a	2.2 def	2.5 cde
(T48 x T47) x CLWN247	2	4.33 a	50.50 a	2.2 def	2.4 de
(LT164 x LT165) x CLWN247	26	4.66 a	50.00 a	2.2 def	2.6 bcde
(LT154 x LT156) x T49	14	4.0 a	48.16 a	2.4 cdef	2.9 abcde
(T49 x LT156) x LT154	42	5.0 a	54.83 a	2.2 def	2.5 cde
(T48 x T49) x CLWN247	5	4.33 a	54.16 a	2.2 def	2.4 cde

SEVF: severidad final, ABCPE: área bajo la curva del progreso de la enfermedad, CALP: calificación de planta, CENF: calificación de enfermedad.

En la prueba de comparación de medias de Tukey ($P \leq 0.05$) aplicada a los 49 híbridos experimentales de maíz de la localidad de Cajeles, se presentaron diferencias estadísticas para las variables: calificación de planta, calificación de enfermedad, calificación de mazorca y rendimiento. En las variables de última evaluación de severidad y área bajo la curva del progreso de la enfermedad no existió significancia estadística, sin embargo, los valores promedio permiten identificar materiales con menor índice de daño causado por la enfermedad referida, tomando algunas características deseables para los objetivos de la investigación, así como, el rendimiento, se destacan los genotipos: (T49 x LT156) x LT154, (LT164 x LT165) x CLWN247, (GNDE x GNF) x CLWN247, (LT154 x T49) x CLWN247 y (T48 x T49) x CLWN247. Con esta información también se identificaron los genotipos con alto índice de daño. Las diferentes condiciones ambientales del medio provocaron una diferenciación entre localidades, ya que se presentó menor incidencia de daño durante las fechas de evaluaciones.

Cuadro 8. Híbridos sobresalientes de maíz de 49 genotipos evaluados en la localidad de Cajeles, región Centro del estado de Guerrero, Guerrero, ciclo primavera-verano 2018.

GENOTIPOS	TRAT	SEVF	ABCPE	CALP	CALENF	CALM	REND
(T48 x T49) x CLWN247	5	4.0 a	33.66 a	2.36 a	3.66 abcd	2.42 b	6.4 ab
(GNDE x GNF) x CLWN247	41	3.33 a	29.00 a	2.36 a	3.83 abcd	2.46 b	6.2 ab
(T49 x LT156) x LT154	42	4.0 a	31.66 a	2.43 a	3.50 bcd	2.53 b	5.7 ab
(LT154 x T49) x CLWN247	13	3.66 a	30.50 a	2.40 a	3.66 abcd	2.50 b	5.6 ab
(LT164 x LT165) x CLWN247	26	3.66 a	26.50 a	2.40 a	3.33 cd	2.36 b	6.4 ab
(LT164 x LT165) x T49	43	3.33 a	27.66 a	2.46 a	4.0 abcd	2.46 b	4.9 ab
(LT154 x T47) x CLWN247	15	4.0 a	31.33 a	2.30 a	3.6 d	2.50 b	6.1 ab
(CLRCWN96 x LT154) x CLWN247	28	3.66 a	30.50 a	2.53 a	3.10 d	2.73 b	5.2 ab
(CML549 x CLWN216) x GNF	39	3.33 a	29.33 a	2.36 a	3.66 abcd	2.76 ab	4.9 ab
(LT154 x CLWN247) x T48	16	3.66 a	30.50 a	2.43 a	3.66 abcd	2.76 ab	4.3 ab

SEVF: severidad final, ABCPE: área bajo la curva del progreso de la enfermedad, CALP: calificación de planta, CENF: calificación de enfermedad, CALM: calificación de mazorca, REND: rendimiento

Comparación de medias de Tukey en el análisis combinado

La prueba de comparación de medias de Tukey ($P \leq 0.05$) de manera conjunta para las dos localidades en evaluación. En este análisis, las variables área bajo la curva del progreso de la enfermedad, calificación de planta, calificación de enfermedad, altura de planta y mazorca, mostraron significancia estadística, con ello fue posible identificar los materiales mejor evaluados para ambas localidades. La variable última fecha de evaluación de severidad no presentó diferencia significativa en este análisis, lo cual nos indica poca variabilidad genética, no obstante, con los valores promedio se identificaron los genotipos con el menor daño causado por el complejo de la mancha de asfalto. De manera general, los maíces híbridos que tuvieron una mejor expresión en las diferentes variables evaluadas, así como, resistencia a la mancha de asfalto fueron: (LT164 x LT165) x CLWN247, (GNDE x GNF) x CLWN247, (CML549 x CLWN216) x GNF, (T47 x CLWN247) x LT154 y (CML311 x CLWN247) x LT154.

