



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS

**“RESISTENCIA DE VARIEDADES DE MAÍZ A *Ustilago maydis*, EN DOS
COMUNIDADES DEL ESTADO DE MÉXICO”**

TESIS

**QUE COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

INGENIERO AGRÓNOMO INDUSTRIAL

P R E S E N T A:

ERICK RODRIGO ALANIZ ARANA

MODALIDAD: TESIS INDIVIDUAL

ASESOR:

DR. JESÚS RICARDO SÁNCHEZ PALE

SEPTIEMBRE 2016

**CAMPUS UNIVERSITARIO “EL CERRILLO”, EL CERRILLO PIEDRAS
BLANCAS, MUNICIPIO DE TOLUCA, ESTADO DE MÉXICO**

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	i
DEDICATORIAS	ii
ÍNDICE	iii
ÍNDICE DE CUADROS	v
ÍNDICE DE FIGURAS	vi
RESUMEN	vii
ABSTRACT	viii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	4
OBJETIVO GENERAL	4
OBJETIVOS PARTICULARES	4
III. HIPÓTESIS	5
V. REVISIÓN DE LITERATURA	6
5.1 El maíz	6
5.1.1 Clasificación botánica	6
5.1.2 Descripción botánica	7
5.1.3 Cultivo y requerimientos ambientales	8
5.1.4 Importancia	10
5.1.5 Usos	11
5.2 Mejoramiento genético	13
5.2.1 Métodos de mejoramiento	15
5.3 Patologías	19
5.3.1 Enfermedades	20
5.3.1.1 Pudrición de la Mazorca	20
5.3.1.2 Carbón de la Espiga	22
5.3.1.3 Diente de Caballo	23

5.3.1.4 Tizón.....	23
5.3.1.2 Carbón Común	25
5.4 Tolerancia de maíz a <i>Ustilago maydis</i>	25
VI. MATERIALES Y MÉTODOS	28
6.1 Diseño Experimental	28
6.2 Preparación del inóculo	30
6.3 Inoculación.....	30
6.4 Análisis de susceptibilidad y resistencia	31
6.5 Análisis estadístico	33
6.6 Modelo Estadístico.....	33
VII. RESULTADOS.....	34
7.1 Villa del Carbón	34
7.1.1 Evaluación de Incidencia y Severidad	34
7.2 Toluca.....	38
7.2.1 Evaluación de Incidencia y Severidad	38
VIII. DISCUSIÓN	41
IX. CONCLUSIONES.....	44
X. SUGERENCIAS.....	45
XI. BIBLIOGRAFÍA.....	46

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Escala diagramatizada del carbón común en maíz causado por <i>Ustilago maydis</i> . Los números indicados en el rango de daño es el porcentaje de área de la mazorca cubierto por la enfermedad	32
Cuadro 2. Resultados de Análisis de Varianza (ANOVA) para las variables Incidencia y Severidad obtenidos en 12 variedades de maíz inoculadas con carbón común durante el ciclo PV 2014 en Villa del Carbón, Estado de México.....	34
Cuadro 3. Comparación de medias en la variable Incidencia de carbón común inoculado en 12 variedades de maíz, durante ciclo PV-2014 en Villa del Carbón, Estado de México	35
Cuadro 4. Comparación de medias en la variable Severidad de carbón común inoculado en 12 variedades de maíz, durante ciclo PV-2014 en Villa del Carbón, Estado de México	36
Cuadro 5. Resultados de Análisis de Varianza (ANOVA) para las variables Incidencia y Severidad obtenidos en 12 variedades de Maíz inoculadas con carbón común durante el ciclo PV 2014 en Toluca, Estado de México.....	38
Cuadro 6. Incidencia de carbón común inoculado en 12 variedades de maíz, durante ciclo PV-2014 en Toluca, Estado de México.....	38
Cuadro 7. Severidad media ponderada del carbón común inoculado en 12 variedades de maíz, durante ciclo PV-2014 en Toluca, Estado de México	40

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Establecimiento del diseño experimental de bloques completamente al azar. Centro Universitario, El Cerrillo Piedras Blancas, Municipio de Toluca	29
Figura 2. Teliosporas colectadas el ciclo anterior, observadas en microscopio con el objetivo 100X	30
Figura 3. Inoculación de basidiosporas en jilotes de maíz con jeringa	31
Figura 4. Incidencia (%) de carbón común (<i>Ustilago maydis</i>) en 12 genotipos de maíz expresada en el Municipio de Villa del Carbón.....	35
Figura 5. Severidad media ponderada expresada en 12 genotipos de maíz inoculados con <i>Ustilago maydis</i>	37
Figura 6. Incidencia (%) de carbón común (<i>Ustilago maydis</i>) en 12 genotipos de maíz expresada en el Municipio de Toluca	39
Figura 7. Severidad Media Ponderada expresada en 12 genotipos de maíz inoculados con <i>Ustilago maydis</i>	40
Figura 8. Relación entre las variables temperatura y precipitación anual en Toluca, Estado de México que prevalecen durante la realización del experimento	43
Figura 9. Relación entre las variables temperatura y precipitación anual en Villa del Carbón, Estado de México que prevalecen durante la realización del experimento	43

RESUMEN

RESISTENCIA DE VARIEDADES DE MAÍZ A *Ustilago maydis* EN DOS COMUNIDADES DEL ESTADO DE MÉXICO.

Erick Rodrigo Alaníz Arana. Ingeniero Agrónomo Industrial. Universidad Autónoma del Estado de México. Facultad de Ciencias Agrícolas.

Asesor: ¹Dr. Jesús Ricardo Sánchez Pale

¹ Universidad Autónoma del Estado de México. Facultad de Ciencias Agrícolas. Campus Universitario El Cerrillo, El Cerrillo Piedras Blancas. Mpio. de Toluca, México. Código Postal 50200. Tel. (fax) 2-96-55-29 y 2-96-55-31 jrsanchezp@uaemex.mx

Ustilago maydis es el hongo causante del carbón común de maíz, caracterizado principalmente por la formación de agallas en la mazorca, denominadas huitlacoche. Tanto variedades criollas como híbridas son afectadas por la enfermedad en diferentes grados de severidad, y aunque para algunos productores es un alimento de alto valor nutritivo y comercial, para otros representa fuertes daños al cultivo y pérdidas en la producción, por lo tanto, ésta investigación tuvo por objetivo identificar y valorar el grado de resistencia a la infección de *Ustilago Maydis*, a cielo abierto, en 12 variedades comerciales de maíz en los municipios de Villa del Carbón y Toluca. Los materiales con los que se trabajó son: HC8, AS-722, HID-17, H40, H50, BIOGENE(BG-1384W), Cacahuazintle, Criollo Regional Blanco, Criollo Regional Amarillo, Criollo Blanco Aculco, Criollo Negro Aculco, Criollo Amarillo Aculco. El trabajo se desarrolló en dos etapas, en la fase de campo se recolectaron teliosporas de carbón común, se cultivaron en PDA para inducir la formación de basidiosporas e inocularlas a los estigmas de las 12 variedades. Se recolectaron los datos de infección, valorando la incidencia en cada planta útil y la severidad mediante una escala diagramática compuesta de seis clases. La segunda fase consistió en el procesamiento de los datos mediante un análisis de varianza y la prueba de Tukey con el programa SAS versión 9.0. Los resultados indicaron que las 12 variedades de maíz mostraron algún grado de susceptibilidad a *Ustilago maydis*, en los dos ambientes evaluados, tanto en materiales híbridos como en criollos, pero fue la variedad AS-722 la que mostró la mayor incidencia y severidad del carbón común en las dos localidades mientras que la menor severidad e incidencia fue expresada por los diversos materiales criollos de Aculco.

Palabras clave: Maíz, resistencia, susceptibilidad, huitlacoche, carbón común, inoculación.

ABSTRACT

RESISTANCE OF MAIZE VARIETIES TO *Ustilago maydis* IN TWO COMMUNITIES IN THE STATE OF MEXICO.

Erick Rodrigo Alaníz Arana. Industrial Agricultural Engineer. Universidad Autónoma del Estado de México. Facultad de Ciencias Agrícolas.

Advisor: ¹Dr. Jesús Ricardo Sánchez Pale

¹ Universidad Autónoma del Estado de México. Facultad de Ciencias Agrícolas. Campus Universitario El Cerrillo, El Cerrillo Piedras Blancas. Mpio. De Toluca, México. Código Postal 50200. Tel. (fax) 2-96-55-29 y 2-96-55-31 jrsanchezp@uaemex.mx

Ustilago maydis is the fungus responsible for common corn smut, characterized mainly by the formation of galls on the ear known as "huitlacoche". Both local criollo and hybrid varieties of maize are affected by the disease to varying degrees, and while for some producers the galls are a highly nutritionally and commercially valuable food, for others they represent large damages to the crop and its value. For this reason, this investigation aimed to identify and evaluate the degree of resistance to *U. Maydis* infection of 12 commercial maize varieties in open-air cultivation in the Villa del Carbón and Toluca municipalities of Mexico State. The varieties tested were: HC8, AS-722, HID-17, H40, H50, BIOGENE(BG-1384W), Cacahuazintle, Criollo Regional Blanco, Criollo Regional Amarillo, Criollo Blanco Aculco, Criollo Negro Aculco, and Criollo Amarillo Aculco. The project was carried out in two phases; in the field phase, teliospores of common corn smut were collected and cultured in PDA to induce the formation of basidiospores, and used to stigma-inoculate the 12 maize varieties. Infection data were then collected, evaluating the disease incidence among useful plants, as well as the severity of infection using a six-class diagrammatic scale. The second phase consisted of processing the data using analysis of variance (ANOVA) and Tukey tests in the program SAS (version 9.0). The results showed that all 12 maize varieties showed some degree of susceptibility to *U. maydis* in both environments evaluated, both in hybrid and criollo varieties. However, at both localities it was the AS-722 variety that had the highest incidence and severity of corn smut infection, while the lowest infection incidences and severities were expressed in the various Aculco criollo varieties.

Keywords: Maize, resistance, susceptibility, huitlacoche, common corn smut, inoculation

I. INTRODUCCIÓN

El *Ustilago maydis* es el hongo causante del carbón común de maíz, caracterizado principalmente por la formación de agallas comestibles en la mazorca, denominadas huitlacoche, el cual, es conocido y consumido en México desde la época prehispánica (Valdez, 2009). A pesar de ser considerado un alimento con alto valor nutritivo por su contenido de aminoácidos, ácidos grasos, monosacáridos y polisacáridos, la propagación de este hongo, es considerada una plaga puesto que inutiliza el cultivo a través de esporas, siendo el viento el promotor de dispersión de ellas (Valdez, 2009).

Sanderson (1986) citado por J. Salvador (1986) estima que la producción de maíz en México, no ha crecido ni en extensión, ni en productividad desde los 1950s, a pesar de que los rendimientos se han incrementado de 0.7 tons/ha en 1950 a 2 tons/ha en el presente, tal ganancia representa el incremento en la productividad alcanzada por los grandes agricultores ubicados en los distritos de riego de la federación, los cuales tienen acceso tanto al crédito, a las semillas de híbridos, así como a los fertilizantes sintéticos. Además, México era autosuficiente respecto a la producción de maíz antes de 1960 y desde entonces, la producción ha disminuido hasta los 105 Kg per cápita por año (Sanderson, 1986) de tal manera que las importaciones de maíz han aumentado pasando de 0 en 1960 hasta la cantidad de 5 millones de toneladas anuales que se maneja en la actualidad.

