



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS**

Incidencia de *Ustilago maydis* (D.C) Corda en cultivares comerciales de maíz en el valle de Toluca, estado de México

**TESIS**

**QUE COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO AGRÓNOMO FITOTECNISTA**

**P R E S E N T A  
JUAN CARLOS ANSUREZ DOMINGUEZ**

**Modalidad: Tesis individual**

**Generación: 43**

**ASESOR:  
DR. EN CARN. JESÚS RICARDO SÁNCHEZ PALE.**

**CAMPUS UNIVERSITARIO “EL CERRILLO”, EL CERRILLO PIEDRAS  
BLANCAS, MUNICIPIO DE TOLUCA, MÉX.  
9 DE AGOSTO DE 2021**

# INDICE

AGRADECIMIENTOS .....	I
DEDICATORIAS.....	II
Tabla de cuadros.....	III
Tabla de figuras.....	IV
RESUMEN.....	IV
ABSTRACT.....	VI
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. OBJETIVO .....	3
III. HIPÓTESIS.....	4
IV. JUSTIFICACIÓN .....	5
V. REVISIÓN DE LITERATURA .....	6
V.1 Maíz (Zea maíz L.) .....	6
V.1.1 Descripción morfológica .....	7
V.1.2 Clasificación taxonomía.....	9
V.1.3. Clasificación estructural.....	10
V.1.4. Tipos de maíz .....	11
V.1.5. Importancia del maíz a nivel mundial.....	13
V.1.6. Importancia del maíz a nivel nacional .....	15
V.1.7. Importancia del maíz como alimento en el mundo .....	16
V.2. Ustilaginales .....	18
V.2.1. Ustilago maydis .....	19
V.2.2. Importancia del huitlacoche como alimento.....	20
VI. Materiales y métodos.....	22
VI.1 Localización del sitio experimental .....	22
VI.2 Diseño experimental.....	22
VI.3 Manejo de los experimentos .....	25
VI.4 Inoculación.....	25
VI.5 Variables evaluadas .....	26
VI.6 Análisis de datos .....	28
VI.7 Modelo estadístico.....	28
VII. 1 Ciclo 2019.....	29
VII. 1.1 incidencia .....	29

VII. 1.2 Severidad.....	31
VII. 2 Ciclo 2020.....	32
VII. 2.1 Incidencia.....	32
VII. 2.2 Severidad.....	35
VII.3. Temperatura y precipitaciones 2019-2020 .....	37
VIII. Discusión.....	39
XI. Sugerencias .....	44
XII. Bibliografía .....	45
Anexos .....	53

## Tabla de cuadros

<b>Cuadro 1.</b> Producción mundial de maíz.....	15
<b>Cuadro 2.</b> Composición química de diferentes tipos maíz (%) .....	17
<b>Cuadro 3.</b> Variedades de maíz utilizadas en el primer experimento .....	23
<b>Cuadro 4.</b> Variedades utilizadas en el segundo experimento.....	24
<b>Cuadro 5.</b> Escala adaptada al hongo fitopatógeno <i>Ustilago maydis</i> para categorizar el nivel de resistencia y susceptibilidad.....	26
<b>Cuadro 6.</b> Escala diagramatizada del carbón común en maíz causada por <i>Ustilago maydis</i> .....	27
<b>Cuadro 7.</b> Resultados de varianza (ANOVA) para la variable de incidencia obtenidas de las 18 variedades de maíz en el ciclo 2019 .....	29
<b>Cuadro 8.</b> Incidencia (%) de <i>Ustilago maydis</i> y clasificación de las 18 variedades de maíz por su respuesta al patógeno.....	30
<b>Cuadro 9.</b> Resultados de varianza (ANOVA) para la variable de incidencia obtenidas de las 18 variedades de maíz en el ciclo 2019 .....	31
<b>Cuadro 10.</b> Valores promedio del índice de severidad de <i>Ustilago maydis</i> en 18 variedades de maíz en el ciclo 2019. ....	31
<b>Cuadro 11.</b> Resultados de varianza (ANOVA) para la variable de incidencia obtenidas de las 25 variedades de maíz en el ciclo 2020 .....	33
<b>Cuadro 12.</b> Incidencia (%) de <i>Ustilago maydis</i> y clasificación de las 25 variedades de maíz por su respuesta al patógeno, en ciclo 2020.....	34
<b>Cuadro 13.</b> Resultados de varianza (ANOVA) para la variable de severidad obtenidas de las 25 variedades de maíz en el ciclo 2020 .....	35
<b>Cuadro 14.</b> Comparación de medias en la variable de severidad de <i>Ustilago maydis</i> en 25 variedades de maíz en el ciclo 2020. ....	36