Cuadro 9. Comparación de medias en el análisis combinado, de cuatro variables evaluadas en 49 genotipos de maíces híbridos experimentales en la localidad de Cajeles, región Centro del estado de Guerrero, Guerrero, ciclo primavera-verano 2018.

GENOTIPOS	TRAT	SEVF	ABCPE	CALP	CALENF
(GNDE x GNF) x CLWN247	41	3.83 a	39.75 b	2.43 bcde	3.33 bcdefghij
(T47 x CLWN247) x LT154	22	4.00 a	36.08 b	2.55 bcde	3.21 cdefghij

(LT164 x LT165) x T49	43	3.83 a	37.66 b	2.45 bcde	3.38 bcdefghij
(CML549 x CLWN216) x GNF	39	4.00 a	40.91 ab	2.48 bcde	3.23 cdefghij
(CML311 x CLWN247) x LT154	36	3.83 a	39.91 ab	2.61 bcde	3.21 cdefghij
(CLRWN96 x CLWN247) x LT154	44	4.16 a	42.91 ab	2.35 e	2.93 hij
(CML550 x T49) x LT154	10	3.83 a	40.16 ab	3.20 ab	4.13 ab
(CLRCWN96 x CLWN247) x LT154	24	4.33 a	43.75 ab	2.46 bcde	3.20 cdefghij
(CML549 x CLWN216) x CML311	29	3.83 a	43.00 ab	2.40 cde	3.05 fghij
(T11 x LT154) x CML311	6	4.16 a	42.16 ab	2.50 bcde	3.16 defghij

SEVF: severidad final, ABCPE: área bajo la curva del progreso de la enfermedad, CALP: calificación de planta, CENF: calificación de enfermedad.

6.5 CONCLUSIONES

En las localidades de evaluación se presentó la mancha de asfalto de manera favorable y provoco infestaciones en diferentes niveles a los maíces estudiados, lo cual fue favorable para el estudio.

La información obtenida de los diferentes análisis practicados a los datos experimentales, permitió la identificación de maíces experimentales con características sobresalientes en cada una de las variables evaluadas.

En el caso de la evaluación de la resistencia a la mancha de asfalto, sobresalieron los genotipos: (T47 x CLWN247) x LT154, (LT154 x LT156) x T49, (T49 x CML269) x CML549, (LT164 x LT165) x PW91, (CML311 x CLWN247) x LT154, por tener mayor resistencia a la enfermedad en ambas localidades.

6.6 AGRADECIMIENTOS

Al CONACYT por el apoyo al otorgarme una beca para el desarrollo del trabajo de investigación descrito, a la Maestría en Ciencias Agropecuarias y Ambientales y Gestión Local por brindarme el espacio para mi desarrollo y mejora académicamente.

Al INIFAP por los apoyos económicos para la movilización y manejo agronómico de las parcelas experimentales a través del proyecto de “Obtención de híbridos y variedades de maíz para áreas de temporal en el trópico de México”.

6.7 LITERATURA CITADA

Bajet, N.B.; Renfro B. l; Valdez C J. M, 1994. Control of tar spot of maize and its effect on yield. International Journal of Pest Management, 40(2):121-125.

Ceballos, H.; Deutsch, J. A. 1992. Inheritance of resistance to Tar Spot Complex in maize. Phytopathology 82:505-512.

Coyac R, J. L, Molina G, J. D., García Z, J. J., & Serrano C, L. M. 2013. La selección masal permite aumentar el rendimiento sin agotar la variabilidad genética aditiva en el maíz Zacatecas 58. Revista Fitotecnia Mexicana 36(1):53-62. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73802013000100006&lng=pt&tlng=es.

Cline E. 2005. *Phyllachora maydis* Maubl. 1904. Nomenclature Fact Sheets. United States Department of Agriculture (USDA), Agricultural Research Service, Systematic Mycology and Microbiology Laboratory. 2 p.

Mendiburu F., Y. Muhammad 2020. Agricolae: Procedimientos estadísticos para la investigación agrícola. Paquete R versión 3.6.2, https://myaseen208.github.io/agricolae/https://cran.r-project.org/package=agricolae.

FAO. 2016. FAO Statistical yearbook 2016**:** World food and agriculture. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Roma 2016. ISBN 978-92-5-107396-4

González C.M. 2013. Nuevos métodos de control de la mancha de asfalto del maíz. Fichas Tecnológicas Sistema Producto (Nueva Tecnología). Instituto Nacional de Investigaciones, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). CIRPAS, CE Iguala, Iguala, Gro. 2 p

González, C. M., M. N. Gómez, H.J. Pereyda y E. J. Muñiz. 2008. Obtención de híbridos de maíz elotero tolerantes al complejo mancha de asfalto en el estado de Guerrero. INIFAP. Folleto técnico 17. Iguala, Guerrero, México. 27 p.