Es por ello, que se recurre al mejoramiento de variedades de maíz para lograr que se incremente la producción y su calidad en relación a las superficies agrícolas cultivables,

como lo señala Howell al especificar que se busca mejorar la producción “en el menor tiempo, con el mínimo esfuerzo y al menor costo”. Para ello es indispensable lograr nuevas variedades cuyas características garanticen una producción suficiente adaptándose a las necesidades de los agricultores (Howell, 1998).

Para Paliwal (1981), el objetivo básico de un programa de mejoramiento de una población compuesta es el de desarrollar grupos y poblaciones que tengan un germoplasma adecuado para su entrega directa al cultivo. Y se espera que contribuya a la mejor productividad, sin embargo, se requiere obtener variedades tolerantes a diferentes factores, malezas, daños por plagas y enfermedades, sequías, frío, viento, entre otros factores negativos, aprovechando mejor el agua y los fertilizantes.

En este sentido, existe una dualidad importante para abordar la presente investigación, por un lado, México reconoce la importancia gastronómica del huitlacoche y esté aumentando su producción intencional, y por otro lado, para los agricultores que se dedican a la obtención de grano, representa pérdidas importantes, tal es el caso de los Estados del norte de la República (Salvador, 2001). Por ello la importancia de identificar el grado de resistencia de diferentes variedades de maíz al hongo en cuestión con la intención principal de evitar que los cultivos destinados a la producción del grano sean afectados, por *Ustilago maydis* e incluso proporcionar un referente concreto a los productores que se benefician de la propagación del hongo comestible.

La evaluación de resistencia a infección por *Ustilago* de 12 variedades puede parecer limitada cuando se sabe de la gran diversidad existente en el país, sin embargo, ésta investigación se convierte en referente para la valoración posterior de variedades de maíces criollos e híbridos de acuerdo a las necesidades de cada lugar y con ello tener la posibilidad de iniciar programas de mejoramiento genético.

II. OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Identificar y valorar el grado de resistencia a la infección de *Ustilago maydis* a cielo abierto en 12 variedades comerciales de maíz en los municipios de Villa del Carbón y Toluca.

OBJETIVOS PARTICULARES

- Evaluar la incidencia del hongo mediante inoculación en condiciones de campo.
- Identificar la severidad de la enfermedad causada por la infección del hongo en las 12 variedades.

III. HIPÓTESIS

Tanto las variedades de maíz criollo como híbridas, presentan cierto nivel de resistencia al hongo *Ustilago maydis*.

V. REVISIÓN DE LITERATURA

5.1 El maíz

El maíz es un pasto anual gigante (*Zea mays* ssp. *Mays*) de origen tropical mexicano. La planta es usada para producir granos y forraje, los cuales constituyen la base para la elaboración de alimentos tanto para nuestra especie como para otros animales. (Salvador, 2001). Actualmente el maíz se produce en la mayoría de países del mundo y su ubica como el tercer cultivo, después del trigo y del arroz.

En el año 2001 de acuerdo al reporte del Programa Nacional de Etnobotánica de la Universidad Autónoma Chapingo, la mayor parte de la producción de maíz correspondía a los Estados Unidos, la República Popular China y Brasil, países que, en conjunto, obtiene el 73% de la producción global anual estimada en 456.2 millones de toneladas, México, se coloca en el cuarto mayor productor de maíz del mundo, producía alrededor de 14 millones de toneladas de granos de esta especie sobre una superficie de 6.5 millones de hectáreas. En el año 2014, México produjo 37 106 426.2 toneladas de maíz incluyendo el de grano, forrajero, grano semilla y palomero, siendo los dos primeros los de mayor porcentaje (SIAP, 2014).

5.1.1 Clasificación botánica

El Centro Nacional para la Información Biotecnológica o National Center for Biotechnology Information (NCBI, 2015) establece la siguiente clasificación para el maíz:

Super Reino: Eucaryota
Reino: Viridiplantae
División: Streptophyta
Clase: Liliopsida
Subclase: Commelinids
Orden: Poales
Familia: Poaceae
Subfamilia: Panicoideae
Tribu: Andropogoneae
Subtribu: Tripsacinae
Género: Zea
Especie: Zea Mays.

5.1.2 Descripción botánica

El maíz es una planta de porte robusto y de hábito anual; el tallo es simple, erecto, de elevada longitud alcanzando alturas de 2 a 6 m, con pocos macollos o ramificaciones, su aspecto recuerda al de una caña por la presencia de nudos y entrenudos y su médula esponjosa. Las hojas nacen en los nudos de manera alterna a lo largo del tallo; se encuentran abrazadas al tallo mediante la vaina que envuelve el entrenudo y cubre la yema floral, de tamaño y ancho variable. Las raíces primarias son fibrosas presentando además raíces adventicias, que nacen en los primeros nudos por encima de la superficie del suelo, ambas tienen la misión de mantener a la planta erecta (Jugenheimer, 1988).

Es una planta monoica de flores unisexuales, que presenta flores masculinas y femeninas bien diferenciadas en la misma planta: la inflorescencia masculina es terminal, se conoce como panícula (o espiga) consta de un eje central o raquis y ramas laterales; a lo largo del eje central se distribuyen los pares de espiguillas de forma polística y en las ramas con arreglo dístico y cada espiguilla está protegida por dos brácteas o glumas, que a su vez contienen en forma apareada las flores estaminadas, en cada florecilla componente de la

panícula hay 3 estambres donde se desarrollan los granos de polen. La coloración de la panícula está en función de la tonalidad de las glumas y anteras, que pueden ser de coloración verde, amarilla, rojiza o morada.

Las inflorescencias femeninas (mazorcas) se localizan en las yemas axilares de las hojas, son espigas de forma cilíndrica que consisten de un raquis central u olote donde se insertan las espiguillas por pares, cada espiguilla con dos flores pistiladas una fértil y otra abortiva, estas flores se arreglan en hileras paralelas, las flores pistiladas tienen un ovario único con un pedicelo unido al raquis, un estilo muy largo con propiedades estigmáticas donde germina el polen.

La inflorescencia femenina (mazorca) puede formar alrededor de 400 a 1000 granos arreglados en promedio de 8 a 24 hileras por mazorca; todo esto encerrado en numerosas brácteas o vainas de las hojas (totomoxtle), los estilos largos saliendo de la punta del raquis como una masa de hilo sedoso se conocen como pelo de elote; el jilote es el elote tierno. Por las características mencionadas el maíz es una planta de polinización abierta (anemófila) propensa al cruzamiento, la gran mayoría de los granos de polen viajan de 100 m a 1000 m (Reyes, 1990; Jugenheimer, 1988).

5.1.3 Cultivo y requerimientos ambientales

Milpa (*Milli*) es una palabra de origen náhuatl que quiere decir “heredad, y pan, en, sobre”. Es el terreno dedicado al cultivo del maíz y a veces otras semillas (Diccionario de la Lengua Española, 2008). También se utiliza la traducción de náhuatl *milli* como

sembradío o terreno. La milpa data de tiempos prehispánicos y mantiene su vigencia hasta nuestros días. Es la base de la alimentación e incluye a la planta del maíz con diversas especies de frijoles, calabazas. La milpa se concibe como el espacio físico, la tierra, la "parcela", como las especies vegetales, la diversidad productiva que sobre ella crece. Adicionalmente la milpa es también el reflejo de los conocimientos, la tecnología y las prácticas agrícolas necesarias para obtener de la tierra y del trabajo humano los productos necesarios para satisfacer las necesidades básicas de producción.

El maíz se siembra en una gran variedad de regiones agroecológicas que van de altitudes de 0 m. hasta cerca de los 4,000 m. (Roberts *et al.*, 1957; Ortega-Paczka, R. 2003), se trata de un cultivo presente en muy variadas regiones del planeta, (Ricardo J. Salvador lo determina como un cultivo correspondiente a las regiones templadas del planeta), se cultiva desde el ecuador hasta altas latitudes en los dos hemisferios, las condiciones para que se desarrolle varían en un rango muy amplio, es decir, no es un cultivo específico de una región determinada , *“se siembra en regiones de precipitación pluvial desde menos de 400 mm hasta los 3,000 mm, en suelos y climas muy variables”* (Reyes, 1990). Diferentes estudios sobre maíz indican que, de manera general, se obtiene una mejor producción en climas con temperaturas medias entre 21 y 27°C, con un período libre de heladas en el ciclo agrícola variable de 120 a 180 días (Reyes, 1990).

El maíz es un cultivo exigente en agua, pero su necesidad cambia dependiendo la etapa del cultivo, requiere menor cantidad, pero humedad constante cuando germina, mientras que la fase del crecimiento vegetativo es cuando se requiere una mayor cantidad de agua, incluso, *“la fase de floración es un periodo crítico porque de ella depende el desarrollo,*

la polinización y el llenado de los granos influyendo así en el rendimiento de granos de las plantas. Se adapta muy bien a todo tipo de suelo” (Reyes, 1990).

5.1.4 Importancia

El maíz es considerado el cultivo más importante de México, a partir de la revisión del SIAP del 2010 al 2014, la producción oscila entre 17 y 23 millones de toneladas de maíz de grano anual, en el año 2014, se produjeron 23,273,256.54 toneladas (SIAP,2014), alrededor del 90 por ciento de la producción de maíz se destina al consumo humano, sin embargo, a partir de los años 60’s se ha registrado un déficit nacional en la producción de este cereal y con la entrada del TLC las importaciones de maíz han ido en aumento llegando actualmente al 30% de la producción nacional.

El Anuario Estadístico de la Producción Agrícola (SAGARPA-SIAP, 2014) reporta que el Cierre de la Producción Agrícola por Cultivo, en ese año, la Producción Nacional de maíz en el año agrícola (Otoño-Invierno + Primavera Verano) corresponde a:

Producción (Toneladas) 2014				
CULTIVO	NACIONAL	ESTADO DE MÉXICO	TOLUCA	VILLA DEL CARBÓN
Maíz Grano	23,273,256.54	1,856,138.09	56,696.50	24,684.59
Maíz forrajero	13,777,231.36	1,163,657.01	5,510.00	11,279.80
Maíz grano semilla	53,580.16	-	-	-
Maíz Palomero	2,358.14	-	-	-

El reporte destaca la importancia que tiene el cultivo para el país, el Maíz Grano ocupó el 3er lugar por cantidad de producción de los cultivos nacionales, lo cual representa una riqueza cultural y vegetal, adaptada a casi todas las regiones del mundo, además de una riqueza genética que posibilita el desarrollo de nuevas y mejores variedades. *Por el lugar que ocupa en la alimentación de la población nacional y mundial, por sus incomparables cualidades nutritivas, por las ventajas que ofrece para su cultivo y por la diversidad de productos derivados que se obtienen a partir de él, el maíz constituye lo que un bien estratégico mundial* tal como fue señalado por Adelfo Regino en la ponencia impartida en el Foro “En defensa del Maíz” en marzo de 2002.