## Tabla de figuras

<b>Figura 1.</b> Producción anual de maíz en el mundo .....	14
<b>Figura 2.</b> Producción en miles de toneladas en México.....	16
<b>Figura 3.</b> Ciclo de vida de <i>Ustilago maydis</i> .....	20
<b>Figura 4.</b> Trazado del experimento en un cuadro de bloques completas al azar..	22
<b>Figura 5.</b> Escala de severidad de <i>Ustilago maydis</i> utilizada en el presente trabajo .....	27
<b>Figura 6.</b> Incidencia (%) de <i>Ustilago maydis</i> expresada en 18 variedades de maíz .....	30
<b>Figura 7.</b> Severidad media ponderada expresada en 18 variedades de maíz inoculados con <i>Ustilago maydis</i> .....	32
<b>Figura 8.</b> Aparición de los primeros síntomas de infección de <i>U. maydis</i> en variedad de maíz. ....	33
<b>Figura 9.</b> Incidencia (%) de <i>Ustilago maydis</i> expresada en 25 variedades de maíz .....	35
<b>Figura 10.</b> Severidad media ponderada expresada en 25 variedades de maíz inoculados con <i>Ustilago maydis</i> .....	37
<b>Figura 11.</b> Temperatura (A) y Precipitaciones (B) registradas durante el desarrollo del experimento en el ciclo 2019. ....	37
<b>Figura 12.</b> Temperatura (A) y Precipitaciones (B) registradas durante el desarrollo del experimento en el ciclo 2020. ....	38
<b>Figura 13.</b> Inoculando planta de maíz con ayuda de un jeringa automática .....	53
<b>Figura 14.</b> Presencia de signos de huitlacoche en la variedad Albatros .....	53
<b>Figura 15.</b> Huitlacoche en etapa de senescencia.....	54
<b>Figura 16.</b> Agalla de huitlacoche lista para ser cosechada.....	54
<b>Figura 17.</b> Hongo de huitlacoche ya cosechado .....	55
<b>Figura 18.</b> Maíz altamente resistente al hongo de <i>U. maydis</i> .....	55
<b>Figura 19.</b> Mazorca de maiz altamente infectada por el hongo de huitlacoche en la variedad H-66 .....	56

## RESUMEN

### Incidencia de *Ustilago maydis* (D.C) Corda en cultivares comerciales de maíz en el valle de Toluca, estado de México

Juan Carlos Ansures Domínguez. Ingeniero Agrónomo Fitotecnista. Universidad Autónoma del Estado de México. Facultad de Ciencias Agrícolas.

Asesor: <sup>1</sup>Jesus Ricardo Sánchez Pale

<sup>1</sup>Universidad Autónoma del Estado de México. Facultad de Ciencias Agrícolas. Campus Universitario El Cerrillo. El cerrillo piedras blancas. Municipio de Toluca, México. C.P. 50200. Tel: [jrsanchezp@uaemex.mx](mailto:jrsanchezp@uaemex.mx)