Kato T A, C Mapes, L M Mera, J A Serratos, R A 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. 116 p.

Hock, J., J. Kranz, y B. L. Renfro. 1989. El "complejo mancha de asfalto" de maíz, su distribución geográfica, requisitos ambientales e importancia económica en México. Revista Mexicana de Fitopatología. 7: 129-135.

Hock, J.; Kranz, J.; Renfro, B. L.; 1995. Studies on the epidemiology of the tar spot disease complex of maize in Mexico. Plant Pathology 44: 440-502.

McCoy, A. G., Romberg, M. K., Zaworski, E., Robertson, A. E., Phibbs, A., Hudelson, B., Smith, D. L, Beiriger, R., Raid, R., Byrne, J., Chilvers, M. I. 2018. First report of tar spot on corn (*Zea mays* L.) caused by *Phyllachora maydis* in Florida, Iowa, Michigan and Wisconsin. Plant Disease https://doi.org/10.1094/PDIS-02-18-0271-PDN

Paliwal, L. R.; 2001. Mejoramiento para resistencia a las enfermedades. En Paliwal, L R.; Granados, G.; Renée, L. H.; Violic, D. A.; 2001. El maíz en los trópicos: mejoramiento y producción. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma FAO. ISBN 978-92-5-304457-3.

Quiroga, M. R., Garrido, R. E., Rosales, E. M. y Salazar, P. W. 2017. Manual técnico: Manejo integrado del complejo de mancha de asfalto del maíz en México. Universidad Autónoma de Chiapas. México. 39 p.

Pritsch, C. 2001. El pre-mejoramiento y la utilización de los recursos fitogenéticos. En: Estrategia en recursos fitogenéticos para los países del Cono Sur. PROCISUR. 2001. Montevideo, Uruguay. p.111-121.

Ruhl G., Romberg M.K., Bissonnette S., Plewa D., Creswell T. y Wise K.A. 2016. First report of tar spot on corn caused by *Phyllachora maydis* in the United States. The American Phytopathological Society 100(7):1496.

Toley P. W. and C. R. Grau 1984 Field characterization of rate-reducing resistance to *Phytophthora megasperma* f. sp. *glycinea* in soybean. Phytopathology 74:1201-1208.

Sánchez J J, M M Goodman, C W Stuber (2000) Isozymatic and morphological diversity in the races of maize of Mexico. Economic Botany 54:43-59.

SAS Version 9.0. 2002 Statistical Analysis System. Copyright by SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.

Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). 2015. Agenda Técnica Agrícola Guerrero. Paquete Tecnológico de Maíz Temporal. 2ª ed. Guerrero. México. pp 49-52.

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2020. Cierre de la producción Agrícola (SIAP 1980-2019). México, D.F. disponible en línea: https://nube.siap.gob.mx(cierreagricola/ (consultado noviembre, 2020).

Segovia S, Víctor F, & Alfaro J, Yanely J. (2009). El maíz: un rubro estratégico para la soberanía agroalimentaria de los venezolanos. *Agronomía Tropical*, *59*(3), 237-247. Recuperado en 16 de diciembre de 2020, de

http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0002-192X2009000300001&lng=es&tlng=es.

Watson A.J. 1971. Foreign bacterial and fungus diseases of food, forage, and fiber crops. An annotated list. Agriculture Handbook No. 418. USDA. 111 p.

7. CONCLUSIONES GENERALES

En los dos experimentos se presentó la mancha de asfalto generada por los patógenos *Phyllachora maydis* Maubl., *Monographella maydis* Muller y Samuels y *Coniothyrium phyllachorae* Maubl. En los maíces híbridos evaluados se tuvieron infestaciones en diferente grado, lo cual permitió realizar evaluaciones del impacto de la enfermedad en los diferentes maíces evaluados.

Los híbridos evaluados presentaron variabilidad en las diferentes variables agronómicas evaluadas, esto favoreció la selección de los sobresalientes en función de los objetivos del trabajo, que en general persigue la identificación de materiales sobresalientes por su tolerancia a la mancha de asfalto.

Con la información evaluada también se tienen identificados los genotipos de maíz sobresalientes por su rendimiento, así como, los más susceptibles a la mancha de asfalto.

Con la información obtenida se debe valorar la pertinencia de liberación comercial de alguno de los genotipos sobresalientes por su resistencia a la mancha de asfalto, o bien, planificar más evaluaciones en los ambientes que presentan la enfermedad mancha de asfalto de manera endémica para corroborar lo encontrado en este estudio.