5.1.5 Usos

El Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT, 1994) afirma que aproximadamente la mitad del maíz producido en los trópicos se consume directamente como alimento humano y cerca del 40% es usado como alimento animal y el resto está destinado a otros usos. Se trata de un grano muy versátil que se utiliza de maneras tan diversas como sus consumidores, puede ser utilizado como mazorca tierna, grano seco e incluso procesado industrialmente. Los usos de este grano dependen mucho de la región en donde es cultivado, México y América Latina es donde existe la mayor variación de utilización, pero de manera general, se describen los principales a partir del informe detallado de Dowswell, Paliwal y Cantrell emitido en 1996:

El uso principal del maíz corresponde al consumo humano, las mazorcas verdes, son asadas sobre carbón, hervidas en agua con sal para ser condimentadas con chile y

mantequilla o mayonesa ya sea que se consumen los granos en el olote o previamente cortados, el grano fresco sirve para preparar sopas o acompañar como hortalizas.

Los granos maduros secos y enteros, pueden ser tostados y comidos como botana e incluso el maíz denominado palomero se calienta para hacerse reventar y consumir como palomitas. Los granos cocidos en agua de cal se usan para hacer pozole después de haberles quitado el pericarpio. Los granos secos molidos sirven para producir harinas finas o gruesas que sirven para la preparación de ciertos tipos de pastas y panes.

En México, existe otra variante respecto a las formas de preparación de los granos correspondiente al maíz nixtamalizado, los granos remojados y cocidos en agua de cal son pelados y molidos hasta formar lo que se llama masa, la cual se emplea para hacer múltiples alimentos como tortillas, tacos, tamales, atole por mencionar algunos.

El otro uso de mayor porcentaje del maíz es como forraje para el ganado, debido a las características de la planta. Puede utilizarse como forraje en varias etapas del crecimiento de la planta, sobre todo a partir de que emite la inflorescencia, también se utiliza para preparar ensilaje en los países donde el clima no permite que sea un cultivo continuo.

El maíz, también se procesa industrialmente, incluso algunos de los productos de los abordados previamente ya se manufacturan a escala industrial y fácilmente se encuentran en los mercados locales o supermercados por ejemplo, *“las tortillas, harinas de maíz, masa, cereales para el desayuno, espesantes, pastas, jarabes, endulzantes, aceite de maíz, bebidas sin alcohol, cerveza y whisky, alimentos humanos o para los animales domésticos y productos industriales. El proceso de molienda húmeda se usa para la producción de*

almidón puro, endulzantes, dextrosa, fructosa, glucosa y jarabes, incluyendo jarabe de fructosa con proteínas, almidón industrial, fibras, etanol y aceite de maíz a partir del germen” (Dowswell, Paliwal y Cantrell. 1996).

5.2 Mejoramiento genético

El genoma de cada individuo de una especie es distinto y representa una combinación única de información hereditaria de sus padres (Herrera, 2015). En este caso, permite comprender por qué el maíz es un cultivo con características tan diversificadas, desde variedades que crecen en tierras altas o en climas cálidos por qué su requerimiento hídrico es diferente, así como el color de sus granos y el grado de resistencia o susceptibilidad a enfermedades.

A partir de estos elementos, se entiende el mejoramiento genético como una ciencia que logra incrementar el rendimiento o la productividad, la resistencia a agentes abióticos y bióticos adversos, la belleza, la calidad o el rango de adaptación de las especies animales y vegetales domésticas por medio de los cambios en el genotipo (la constitución genética) de los individuos (CIMMYT, 1997).

De acuerdo al informe presentado por el CIMMYT denominado “Impactos del mejoramiento de maíz en América Latina 1966-1997, se identifican los siguientes elementos referentes al mejoramiento genético del maíz:

En primer término, se les denomina materiales mejorados a los productos de los programas de mejoramiento científico de maíz, ya sean variedades de polinización libre (VPL) o híbridos, el término hace referencia a que sus características han sido modificadas de manera que producen beneficios a quienes las cultivan. A partir de esta premisa, el término “mejorado” es apropiado, pero genera una idea ambigua de que las variedades criollas o locales no se consideren mejoradas, lo que es inexacto ya que han experimentado procesos empíricos de mejoramiento intencional o no por los productores desde que seleccionan las semillas idóneas para continuar cultivando.

Las razas criollas han sido sometidas a numerosos ciclos de mejoramiento por parte de los agricultores; quienes tienen el conocimiento (aunque no necesariamente científico) para identificar germoplasma superior y son expertos en seleccionar plantas individuales con las características deseadas. Los procesos de selección que utiliza el agricultor, son la base del fitomejoramiento, pero difieren en que el mejoramiento científico basado en el conocimiento del genoma permite observar logros con mayor rapidez, aun así, el mejoramiento se realiza desde hace miles de años por los propios agricultores, con avances significativos.

Desde los años noventa, la investigación fitogenética de maíz en América Latina corresponde mayormente a las empresas privadas de semilla, mismas que controlan la producción de semilla comercial de maíz en casi todos los países de América Latina. Se observa que el sector privado incrementa la inversión para investigación del mejoramiento, a tal grado que los organismos públicos van en declive en este aspecto, Herrera (2015), lo interpreta incluso como la necesidad de integrar una política de Estado

que tenga como eje central el mejoramiento genético que se vea reflejado en beneficios para los productores.

El impacto del mejoramiento del maíz se hace evidente al analizar que año con año se incrementa la superficie sembrada con germoplasma mejorado de maíz no sólo en México sino en América Latina. Por ejemplo, en 1996, casi 14 millones de has. estaban sembradas con variedades mejoradas, el 48%, mientras que en 1990 se sembraron menos de 10 millones de has. con variedades mejoradas, lo que equivalente a cerca del 43% de la superficie total de maíz (CIMMYT, 1997).

Los fitomejoradores del sector privado han utilizado los materiales del CIMMYT tanto como los fitomejoradores del sector público, o incluso más que éstos. A pesar de que muchas empresas privadas se muestran reacias a proporcionar información detallada sobre los antecedentes genéticos de sus híbridos comerciales, se estima que alrededor del 75% de toda la semilla de híbridos patentados vendida en América Latina en 1996 contenía germoplasma derivado del CIMMYT.

5.2.1 Métodos de mejoramiento

Existen programas de mejoramiento convencional que buscan combinaciones que permitan obtener variedades con mejores características de producción, mejor calidad en el alimento, adaptándose de mejor maneja a las condiciones climáticas y con resistencia a plagas y enfermedades. En los últimos 60 años el conocimiento científico del genoma ha permitido también el establecimiento de programas sistemáticos de mejoramiento que

consisten en la manipulación directa de los genes, o tecnología de edición de genomas, dejando en segundo término el mejoramiento empírico (Herrera, 2015).

Paliwal, establece que las metodologías de mejoramiento del maíz pueden ser divididas en dos grupos mayores: (a) esquemas de selección recurrente para mejoramiento de las poblaciones y (b) desarrollo de líneas puras e híbridos, (Paliwal, 1981).

Esquemas de selección intrapoblacionales

Selección masal: Es el método de mejoramiento de maíz más antiguo, más simple y menos costoso. Se basa en la selección visual entre plantas y mazorcas individuales de maíz, se considera que ha sido usado por los agricultores durante las primeras etapas de domesticación y evolución del maíz.

Medio hermanas/selección mazorca-por-surco: En contraste con el sistema de selección masal donde son sembradas la mayor parte de las semillas de la mazorca, todos los otros esquemas de selección recurrente caen dentro del amplio grupo de selección mazorca-por-surco. La semilla de cada mazorca seleccionada es sembrada en un surco separado. La principal ventaja de este sistema es que la selección se puede basar en el comportamiento del surco/familia así como en el de la planta individual.

Selección de familias hermanas: Una familia de hermanas corresponde a la progenie de una cruce entre dos plantas de maíz. La familia de hermanas puede ser de hermanas simples, por ejemplo, 1x2, 4x5, 8x9, o hermanas recíprocas, por ejemplo, 1x2 y 2x1, 3x4 y 4x3, 8x9 y 9x8. Las familias de hermanas también pueden ser progenies de

cruzamiento en cadena, por ejemplo, 1x2, 2x3, 3x4 y nx1. Es de esperar que un esquema de selección de familias hermanas sea más eficiente que un esquema de selección de medio hermanas. Sin embargo, requiere más trabajo y es más costoso ya que es necesaria la polinización manual. La selección de familias hermanas es generalmente usada con el objetivo de mejorar la población por si misma sin el uso de probadores; este fue uno de los métodos de selección recurrente usado por los primeros mejoradores de maíz, (Hallauer, 1992).

La selección de las progenies auto-fecundadas: no se usó inicialmente para mejorar las características de las poblaciones de maíz porque los efectos de la autofecundación son inmediatamente evidentes, tales como la reducción del vigor y de la productividad, una menor altura, una demora de la floración y una mayor susceptibilidad a las pestes (Hallauer y Miranda, 1988). En los esquemas de selección recurrente, la autofecundación fue usada para propagar genotipos de plantas incluidas en las pruebas de cruzamientos para proporcionar materiales para cruzar plantas seleccionadas. La selección de la progenie auto-fecundada fue usada para características tales como la resistencia a insectos y enfermedades ya que servía para detectar los genes de resistencia.

Selección de pruebas de cruzamientos: Este esquema es usado para mejorar el rendimiento de la población. Estos esquemas esencialmente comprenden:

(a) autofecundación y simultáneamente cruzamiento de cada planta con un probador; (b) evaluación de los cruzamientos en ensayos ejecutados en distintos ambientes, y (c) recombinación de las semillas autofecundadas restantes para empezar el próximo ciclo. La elección de los probadores depende de los objetivos de la selección, de

los probadores disponibles y de la importancia relativa de los efectos genéticos aditivos o no aditivos considerados importantes en los cruzamientos.

Esquemas de mejoramiento entre poblaciones

El concepto del procedimiento de selección recurrente entre poblaciones para la mejora simultánea de dos poblaciones, fue introducido por Comstock (1949).

Selección recurrente recíproca de familias medio hermanas: Es un esquema de selección recurrente recíproca de familias medio hermanas. Consta de las siguientes etapas: (a) dos poblaciones, A y B, son seleccionadas para ser mejoradas diseñadas simultáneamente como poblaciones contrastantes o recíprocas; (b) las plantas individuales son autofecundadas y al mismo tiempo cruzadas con muestras al azar de la población recíproca; (c) las familias medio hermanas de cada población son probadas para rendimiento en distintos ambientes, y (d) la semilla S1 de las familias seleccionadas es cruzada dentro de cada población para formar nuevas poblaciones A y B para iniciar el nuevo ciclo de selección.

Selección recurrente recíproca de familias hermanas: El esquema de selección usando familias medio hermanas en la selección recurrente recíproca fue usado inicialmente por Villena (1965), Lonquist y Williams (1967), Hallauer y Eberhart (1970). Las etapas básicas de este esquema son similares a aquellas del esquema de selección recurrente recíproca de las familias medio hermanas con la diferencia de que familias hermanas son usadas para la evaluación y la selección. Se usan plantas prolíficas con dos mazorcas. Las familias hermanas son hechas cruzando plantas individuales de la

población A con la población B y vice versa. Siempre que sea posible, se hacen hermanas recíprocas entre las mismas plantas específicas de las poblaciones A y B. La segunda mazorca de esas plantas es autofecundada para producir familias S1. Las familias de hermanas son entonces probadas en ensayos de evaluación en múltiples localidades. En este esquema en vez de probar dos grupos de familias medio hermanas de dos poblaciones recíprocas, se prueba un grupo de familias hermanas recíprocas.