El denominado hongo “huitlacoche” es causado por el fitopatógeno *Ustilago maydis*, considerado por muchos como una enfermedad indeseable que ataca severamente al cultivo de maíz ocasionando grandes pérdidas económicas para el agricultor. En México, el hongo de huitlacoche es altamente apreciado en la cocina mexicana, esto se debe a la infinidad de platillos que se pueden preparar con este producto, sin embargo, su producción es muy limitada y solo se puede encontrar presente en el mercado durante los meses de agosto y septiembre, aunque su demanda es durante todo el año. El objetivo de la presente investigación fue identificar los diferentes genotipos de maíz que podrían ser utilizados para la producción de huitlacoche en el Valle de Toluca, durante dos años seguidos (2019-2020). Para tal efecto, se evaluó la incidencia y severidad inducida en diferentes genotipos de maíz, además se clasificó el nivel de resistencia y susceptibilidad que cada variedad de maíz presentó al patógeno de *U. maydis*. Los resultados obtenidos indicaron que casi todas las variedades mostraron un nivel de susceptibilidad al hongo. En el primer año de estudio, la variedad H-40 mostró el mayor porcentaje de incidencia, clasificada como muy susceptible (MS). El híbrido Albatros presentó el mayor índice de severidad mientras que la variedad A-7573, junto con el híbrido Stratus, no presentaron ningún signo de infección. Para el segundo año, los híbridos Z-60 y H-66 presentaron los más altos índices de incidencia y severidad promedio, registrados en los dos años de estudio, y al igual que la variedad H-40 fueron clasificados como Muy Susceptibles (MS). Por su parte las variedades Z-476-19 y Carioca mostraron el menor porcentaje de incidencia registrado en ese año, siendo clasificadas como Moderadamente Resistentes (MR). En ese mismo año los híbridos H-50 y LR1 presentaron el menor índice de severidad, 6.17 y 5.38 respectivamente. Los resultados encontrados indican que la infección del patógeno *U. maydis* varía según el genotipo de maíz, además se recomienda que para una producción masiva de huitlacoche se pueden utilizar las variedades clasificadas como altamente susceptibles a la infección de huitlacoche.

**Palabra clave:** *Ustilago maydis*, híbrido, huitlacoche, genotipos

# ABSTRACT

## Incidence of *Ustilago maydis* (D.C) Corda in commercial cultivars of maize in the Toluca Valley, Mexico State.

Juan Carlos Ansures Domínguez. Ingeniero Agrónomo Fitotecnista. Universidad Autónoma del Estado de México. Facultad de Ciencias Agrícolas.

Asesor: <sup>1</sup>Jesus Ricardo Sánchez Pale

<sup>1</sup>Universidad Autónoma del Estado de México. Facultad de Ciencias Agrícolas. Campus Universitario El Cerrillo. El cerrillo piedras blancas. Municipio de Toluca, México. C.P. 50200. Tel: [jrsanchezp@uaemex.mx](mailto:jrsanchezp@uaemex.mx)

The “huitlacoche” fungus is caused by the phytopathogen *Ustilago maydis*, which is considered by many to be an undesirable disease that severely attacks maize crops and leads to large economic losses for the farmer. In Mexico, though, huitlacoche is highly valued in Mexican cuisine and is used to prepare a wide variety of dishes. However, huitlacoche production is very limited and it is only available on the market during August and September, despite year-round demand. The objective of this study was to identify different maize genotypes that could be used to produce huitlacoche in the Toluca Valley during two consecutive years (2019-2020). To do this, we evaluated the incidence and severity of infection induced in different maize genotypes, in addition to classifying the degree of resistance and susceptibility that each variety presented to the *U. maydis* pathogen. The results showed that nearly all of the varieties were susceptible to the fungus to some degree. During the first year of the study, the H-40 variety showed the highest percent incidence and was classified as very susceptible (VS). The Albatros variety presented a high index of severity, while the A-7573 variety and the Stratus hybrid did not present any signs of infection. During the second year, the hybrids Z-60 and H-66 had the highest incidence and average severity indices recorded during either year of the study, and like the H-40 variety, were classified as VS. Meanwhile, the Z-476-19 and Carioca varieties had the lowest percent incidence recorded that year and were classified as moderately resistance (MR). That same year, the hybrids H-50 and LR1 presented the lowest severity index values, 6.17 and 5.38 respectively. These results indicate that infection with the *U. maydis* pathogen varies depending on the maize genotype, making it advisable that the varieties classified as VS be used for mass production of huitlacoche.

**Key words:** *Ustilago maydis*, hybrid, huitlacoche, genotypes

# I. INTRODUCCIÓN

El huitlacoche o cuitlacoche es una patología que prolifera en época de lluvias causada por el hongo fitopatógeno *Ustilago maydis* (DC) Corda que ataca exclusivamente al maíz (*Zea mays* ssp. *mays*) y a su ancestro el teosinte (*Zea mays* ssp. *parviglumis*) (Pérez *et al.*, 2017). La infección comienza una vez que el hongo penetra en la planta por lesiones presentes en ella, provocando la aparición de agallas o tumores que logran alcanzar un diámetro de 1- 15 cm, siendo de color blanco grisáceo, con un interior repleto de una masa polvorienta similar al carbón, presentándose en cualquier órgano de la planta (tallo, hoja y fruto) (Agrios, 2005). Esta enfermedad, también conocida como carbón común es muy temida en diversas partes del mundo, sin embargo, en México sucede todo lo contrario, pues desde la época de los aztecas ha sido considerado un alimento con gran valor nutritivo. Beas *et al.* (2011) sugieren que el huitlacoche puede aportar un gran beneficio a la salud, además, de prevenir el cáncer de colon.

En el territorio mexicano se ha logrado producir huitlacoche de forma artificial obteniendo rendimientos de 11 a 14 toneladas por hectarea (Salazar *et al.*, 2014), además se ha comercializado al año alrededor de 400 a 500 toneladas (Villanueva, 1997). Cabe destacar que la mayor parte del huitlacoche que se comercializa en México procede del estado de Puebla, quien abarrota el mercado únicamente en los meses de junio, julio, agosto y septiembre (SADER, 2016).

La popularidad y gran demanda del huitlacoche en el mercado nacional como en el extranjero ha despertado el interés en estudiar y encontrar técnicas aún más

eficaces para la producción masiva de este hongo. Se ha demostrado que el tipo de maíz, una cepa virulenta y un ambiente favorable son factores que influyen en el desarrollo de *U. maydis*. Según Pataky *et al.* (1995) las variedades dulces de maíz son las mas propensas a infectarse, mientras que Tisdale y Johnston (1926) indicaron la importancia que tiene el entorno para el desarrollo del patógeno.

Según Leal (1996) para iniciar con una producción de huitlacoche se recomienda aislar líneas haploides de *U. maydis* para realizar pruebas de infección en distintos genotipos de maíz especiales para cada zona.

A pesar de ser una alternativa alimenticia, una técnica de producción y una fuente en la generación de ingresos a los productores que lo cultivan, en el Valle de Toluca se desconoce los posibles cultivares (variedades, hibrido o material criollo) de maíz que pudieran tener una mayor susceptibilidad al hongo. Por lo que el objetivo del presente trabajo es:

## II. OBJETIVO

### Objetivo general

Identificar los cultivares de maíz con mayor susceptibilidad al hongo *Ustilago maydis* durante dos ciclos de experimentación (2019-2020).

### Objetivos particulares

Evaluar incidencia de *Ustilago maydis* en cultivares comerciales de maíz

Evaluar severidad de *Ustilago maydis* en cultivares comerciales de maíz

### **III. HIPÓTESIS**

Al menos un cultivar de maíz presenta mayor incidencia y severidad de la enfermedad Cuitlacoche.

## IV. JUSTIFICACIÓN

Es bien sabido que el cultivo principal y fuente de alimentación para México es el maíz, siendo de igual manera el más cultivado para consumo propio o para satisfacer las necesidades económicas de toda una familia. Sin embargo, el cultivo de maíz en ocasiones no es tan rentable económicamente, en especial para productores que apenas y cuentan con una pequeña fracción de terreno.

Por el contrario, se ha encontrado en el huitlacoche una nueva fuente de ingresos aun mayor para el productor agrícola, pues se ha demostrado que el valor del hongo supera casi el doble de lo que vale el kilogramo de maíz. Además, cabe destacar la gran aceptación que está teniendo este producto en cocinas internacionales siendo considerado un platillo altamente exótico.

Por esta razón se ha visto en la necesidad de realizar esta investigación con la finalidad de generar información, pues aún en estos tiempos es casi imposible encontrar datos confiables que sirvan como material de apoyo para la producción controlada de huitlacoche en la zona del valle de Toluca, y de esta manera impulsar a los agricultores en adoptar esta nueva tecnología que durante muchos años ha estado presente, pasando desapercibida por el agricultor del Valle de Toluca.