Por lo tanto, este sistema es más económico y eficiente en el uso de los recursos en la fase de evaluación que el esquema de selección de medio hermanas recíproco (Hallauer, 1992). Los materiales seleccionados S1 corresponden a las mejores familias hermanas de dos grupos de progenies S1 y se cruzan dentro del mismo grupo para generar nuevas poblaciones A y B para el siguiente ciclo de selección. El cruzamiento puede ser hecho en un bloque aislado donde todos los S1 seleccionados de una población se siembran y se despanojan, con todo el material seleccionado de S1 sirviendo como polinizador. Este esquema requiere tres estaciones de crecimiento para completar un ciclo de selección.

5.3 Patologías

El Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT, 2004) publicó una guía para identificar más de 50 enfermedades causadas por hongos, bacterias, virus y mollicutes, que afectan los cultivos de maíz en todo el mundo, en este caso se destacan las enfermedades comunes del Valle de Toluca, que a continuación se indican:

5.3.1 Enfermedades

En la zona de Villa del Carbón y Toluca se consideran como las principales limitantes a las siguientes enfermedades y sus características (De León, 2004).

5.3.1.1 Pudrición de la Mazorca

Pudrición de mazorca por *Penicillium* (*Penicillium* spp.)

El daño más frecuente es causado por *Penicillium oxalicum*, aunque en ocasiones puede haber otras especies asociadas. Muchas veces la infección está asociada con el daño causado por insectos en la mazorca. Un polvo de color azul-verdoso muy conspicuo crece entre los granos y sobre la superficie del olote (raquis). Los granos dañados por el hongo desarrollan un color amarillento y rayas visibles en el pericarpio.

Pudrición de mazorca por *Aspergillus flavus*, (*Aspergillus* spp.) Esta enfermedad puede constituir un problema serio cuando se almacenan mazorcas infectadas con alto contenido de humedad. Existen varias especies de *Aspergillus* capaces de infectar las plantas de maíz en el campo. La más común es *A. niger*, que genera masas pulverulentas negras de esporas que cubren los granos y el olote o raquis, a diferencia de *A. glaucus*, *A. flavus* y *A. ochraceus*, cuyas masas normalmente son amarillo-verdosas; y de *A. parasiticus*, la especie menos común, cuya masa es verde hiedra. *Aspergillus flavus* y *A. parasiticus* producen micotoxinas, conocidas como aflatoxinas, que resultan tóxicas para mamíferos y aves.

Pudriciones de mazorca por *Gibberella* y *Fusarium*. *Fusarium graminearum* (sin. *F. roseum*) (Teleomorfo: *Gibberella zeae*) *Fusarium moniliforme*, sin. *F. verticillioides* (Teleomorfo: *Gibberella fujikuroi*). En el maíz, estas dos especies de hongos provocan pudrición de mazorca y de tallo, y tizón en las plántulas. *Gibberella zeae*, el estado sexual del patógeno, es más común en las zonas frías y húmedas. Los primeros signos de la infección son la formación de micelios blancos, que van descendiendo desde la punta de la mazorca y dan una coloración rojiza y rosada a los granos infectados. El hongo produce micotoxinas (conocidas como deoxinivalenol, zearalenona y zearalenol) que son tóxicas para varias especies animales. La pudrición por *Fusarium moniliforme* es probablemente el patógeno más común de la mazorca de maíz en todo el mundo. A diferencia de *G. zeae*, el daño que causa *F. moniliforme* se manifiesta principalmente en granos individuales o en ciertas áreas de la mazorca. Los granos infectados desarrollan un moho algodonoso o rayas blancas en el pericarpio y germinan estando aún en el olote. Por lo general, las mazorcas invadidas por barrenadores del tallo son infectadas por *F. moniliforme*. El hongo produce micotoxinas conocidas como fumonisinas, que son tóxicas para algunas especies animales.

Pudrición de mazorca por *Nigrospora* Anamorfo: *Nigrospora oryzae* (Teleomorfo: *Khuskia oryzae*) Esta enfermedad está ampliamente distribuida y el hongo causante sobrevive generalmente en los residuos de las plantas que quedan en el campo. Las mazorcas están disecadas (momificadas) y no pesan. Además, los granos están manchados y se desprenden fácilmente del olote. Un examen cuidadoso de los tejidos del olote y de las puntas de los granos mostrará pequeñas masas negras de esporas.

Pudrición gris de mazorca *Physalospora zeae* (sin. *Botryosphaeria zeae*) (Anamorfo: *Macrophoma zeae*) Si, después de la floración, llega a presentarse un periodo de varias semanas de mucho calor o humedad, esto favorecerá la pudrición de la mazorca. Los primeros síntomas son muy similares a aquellos de *Stenocarpella*: aparece un moho blanco-grisáceo que crece entre los granos y las brácteas, que luego se decoloran y se aglutinan. En las etapas posteriores de la infección, los dos hongos se pueden identificar con facilidad. (a) Pudrición gris de mazorca. La mazorca tiene un marcado color negro; el moho es también oscuro y produce pequeños esclerocios o puntos negros dispersos en la mazorca. (b) Pudrición de mazorca por *Stenocarpella*. La mazorca es de color gris-pardusco y el moho, blanco con picnidios negros que cubren el olote y los granos.

5.3.1.2 Carbón de la Espiga

Sporisorium reilianum. El carbón de la espiga puede ocasionar daños económicos significativos en zonas maiceras tanto secas y cálidas como de altitud intermedia y clima templado. La infección es sistémica, lo cual significa que el hongo penetra las plántulas y se desarrolla dentro de las plantas sin que éstas muestren síntomas, hasta que llegan a la floración y la emisión de estigmas. Los síntomas más conspicuos son: a) el desarrollo anormal de las espigas (panojas), que se deforman y crecen excesivamente; b) la formación de masas negras de esporas en algunas florecillas macho, y; c) el desarrollo de masas negras de esporas en lugar de mazorcas, que dejan al descubierto los haces vasculares desgarrados.

5.3.1.3 Diente de Caballo

Cornezuelo, diente de caballo *Claviceps gigantea*. Esta enfermedad (anamorfo *Sphacelia sp.*) es endémica en ciertas regiones elevadas, frías y húmedas de la meseta central de México. Los granos infectados se convierten en extensas estructuras fúngicas conocidas como esclerocios y se mezclan con los granos sanos. En las primeras etapas de la infección, los esclerocios son de color claro, suaves y viscosos, y se van endureciendo a medida que se acerca la cosecha. No producen el polvo negro característico del carbón común, pero cuando caen al suelo, germinan y desarrollan muchas estructuras parecidas a cabezuelas (estromas), las cuales liberarán esporas nuevas durante la emisión de estigmas en el siguiente ciclo de cultivo. Este patógeno está estrechamente relacionado con el del cornezuelo del centeno y también produce alcaloides tóxicos

5.3.1.4 Tizón

Tizón foliar por *turcicum* Teleomorfo: *Setosphaeria turcica* (sin. *Trichometasphaeria turcica*) (Anamorfo: *Exserohilum turcicum*, sin. *Helminthosporium turcicum*) Uno de los primeros síntomas consiste en la aparición de manchas pequeñas, ligeramente ovaladas y acuosas que se producen en las hojas y que son fácilmente reconocibles. Estas lesiones se transforman luego en zonas necróticas alargadas y ahusadas, que se manifiestan primeramente en las hojas más bajas y cuyo número aumenta a medida que se desarrolla la planta. Se puede llegar a producir la quemadura total del follaje. El tizón por *turcicum* (o tizón norteño de la hoja) se encuentra distribuido por todo el mundo y ocurre particularmente en zonas donde hay mucha humedad y temperaturas moderadas durante el periodo de crecimiento. Cuando la infección se produce antes o durante la aparición de

los estigmas, y si las condiciones son óptimas, ésta puede ocasionar daños económicos considerables.

Tizón foliar por maydis Teleomorfo: *Cochliobolus heterostrophus* (Anamorfo: *Bipolaris maydis*, sin. *Helminthosporium maydis*) Cuando comienzan a formarse, las lesiones son pequeñas y romboides. A medida que maduran se van alargando, pero las nervaduras adyacentes restringen su crecimiento y la forma final de la lesión es rectangular, de 2 a 3 cm de largo. Las lesiones pueden llegar a fusionarse y producir la quemadura completa de extensas áreas foliares. Los síntomas descritos corresponden a la raza “O” del hongo. A principios de los años 1970, la raza “T” causó graves daños a las variedades de maíz en los Estados Unidos de Norteamérica a las cuales se había incorporado la fuente Texas de androesterilidad. Las lesiones que produce la raza T son ovaladas y más grandes que las de la raza O. Una diferencia importante entre ambas es que la raza T afecta las brácteas y las vainas de las hojas, y la raza O normalmente no lo hace. El tizón foliar por maydis (o tizón sureño del maíz) está generalizado en zonas maiceras cálidas y húmedas. Para causar infección, el hongo requiere temperaturas ligeramente más altas que *E. turcicum*; no obstante, a menudo ambas especies se encuentran en una misma planta.

Tizón amarillo Anamorfo: *Phyllosticta maydis* (Teleomorfo: ***Mycosphaerella zeae-maydis***) En 1970 a esta enfermedad se le asoció a la presencia de androesterilidad de Texas en materiales susceptibles, y varios científicos la relacionaron con las pérdidas de rendimiento y el aumento en el acame. La humedad y el calor favorecen su desarrollo. Los síntomas en plantas jóvenes enfermas son similares a los de la deficiencia de nitrógeno.

En plantas maduras las lesiones son angostas, necróticas y paralelas a las nervaduras, aunque éstas no restringen su crecimiento. Más tarde las lesiones se fusionan y producen una necrosis característica cerca del ápice de la hoja.

5.3.1.2 Carbón Común

Ocasionado por *Ustilago maydis* El carbón común ocurre en todas las regiones productoras de maíz, pero puede ser más grave en climas húmedos y templados que en las tierras bajas tropicales con clima caluroso y húmedo. El hongo ataca las mazorcas, los tallos, las hojas y las espigas. Unas agallas blancas cerradas muy conspicuas sustituyen a los granos individuales. Con el tiempo las agallas se rompen y liberan masas negras de esporas que infectarán las plantas de maíz del siguiente ciclo de cultivo. La enfermedad causa daños más graves en plantas jóvenes en estado activo de crecimiento y puede producirles enanismo o matarlas. El carbón común se distingue fácilmente del carbón de la espiga por la ausencia de tejidos vasculares que aparecen en forma de fibras en las mazorcas infectadas por este patógeno.

5.4 Tolerancia de maíz a *Ustilago maydis*

La gran mayoría de las variedades de maíz presentan algún grado de resistencia al ataque del *Ustilago maydis*, siendo las variedades de maíz dulce las más susceptibles a esta enfermedad (Pataky et al., 1995). Además, la infección, rendimiento y contenido antioxidante y nutrimental de *Ustilago maydis* es dependiente de la variedad y la composición del inóculo (Carrillo, 2011). La infección natural algunas veces no es muy confiable, ya que la aparición del hongo en el maíz depende de las condiciones

ambientales que conducen a la infección del carbón y a la asociación entre la etapa en el desarrollo del hospedero durante el período de infección y el tejido de la planta en el cual se forman las agallas. Un método eficiente de inoculación es más real para poder hacer evaluaciones de la resistencia del maíz al carbón común (Pataky, 1991).

El período de incubación se ha encontrado desde 7 a 16 días bajo invernadero (Thakur et al., 1989; Valverde et al., 1993; Carrol, 1998) o de 17 a 19 días en campo, pudiendo variar de 15 a 24 días (Pope y McCarter, 1992a; Pataky et al., 1995; Villanueva, 1995). El apareamiento o fusión de las hifas haploides, así como la patogenicidad, están reguladas genéticamente por un sistema tetrapolar en el que intervienen dos genes denominados *a* y *b*. El gene *a* controla el apareamiento de las esporidias y codifica las feromonas y los receptores de éstas. El gene *b* regula los eventos después de la fusión, incluso mantiene la infección de la célula y el desarrollo sexual entre el tejido de la planta y la patogenicidad del hongo (Snetselaar y Mims, 1993; Kronstad, 1999). El gene *a* presenta dos alelos y el gene *b* alelos múltiples, mencionándose poco más de 25 hasta 33 (Barret et al., 1992; Bolker et al., 1992).

La resistencia al carbón del maíz está determinada genéticamente en forma dominante por un solo par de genes, según la segregación en la F2 (Jones, 1918; Immer, 1928; citados por Villanueva, 1995). Aunque para Hoover (1932) la segregación correspondió a dos pares de genes independientes, donde uno controla la resistencia morfológica y otro la fisiológica. Tales resultados fueron las bases para la creciente obtención de maíz híbrido resistentes al carbón común en los Estados Unidos de América. Por su parte, Christensen (1963) aseguró que son pocos los genes del maíz que participan en la reacción al carbón.

Los híbridos resistentes al carbón han sido producidos en programas de mejoramiento, pero la naturaleza y durabilidad de la resistencia ha permanecido.

La respuesta del maíz al ataque de *Ustilago maydis* está condicionada por la variabilidad del hongo y de la planta; así como por los mecanismos de infección y el medio ambiente. Las variedades de maíz difieren en su susceptibilidad a este hongo y desde principios de siglo se sabe que el maíz dulce es especialmente sensible (Christensen, 1963; Valverde, 1992; Vanegas, 1995). La resistencia de algunas variedades de maíz parece que está asociada a caracteres morfológicos, funcionales y fisiológicos de las plantas (Valverde, 1992; Vanegas, 1995, Guevara Lara y col., 2000).

VI. MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se llevó a cabo en dos poblados, el primero es San Jerónimo Zacapexco, ubicado en carretera a Atlacomulco #33, Colonia Los Alaníz, C.P. 54310, municipio de Villa del Carbón. Su clima predominante es templado y frío en invierno. La locación es clasificada como Cwb (Köppen Geiger,1936). La temperatura media anual es de 20°C con humedad constante. La precipitación es de 998mm. Se sitúa a una altitud media de 2,555 m.s.n.m. Se empleó un terreno cuya superficie corresponde a 650 metros cuadrados.

El segundo poblado es El Cerrillo Piedras Blancas, perteneciente al Municipio de Toluca Centro Universitario km.15. Carretera Toluca-Ixtlahuaca. C.P. 50200. Su clima predominante es templado subhúmedo, la locación es clasificada como Cwb (Köppen Geiger,1936) la temperatura media anual es de 13.3°C. La precipitación es de 793mm.al año. Se sitúa a una altitud de 2680 m.s.n.m. El terreno para desarrollar el proyecto de investigación fue proporcionado por la Facultad de Ciencias Agrícolas con una superficie aproximada de 650 metros cuadrados.

6.1 Diseño Experimental

Se sembraron 12 variedades de maíz en un diseño de bloques completamente al azar (Figura 1) con dos repeticiones (Toluca y Villa del Carbón), se sembraron cuatro surcos de cada variedad por bloque con aproximadamente 30 plantas cada uno. El manejo agronómico del cultivo fue similar para ambas parcelas, fertilización, riego y limpieza. En cada bloque se identificaron los surcos de la orilla como barreras y los dos centrales correspondieron a las plantas empleadas para el experimento o parcela útil. Se le dio

seguimiento al cultivo para verificar que no existieran problemas de enfermedades, plagas, que pudieran afectar el desarrollo de las plantas hasta que los órganos reproductores se encontraran desarrollados haciendo referencia a que la mayor atención estuvo puesta en el crecimiento de los estigmas que se inocularon con basidiosporas de carbón común.



Figura 1. Establecimiento del diseño experimental de bloques completamente al azar. Centro Universitario, El Cerrillo Piedras Blancas, Municipio de Toluca.

Las variedades con las que se trabajó son las siguientes:

	VARIEDAD	EMPRESA	CICLO VEGETATIVO	ADAPTABILIDAD m.s.n.m*
1	HC8	ASPROS	Precoz	1800-2700
2	AS-722	ASPROS	Intermedio-tardío	2300-2600
3	HID-17	ICAMEX	Intermedio	2400
4	H50	INIFAP	Intermedio	2400
5	H40	INIFAP	Intermedio	2000-2600
6	BG1384W	BIOGENE	Precoz	2600
7	Cacahuazintle	NATIVO	Intermedio	2400
8	Criollo Regional Blanco	NATIVO	Intermedio	2600
9	Criollo Regional Amarillo	NATIVO	Intermedio	2600
10	Criollo Blanco Aculco	NATIVO	Intermedio	2400
11	Criollo Negro Aculco	NATIVO	Precoz	2400
12	Criollo Amarillo Aculco	NATIVO	Intermedio	2400

***metros sobre el nivel del mar**

6.2 Preparación del inóculo

Se realizó una colecta de huitlacoche del ciclo inmediato anterior, para obtener teliosporas (Figura 2), que fueron utilizadas como inóculo en la inoculación de los jilotes recién emergidos. La preparación del inóculo consistió en la preparación del medio de cultivo Papa-Dextrosa-Agar (PDA), sobre su superficie se colocaron las teliosporas de *Ustilago maydis* para inducir su germinación, durante un periodo de 48 horas, hasta observar la emisión del basidio en el microscopio.

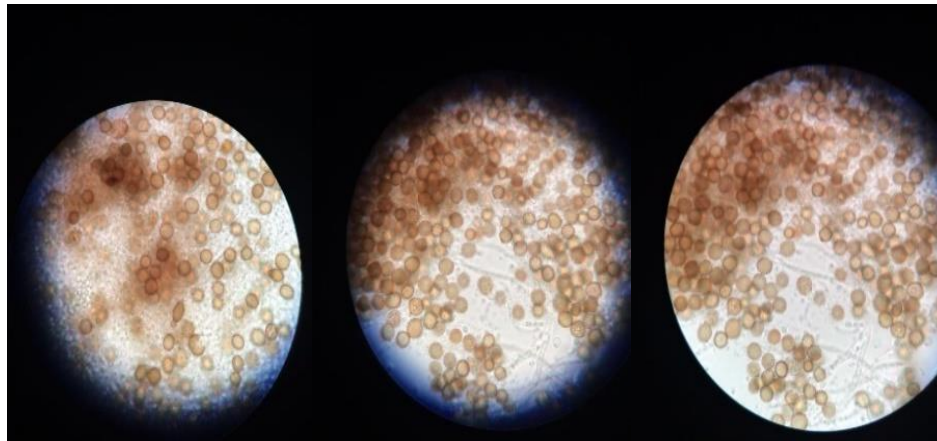


Figura 2. Teliosporas colectadas el ciclo anterior observadas en microscopio con el objetivo 100X

6.3 Inoculación

Una vez transcurridas las 48 horas, las teliosporas germinadas en el medio de cultivo se diluyeron en agua estéril para inocular 5 mililitros directo al jilote, 15,104 basidiosporas/ml, es decir un total de 75,520 basidiosporas, usando una jeringa (Figura 3). Dependiendo de las condiciones climáticas los signos del hongo se desarrollaron en un periodo aproximado de 20 a 25 días, una vez confirmada la formación de agallas y

observación de las nuevas teliosporas, se inició la evaluación de la expresión de la enfermedad.



Figura 3. Inoculación de Basidiosporas en jilotes de maíz con jeringa.

6.4 Análisis de susceptibilidad y resistencia

Transcurrido el tiempo de la inoculación y reproducción del hongo en las plantas de los surcos centrales de todas las variedades se procedió a la recolección y registro de las mazorcas infectadas, evaluando el nivel de incidencia y el grado de infección alcanzada o severidad. Se evaluó la incidencia del huitlacoche en cada planta útil.

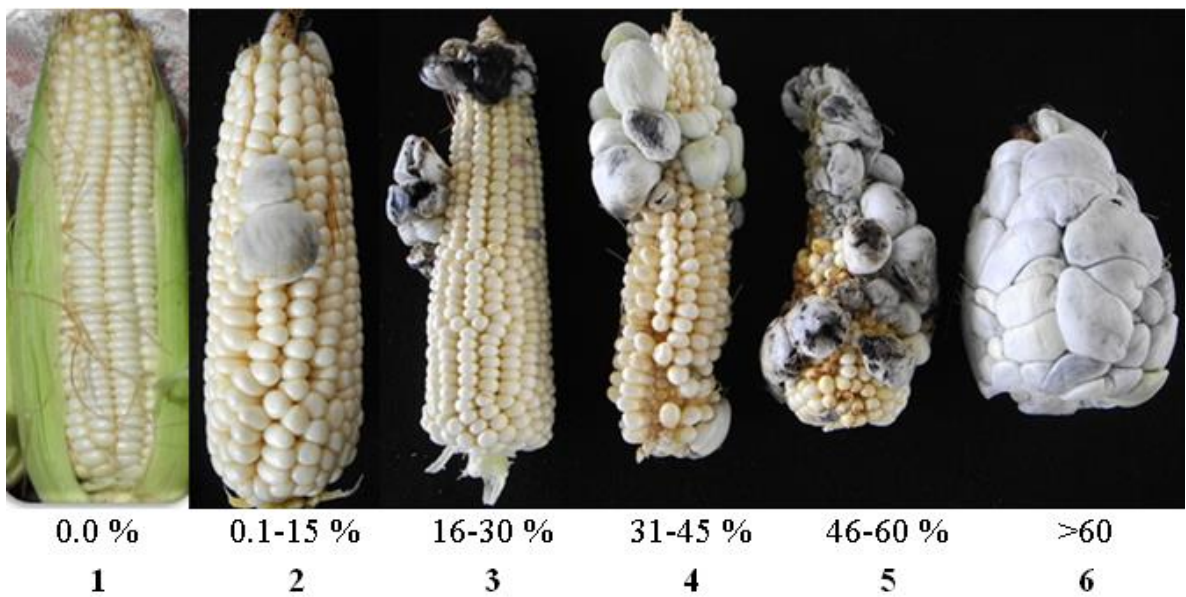
La incidencia (%) se determinó como el cociente entre plantas con mazorcas con carbón común y el total de plantas inoculadas a los 30 días posteriores a la inoculación. Por tratarse de datos no paramétricos, se realizó una transformación de datos por logaritmo inverso base 10 para realizar su posterior análisis. Mientras que la severidad, se evaluó al obtener el valor de la severidad media ponderada mediante la escala diagramatizada compuesta de 6 clases, tomando como referencia los indicadores por

Quiñones (2015) adecuándola para valorar la severidad de infección por *Ustilago maydis*.