## V. REVISIÓN DE LITERATURA

### V.1 Maíz (Zea maíz L.)

El maíz, una gran aportación de Mesoamérica para todo el mundo es uno de los cultivos que mayor área sembrada ocupa en el territorio geográfico, además es considerado uno de los 3 cereales junto con el arroz y el trigo más importantes a nivel mundial.

Diversos estudios proponen que la domesticación del maíz pudo ocurrir en los años 4000 y 3000 a. de C., en las orillas del río Balsas. Por su parte, se cree que en el año 2700 a. de C., el maíz procedente de Michoacán fue introducido al valle de Tehuacán, Puebla. En este estado fue donde se innovaron los procesos de molienda del grano con ayuda de morteros de piedra, además se implementó la elaboración de la tortilla. Este cereal fue un producto muy importante para las culturas aztecas y mayas, convirtiéndose en la base de toda su alimentación (Benítez, 2006).

A través de los años el cultivo de maíz fue llevado por las antiguas tribus de América central a casi todas las regiones de América. Finalmente, fueron los españoles tras la colonización los encargados de difundirla a toda Europa, Asia y África. De esta manera fue como el maíz llegó a convertirse en un alimento básico para todo el mundo. Hasta la fecha el maíz es cultivado en todos los continentes a excepción de la Antártida, es una planta muy fácil de trabajar, su gran adaptabilidad genética y versatilidad hacen que este cultivo sea capaz de prosperar en casi cualquier zona (Carrillo, 2009).

## **V.1.1 Descripción morfológica**

### **Inflorescencia**

El maíz es una planta monoica perteneciente a la familia de las gramíneas, con dos órganos reproductivos (femenino-masculino) separados en la misma planta. La panícula es la inflorescencia masculina (espiga) de coloración amarilla que posee 20 a 25 millones de granos de polen aproximadamente, además cada flor que compone la panícula contiene tres estambres donde se desarrolla el polen. Por su parte, la inflorescencia femenina es nombrada mazorca, y esta se presenta cuando es fecundada por los granos de polen, dando origen a las semillas que se encuentran cubiertas por hojas de color verde (Maroto, 2002).

### **Tallo**

La planta de maíz presenta un tallo principal simple, erecto, macizo y robusto, sin ramificaciones, además, tiene una longitud que puede alcanzar los 4 metros de alto, además es robusto (INIA, 2020). Este su vez está compuesto de afuera hacia dentro por tres estructuras:

**Epidermis:** esta estructura se encuentra en el exterior, y tiene la función de proteger al tallo de posibles daños ocasionados por plagas y enfermedades, además, se caracteriza por ser impermeable y transparente.

**Pared:** es una estructura leñosa y dura por donde circulan todas las sustancias para nutrir a la planta

**Medula:** esta se caracteriza por ser un tejido esponjoso y blanco, es el lugar donde se almacenan las reservas de alimento para la planta.

## **Hojas**

Las hojas del maíz son lanceoladas, largas, alternas y de gran tamaño, con filo en los bordes, además, existe la presencia de vellos en el haz llamados tricomas, estos tienen la función de absorber agua y regular la temperatura (Prado-Martínez *et al.*, 2012).

Por otro lado, las hojas se encuentran formadas por tres estructuras:

Vaina: tiene la función de envolver al internudo superior y se origina a partir de un nudo del tallo.

Lámina: esta prosigue después de que se origina la vaina, se forma de una vena central y un conjunto de venas paralelas a está, además del tejido intracelular.

Lígula: se sitúa en la parte final de la vaina, justo el punto donde se desarrolla la lámina.

## **Semilla**

La semilla o grano se encuentra conformada por 4 estructuras: pericarpio, germen, endospermo y la piloriza (Benítez, 2006).

Pericarpio: es la capa externa del grano con la función de protegerla de cualquier plaga, es muy resistente y dura.

Germen: esta estructura es conocida también como embrión, y es la única parte viva del grano. En el germen se encuentra toda la información genética, además de nutrientes esenciales para el desarrollo de la planta.

Endospermo: esta estructura tiene la función almacenar nutrientes para alimentar a la nueva planta, hasta que esta se convierta en autótrofa.

Pilorriza: es una estructura cónica que une al grano con el olote. Se compone de celulosa, hemicelulosa y otros carbohidratos.