(Cuadro 1)

Cuadro 1. Escala diagramatizada del carbón común en maíz causado por *Ustilago maydis*. Los números indicados en el rango de daño es el porcentaje de área de la mazorca cubierto por la enfermedad.

Clase	Rango de daño en tejido
1	0 % Sano, sin síntomas visibles
2	0.1 – 15 %
3	16 – 30 %
4	31- 45 %
5	46 – 60%
6	>60%



6.5 Análisis estadístico

Se realizó el análisis de varianza con los datos obtenidos para las variables de incidencia y severidad por cada localidad evaluada. Para el caso de que existieran diferencias significativas se procedió a realizar la prueba de separación de medias con la prueba de Tukey al 0.05%. Los dos tipos de análisis se realizaron con el programa estadístico SAS (SAS, Institute versión 9.0)

6.6 Modelo Estadístico

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \epsilon_{ij}$$

$$i=1,2,\dots,t; \quad j=1,2,\dots,r$$

Y_{ij} Es el valor observado de la variable de respuesta en el bloque j y en el tratamiento i .

μ Es la media general del experimento

τ_i Es el efecto del tratamiento i .

β_j Es el efecto del bloque j .

ϵ_{ij} Es el error experimental asociado al tratamiento i en el bloque j .

VII. RESULTADOS

7.1 Villa del Carbón

7.1.1 Evaluación de Incidencia y Severidad

La presencia de signos y síntomas del hongo se observaron a partir de los 25 días después de la inoculación en las dos localidades evaluadas. El análisis de varianza realizado para estas variables indicó que, en el municipio de Villa del Carbón, la incidencia de la enfermedad mostró una diferencia altamente significativa entre las variedades de maíz inoculadas. Similarmente, la severidad presentó diferencia significativa (Cuadro 2).

Cuadro 2. Resultados de Análisis de Varianza (ANOVA) para las variables Incidencia y Severidad obtenidos en 12 variedades de maíz inoculadas con carbón común durante el ciclo PV 2014 en Villa del Carbón, Estado de México.

F. V.	G. L.	Incidencia	F. V.	G. L.	Severidad
Villa del Carbón	11	9.88**	Villa del Carbón	11	6.09*
C.V.		37.1	C.V.		25.4
R ²		0.73	R ²		0.59
EE		0.11	EE		0.12

F. V.: Fuente de Variación; G.L.: Grados de Libertad; C.V.: Coeficiente de Variación; **Altamente Significativo $p \leq 0.05$; *Significativo $p \leq 0.05$; EE: Error Estándar de la media.

La separación de medias realizada con la prueba de Tukey al 0.05% indicó que la variedad expresada en el genotipo de maíz HC8 (Aspros) presentó el mayor nivel de incidencia (42.46%), seguido de las variedades HID-17 y AS-722 que fueron estadísticamente iguales, aunque numéricamente difieren. La menor incidencia se presentó en los materiales Criollo blanco Aculco (3.77%), Criollo Negro Aculco (2.64%) y Criollo regional amarillo (0.96%) (Cuadro 3 y Figura 4.)

Cuadro 3. Comparación de medias en la variable Incidencia de carbón común inoculado en 12 variedades de maíz, durante ciclo PV-2014 en Villa del Carbón, Estado de México.

Fuentes de Variación Variedades	Incidencia
HC8	42.46 a
HID-17	28.55 ab
AS-722	26.28 ab
Cacahuazintle	18.84 abc
H-50	11.58 abc
H-40	10.43 abc
Criollo Regional Amarillo	8.81 abcd
Criollo Amarillo Aculco	6.12 bcd
Biogene (BG-1384W)	2.95cd
Criollo Blanco Aculco	3.77cd
Criollo Negro Aculco	2.64 cd
Criollo Regional Blanco	0.96 d

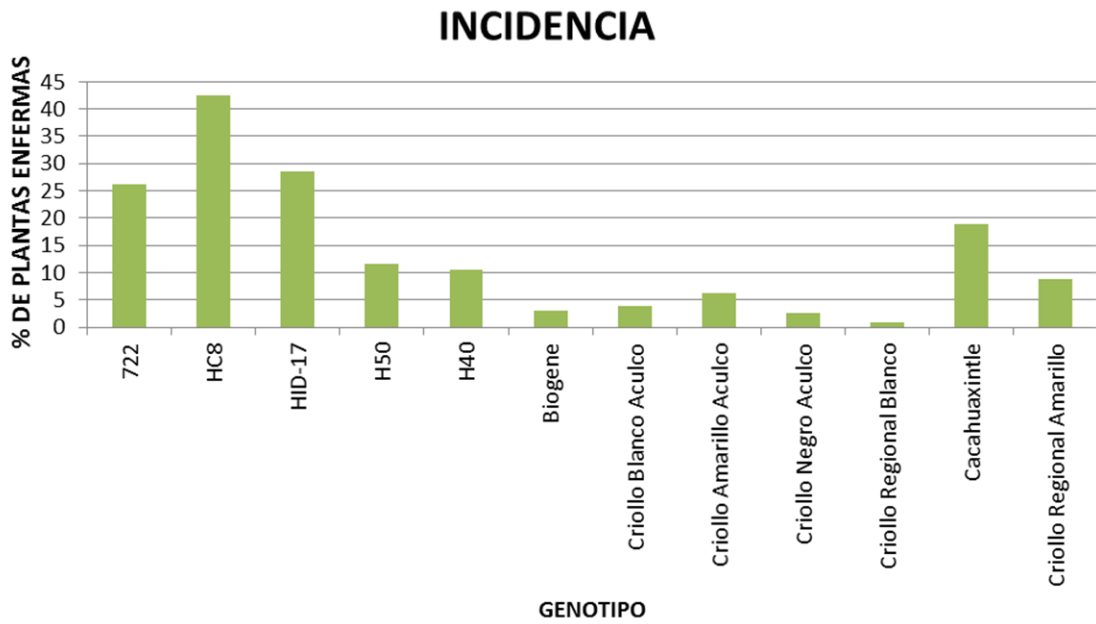


Figura 4. Incidencia (%) de carbón común (*Ustilago maydis*) en 12 genotipos de maíz expresada en el Municipio Villa del Carbón.

La separación de las medias con la prueba de Tukey al 0.05% indicó que la mayor severidad corresponde a la variedad HC8 (2.13%) la cual, estadística y numéricamente se distingue del resto de las variedades. Se identificó la similitud estadística entre las variedades HID-17 (1.82%), AS-722 (1.74%), Cacahuazintle (1.32%), H-50 (1.31%) y Criollo Regional Amarillo (1.26%), sin embargo, existió diferencia numérica entre ellas. El resto de las variedades mostraron menor severidad, como son H-40 (1.26%), Criollo Amarillo Aculco (1.21%), Criollo Blanco Aculco (1.18%), Criollo Negro Aculco (1.10%), Biogene (BG-1384W), (1.09%) y Criollo Regional Blanco (1.04%), (Cuadro 4 y Figura 5.).

Cuadro 4. Comparación de medias en la variable Severidad de carbón común inoculado en 12 variedades de maíz, durante ciclo PV-2014 en Villa del Carbón, Estado de México.

Fuentes de Variación Variedades	Severidad
HC8	2.13a
HID-17	1.82ab
AS-722	1.74ab
Cacahuazintle	1.32ab
H-50	1.31ab
Criollo Regional Amarillo	1.26ab
H-40	1.26b
Criollo Amarillo Aculco	1.21b
Criollo Blanco Aculco	1.18b
Criollo Negro Aculco	1.10b
Biogene (BG-1384W)	1.09b
Criollo Regional Blanco	1.04b

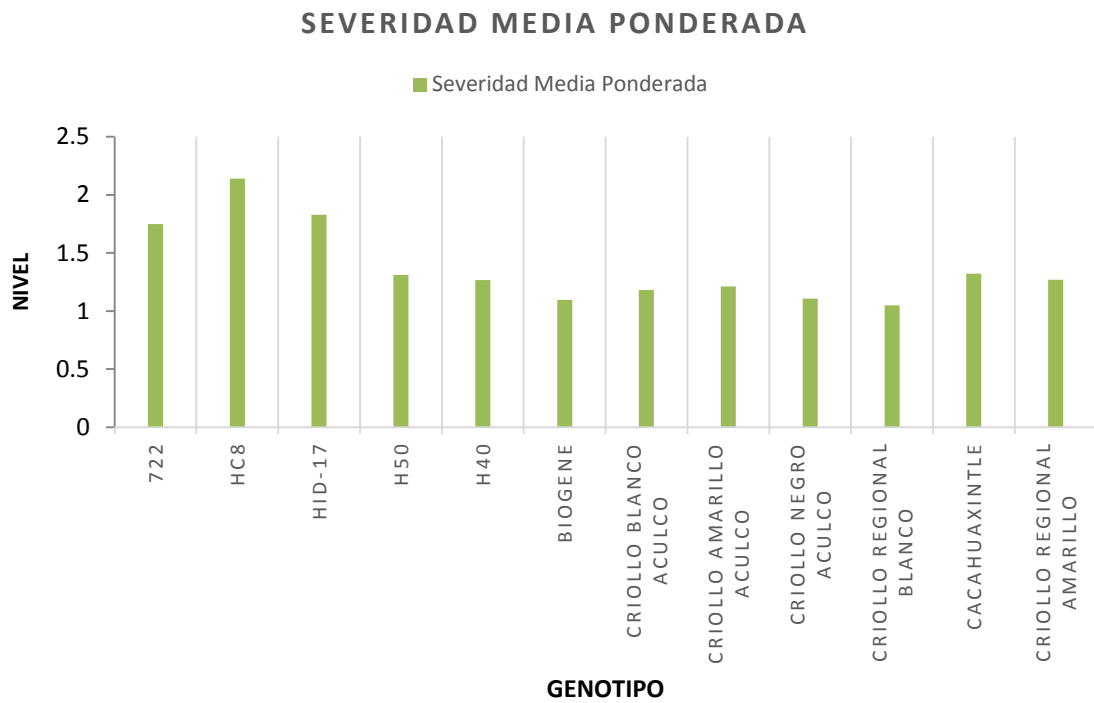


Figura 5. Severidad media ponderada expresada en 12 genotipos de maíz inoculados con *Ustilago maydis*.

7.2 Toluca

7.2.1 Evaluación de Incidencia y Severidad

El análisis de varianza realizado para estas variables indicó que, en el municipio de Toluca, la incidencia y la severidad de la enfermedad mostraron resultados No Significativos (Cuadro 5 y Figura 6).

Cuadro 5. Resultados de Análisis de Varianza (ANOVA) para las variables Incidencia y Severidad obtenidos en 12 variedades de Maíz inoculadas con carbón común durante el ciclo PV 2014 en Toluca, Estado de México.

Fuentes de Variación	G. L.	Incidencia	Fuentes de Variación	G. L.	Severidad
Toluca		2.78 N.S	Toluca		5.26 N.S
C.V.		23.3	C.V.		25.2
R²		0.48	R²		0.51
EE		0.09	EE		0.14

F. V.: Fuente de Variación; G. L.: Grados de Libertad; C.V.: Coeficiente de Variación;

**Altamente Significativo $p \leq 0.05$; *Significativo $p \leq 0.05$; N.S.: No Significativo

EE: Error Estándar de la media.

Cuadro 6. Incidencia de carbón común inoculado en 12 variedades de maíz, durante ciclo PV-2014 en Toluca, Estado de México.

Fuentes de Variación Variedades	Incidencia (%)
AS-722	44.26
HID-17	42.77
H-50	33.06
HC-8	35.75
Criollo Regional Amarillo	22.85
Criollo Regional Blanco	18.21
H-40	18.66
Biogene (BG-1384W)	15.59
Criollo Negro Aculco	19.87
Cacahuazintle	21.73
Criollo Blanco Aculco	11.75
Criollo Amarillo Aculco	9.63

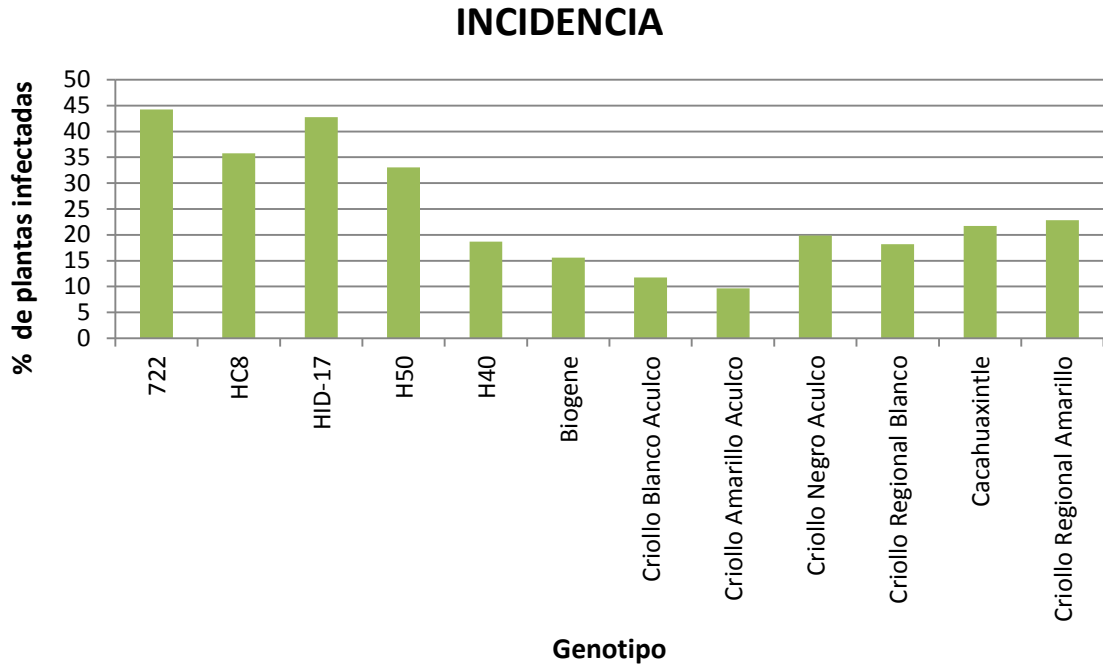


Figura 6. Incidencia (%) de carbón común (*Ustilago maydis*) en 12 genotipos de maíz expresada en el Municipio de Toluca.

La separación de medias con la prueba de Tukey al 0.05% indicó que estadísticamente las doce variedades muestran el mismo grado de severidad por lo tanto no existe diferencia estadística significativa en las variedades, sin embargo, se identifica que numéricamente las variedades que presentaron mayor severidad son AS-722 (2.11%), HID-17 (1.93%) y HC8 (1.75%). Mientras que en los materiales Criollo Blanco Aculco (1.20%) y Criollo Amarillo Aculco (1.20%) se identificó que la severidad coincide numérica y estadísticamente, pero se posicionan en los dos últimos lugares de la tabla, presentando, por ende, la menor severidad (Cuadro 7 y Figura 7).

Cuadro 7. Severidad media ponderada del carbón común inoculado en 12 variedades de maíz, durante ciclo PV-2014 en Toluca, Estado de México.

Fuentes de Variación Variedades	Severidad
AS-722	2.11
HID-17	1.93
HC-8	1.75
H-50	1.71
Criollo Negro Aculco	1.52
Criollo Regional Amarillo	1.44
Cacahuazintle	1.39
H-40	1.36
Biogene (BG-1384W)	1.34
Criollo Regional Blanco	1.34
Criollo Blanco Aculco	1.20
Criollo Amarillo Aculco	1.20

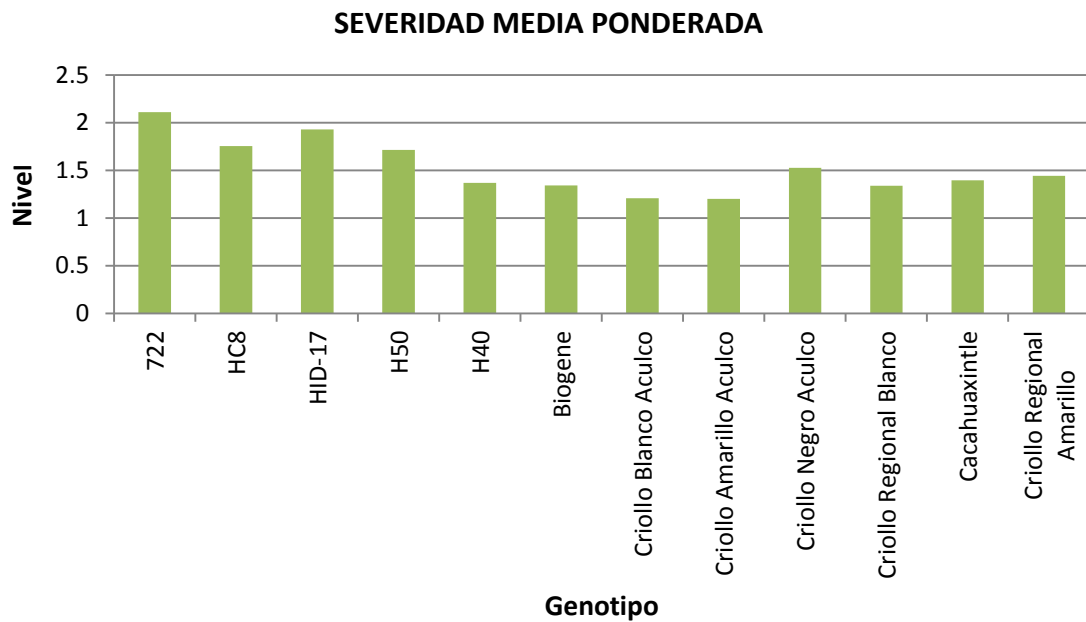


Figura 7. Severidad Media Ponderada expresada en 12 genotipos de maíz inoculados con *Ustilago maydis*.

VIII. DISCUSIÓN

Las 12 variedades de maíz mostraron algún grado de susceptibilidad a *Ustilago maydis*, en los dos ambientes evaluados, tanto en materiales mejorados como en los criollos. El hecho de que se exprese la enfermedad es indicativo de condiciones favorables para el desarrollo de carbón común en la zona del Valle de Toluca, que es una condición para el desarrollo de la epidemia ante genotipos susceptibles.

En otros países es considerada una enfermedad no deseable (Agrios, 2008) alcanzando niveles de 10% de incidencia (Romero, 1993). Si bien, el carbón común es un elemento deseable en los cultivos de maíz, para la cultura del centro-sur de nuestro país, por ser usado y considerado como alimento, los resultados determinados en el presente trabajo indican que el tener genotipos susceptibles en una región es uno de los factores que pueden desencadenar la aparición repentina de epidemias si las condiciones ambientales le son favorables.

Por otro lado, la variedad AS-722 mostró la mayor incidencia y severidad del carbón común en las dos localidades evaluadas, resultados similares se reportaron con esta variedad, pero en carbón de la espiga del maíz por Aquino et al. (2011) en diferentes localidades evaluadas del Estado de México.

Es necesario indicar que, en términos de multiplicación del hongo con fines alimenticios y comerciales, éste material puede ser utilizado como un hospedante promisorio, aunque es necesario regular esta actividad para evitar infestaciones regionales que impacten en el

rendimiento del grano de maíz, y con ello evitar poner en riesgo la producción de grano y secundariamente la disponibilidad del alimento básico. Además, es necesario evaluar la degustación del producto y características organolépticas. La menor severidad e incidencia expresada por los diversos materiales criollos de Aculco, es indicativo de un mayor nivel de tolerancia a la expresión de la enfermedad.

Es importante destacar que los postulados de Koch hacen referencia a las condiciones ambientales que prevalecen durante el experimento ya que pueden dar lugar a una mayor incidencia de la enfermedad, además De León (1974) refiere que las condiciones climáticas son relevantes para el desarrollo de la enfermedad e indica que la aparición del hongo puede ser más grave en climas húmedos y templados más que en calurosos y húmedos.

El experimento se llevó a cabo en el año 2014, por lo tanto, se incluyen las gráficas (Figura 8 y 9) que muestran la relación entre las condiciones climáticas que prevalecieron en las localidades (temperatura y precipitación), mismas que pudieron dar lugar a una mayor incidencia de la enfermedad.

Figura 8. Relación entre las variables temperatura y precipitación anual en Toluca Estado de México que se mostraron durante la realización del experimento.