## **Raíz**

La raíz del maíz al igual que el de otras plantas tiene la función de absorber agua y nutrientes; además de aportar un perfecto anclaje al suelo. Su arquitectura está compuesta de cinco tipos de raíces que son: primaria, escuterales seminales, laterales, de corona y aéreas (Martínez *et al.*, 2011).

### **V.1.2 Clasificación taxonomía**

El Servicio de Información Sobre Diversidad Biológica Mundial, GBIF por sus siglas en ingles (2019) establece la siguiente clasificación taxonómica para la planta de maíz:

Reino: plantae

Filo: traqueofita

Clase: liliopsida

Orden: poales

Familia: poaceae

Género: *zea L.*

Especie: *zea maiz L.*

### **V.1.3. Clasificación estructural**

Sturtevant se guio en la estructura y composición química del grano para realizar la primera clasificación racial de maíz, agrupada en 7 tipos (Acosta, 2009).

*Zea mays tunicata* St: Maíz tunicado. No es comercial y es considerado el más antiguo de todos los maíces. Además, se caracteriza por presentar cada grano envuelto en su propia bráctea. Se utiliza como fuente de germoplasma en los programas de fitomejoramiento.

*Zea mays everta* St: Maíz reventón. Este maíz posee granos que revientan al ser expuestos a las altas temperaturas, son de tamaño pequeño con endospermo cristalino, constituido preferentemente por almidón córneo. Sus granos pueden llegar a ser redondos o puntiagudos.

*Zea mays indurata* St: Maíz cristalino. Conocido como maíz duro que se caracteriza por presentar granos lisos, cristalinos y redondos, con endospermo vítreo duro, cristalino y translúcido, con almidón en su mayoría córneo.

*Zea mays amilácea* St. Maíz amiláceo. Se caracteriza por presentar granos con endospermo harinoso, no cristalino. En este grupo el maíz “Blanco Gigante del Cuzco” o “Blanco Imperial” es legado del imperio incaico, que causa la admiración por el gran tamaño de su grano y alto rendimiento. Es muy común en la región andina

*Zea mays identata* St. Maíz dentado. Este material es utilizado para alimentar tanto a personas como al ganado. Sus granos presentan un endospermo formado por almidón, tanto en el interior como en el exterior. Están coronados en la parte

superior con almidón blando suave, que a la madurez origina una depresión central superior, debido a una mayor hidratación, dándole al grano la forma característica de diente.

*Zea mays saccharata* St. Maíz dulce. Este tipo de maíz se caracteriza por ser muy precoz, con una mazorca pequeña y un gran contenido de azúcares en el grano. Posee un gen recesivo en el cromosoma 4, el cual impide la conversión de algunos azúcares solubles en almidón.

*Zea mays ceratina* Kul. Maíz ceroso. Como su nombre lo dice, se caracteriza principalmente por presentar granos de aspecto ceroso. Además, el almidón presente en los granos está constituido por 100 % de amilopectina, dando origen a un almidón con características gomosas.

#### **V.1.4. Tipos de maíz**

##### Variedad criolla

Las variedades criollas son definidas como aquellas plantas que han sido cultivadas durante años en una misma zona, mezclándose con otras variedades de forma natural por medio de la fecundación cruzada o por la práctica deliberada del agricultor (Aguirre *et al.*, 2002).

##### Variedad sintética

Una variedad sintética de maíz es una población producida de forma artificial por el fitomejorador. Esta variedad puede ser obtenida en la primera generación formada de varias líneas endogámicas o híbridas, estos materiales son establecidas en un

lote completamente aislado donde se cruzan a través de una polinización libre (Poehlman y Allen, 2005).

### Líneas endogámicas

Las líneas endogámicas son el resultado de la autopolinización de ciertas poblaciones de maíz en repetidas ocasiones, con el fin de generar plantas con una configuración genética fija y uniforme. Esto conduce a la obtención de plantas casi idénticas, más pequeñas, menos vigorosas y con una producción baja. Sin embargo, al cruzar dos líneas endogámicas no emparentadas para formar un híbrido, esta recupera su vigor y además su nivel de producción aumenta considerablemente, a esta característica se le denomina “vigor híbrido” (MacRobert *et al.*, 2015).