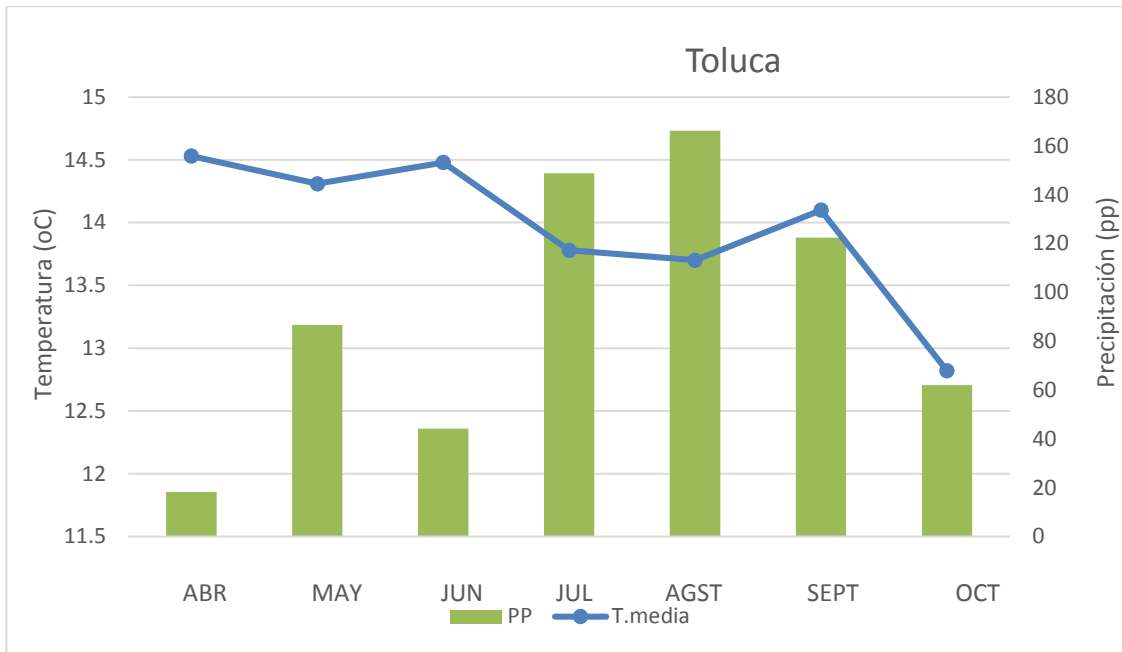
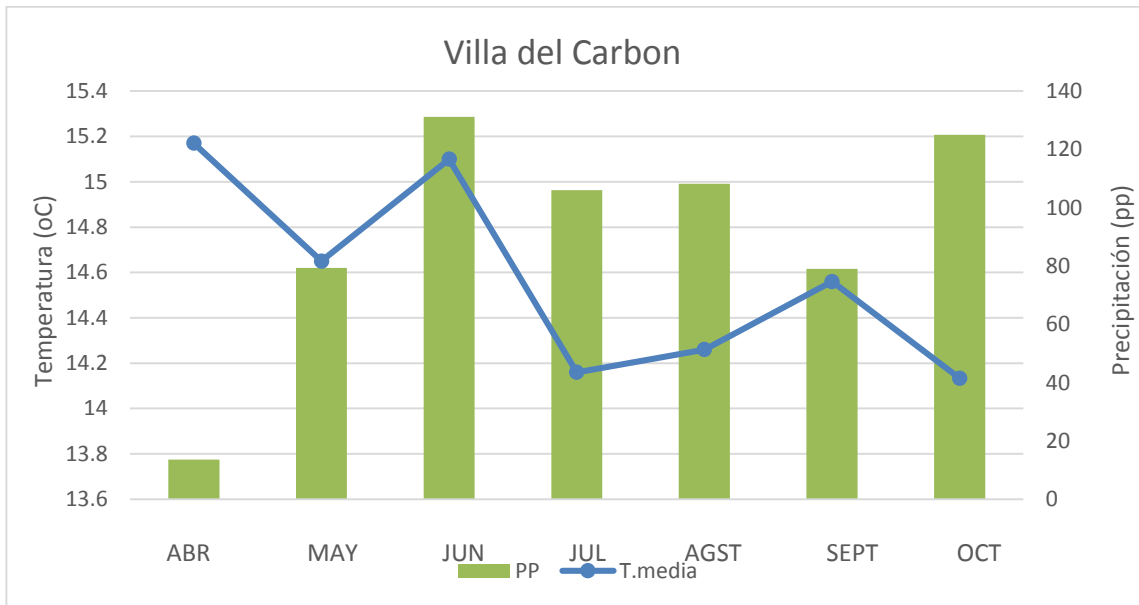


Figura 9. Relación entre las variables temperatura y precipitación anual en Villa del Carbón, Estado de México que se mostraron durante la realización del experimento.



IX. CONCLUSIONES

La incidencia de la enfermedad fue diferente entre las dos localidades evaluadas, en el Valle de Toluca, la variedad con mayor incidencia fue AS-722 y en Villa del Carbón la variedad fue HC8

En Villa del Carbón la mayor severidad se encontró en la variedad HC8 mientras que en la localidad de Toluca no existieron diferencias entre los genotipos evaluados.

Se consideraron datos de las condiciones ambientales del año en que se desarrolló el experimento, de una estación cercana al sitio experimental, con el fin de hacer un comparativo de las localidades en base a las gráficas del clima, de las cuales, también se puede concluir que desde el momento de la inoculación, hasta el desarrollo del hongo, la relación con la Precipitación en Villa del Carbón es menor en comparación con el municipio de Toluca, mientras que la temperatura media en el Municipio de Villa del Carbón fue ligeramente más elevada que en Toluca. En este sentido, se muestra con mayor claridad la relación entre las condiciones climáticas que favorecen o disminuyen la propagación del huitlacoche.

X. SUGERENCIAS

En base a los resultados obtenidos mostrados anteriormente el programa de mejoramiento para reducir los problemas a carbón común debe utilizar maíces criollos.

Y desde el punto de vista económico las variedades HC8 y 722 son adecuadas para producir este hongo comestible. Es importante mencionar que en época de cosecha el precio del kilogramo de este hongo oscila entre los 30 pesos, el de mejor calidad, y 15 pesos el de menor calidad (si muestra agallas reventadas), incluso, en años anteriores, sobre todo en época de invierno, el precio se ubica en 380 pesos por kilo.

De manera que se tiene un panorama más amplio respecto a las posibilidades de control o de producción, se sugiere considerar las variedades susceptibles identificadas, así como condiciones climáticas similares al experimento, para favorecer la propagación o promover el control del carbón común en variedades distintas de maíz.

XI. BIBLIOGRAFÍA

- Carrillo D. M. I., Tirado E. G., Guevara L. L., Silos E. H., Tirado G. D. N., Miranda R. L. A., 2011. Potencial productivo y caracterización nutrimental de dos inóculos de huitlacoche (*Ustilago maydis*) en variedades de maíz. XXXIX Reunión Anual de la Asociación Mexicana de Producción Animal y Seguridad Alimentaria, A. C. Chapingo, México. 2011
- Christensen J. J. 1963. Corn smut caused by *Ustilago maydis*. Monograph No. 2. The American Phytopathological Society. 41pp.
- CIMMYT. 1994. World maize facts and trends 1993/94. Mexico, DF. 64pp
- Comstock, R.E., Robinson, H.F. & Harvey, P.H. 1949. A breeding procedure designed to make maximum use of both general and specific combining ability. *Agron. J.*, 41: 360-367.
- De León, C. 1974. Enfermedades del maíz: guía para su identificación en el campo. Folleto de Información. México, D. F. México. CIMMYT. 77pp.
- De León, C. & Pandey, S. 1989. Improvement of resistance to ear and stalk rots and agronomic traits in tropical maize gene pools. Traducción. *Crop Sci.*, 29: 12-17.
- Diccionario de la Lengua Española. 20ed. Consultado junio de 2015. <http://www.rae.es/>
- Doebley, J. F. 1994. Morphology, Molecules and Maize. In S. Johannessen and C. A. Hastorf, Eds. *Corn and Culture in the Prehistoric New World*, pp. 101-112. Westview Press, Boulder, CO.
- Dowswell, C.D., Paliwal, R.L. & Cantrell, R.P. 1996. *Maize in the third world*. Boulder, CO, USA, Westview Press. 268pp.
- Herrera, E. L. 2015. Importancia y utilidad de la genómica de cultivos estratégicos para México. *Revista Claridades Agropecuarias*. Edición Especial. México. pp. 17-21
- Hallauer, A.R. & Eberhart, S.A. 1970. Reciprocal full-sib selection. *Crop Sci.*, 10: 315-316.
- Hallauer, A.R. & Miranda, J.B. 1988. *Quantitative genetics in maize breeding*, 2nd ed. Ames, IA, USA, Iowa State University Press. 680pp.
- Hallauer, A.R. 1992. Recurrent selection in maize. *Plant Breed. Rev.*, 9: 115-179.
- Howell, S.H. 1998. *Genética de Plantas y su desarrollo*. Cambridge Univ. Press. MA., Estados Unidos. Pp. 185-193

Jugenheimer, R. W. 1988. Maíz, variedades mejoradas, métodos de cultivo y producción de semillas. Limusa. México. 841pp.

Köppen-Geiger. 1936. Clasificación del clima. Disponible en: <http://www.es.climate-data.org>. Fecha de consulta 6 de Julio de 2016

Lonnquist, J.H. & Williams, N.E. 1967. Development of maize hybrids through selection among full-sib families. *Crop Sci.*, 7: 369-370.

López-Pereira, M.A. y M.L. Morris. 1994. Impacts of International Maize Breeding Research in the Developing World, 1966-1990. México, D.F.: CIMMYT. 72pp.

Martínez, L., Villanueva, C., Sahagún, J. 2000. Susceptibilidad y resistencia del maíz al hongo comestible huitlacoche (*Ustilago maydis* Cda.) mejorando su virulencia Revista Chapingo serie Horticultura pp 241-248

Moreno-González, J. & Cubero, J.I. 1993. Selection strategies and choice of breeding methods. In M.D. Hayward, N.O. Bosemark & I. Romagosa, eds. *Plant breeding: principles and prospects*, p. 281-313. London, Chapman & Hall.

Morris, M. L. y M. A. López Pereira. 2000. Impactos del mejoramiento de maíz en América Latina, 1966-1997. México, D.F. CIMMYT. 55pp.

NCBI. 2015. Centro Nacional para la Información Biotecnológica. Fecha de consulta: 11 de Agosto de 2015. Disponible en: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/Taxonomy/Browser/wwwtax.cgi?mode=Info&id=4577&lvl=3&lin=f&keep=1&srchmode=1&unlock>

Ortega Paczka, R. 2003. La diversidad del maíz en México. In Esteva, G., y C. Marielle (Coordinadores). *Sin Maíz no hay País*. Consejo Nacional para la Cultura y las Artes, Dirección General de Culturas Populares e Indígenas, México, D. F. 123-154pp.

Paliwal, R.L. & Sprague, E.W. 1981. Improving adaptation and yield dependability in maize in the developing world. Mexico, DF, CIMMYT. 17pp.

Pataky, J.K. 1991. Production of huitlacoche [*Ustilago maydis* (D. C.) Corda] on sweet corn. *HortScience* 26:1374-1377.

Pope, D.D. & McCarter, S.M. 1992. Smut incidence and severity after inoculating developing corn ears with *Ustilago Maydis* using different methods. *Phytopathology* 82(4): 500.

Programa de Maíz del CIMMYT. 2004. Enfermedades del maíz: una guía para su identificación en el campo. Cuarta edición. México, D.F.: CIMMYT. 123Pp.

Reyes, C., P. 1990. El maíz y su cultivo. AGTEDITOR S.A. México, D.F. 460pp

Romero, C. S. 1993. Hongos Fitopatógenos. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Méx. 347pp.

Quiñones-Valdez R., Sánchez-Pale JR., Castañeda-Vildoza A. y Cristóbal de la Cruz M. 2015. Comportamiento Espacial de la Roya Transversal del Gladiolo en Jiquipilco, Estado de México, México. Revista Mexicana de Fitopatología 33: 249

Sanderson, S. E. 1986. The Transformation of Mexican Agriculture. International Structure and the Politics of Rural Change. Princeton University Press, Princeton. 348pp.

Vanegas P. E. 1995. Procedimientos tecnológicos para la producción de huitlacoche (*Ustilago maydis*) efecto de la cepa y materiales genéticos de maíz sobre la calidad. Tesis de maestría. Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional. Unidad Irapuato. 32-78pp.

Villena, W. 1965. Selección de líneas para habilidad combinatoria general y específica en el primer ciclo de selección recurrente recíproca en poblaciones de Eto Blanco y Colima 14. In Proc. 11 Reunión Anual PCCMCA, Panamá City, p. 31-34. Panamá City, PCCMCA.

Wilkes, H. G. 1967. Teosinte: The closest relative of maize. The Bussey Institution of Harvard University. 159pp