### Variedades híbridas

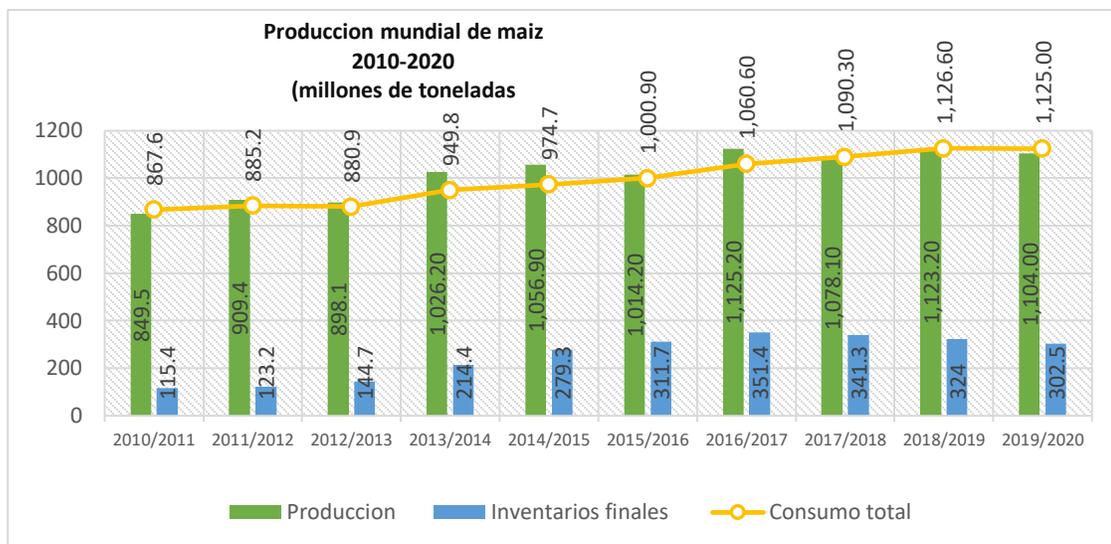
Un material híbrido es obtenido cuando una planta fecunda a otra con la que no está emparentada genéticamente. Estas plantas son establecidas en un campo completamente aislado siguiendo un diseño de surcos, donde las plantas femeninas son tres o seis veces mayor que las plantas masculinas. Las plantas hembra son desprendidas del órgano masculino (espiga), esto con el fin de evitar la autopolinización, pues ellas serán las encargadas de producir la semilla, mientras que el macho donará el polen. La semilla obtenida poseerá características únicas heredadas de los dos progenitores, que se verán reflejadas en las plantas.

Para el caso del maíz existen varios tipos de híbridos, cada uno con diferente configuración parental. Está el híbrido simple, híbrido triple, híbrido doble, híbrido

mestizo y el híbrido intervarietal. Para obtener un híbrido de cruce simple es necesario cruzar dos líneas endogámicas, mientras que para generar el híbrido de cruce doble se necesitan dos híbridos de cruce simple, y para el híbrido de cruce triple se necesita la cruce de una línea endogámica con un híbrido simple. Por su parte, los híbridos mestizos son obtenidos de la cruce entre una variedad de polinización libre y una línea endogámica, mientras que un híbrido intervarietal es el resultado de la cruce de dos variedades de polinización libre, las cuales son diferentes genéticamente. Los híbridos más usados por los productores son los de cruce simple, doble y triple (MacRobert *et al.*, 2015).

#### **V.1.5. Importancia del maíz a nivel mundial**

El Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, por sus siglas en inglés) reportó en 2019 un gran aumento en la producción de maíz en los últimos años, pasando de 849.5 millones de toneladas en el año 2010 a 1, 104,0 millones de toneladas para el ciclo 2019/2020, con una tasa de crecimiento media anual del 11.1% (figura 1). En el año 2021 se estima una producción de 1, 171,0 millones de toneladas, 5.3 % superior al año previo derivado del incremento esperado en la Unión Europea y en Brasil, donde se espera números históricos de producción (CIMA, 2019).



Fuente: USDA tomado de CIMA (2019)

**Figura 1.** Producción anual de maíz en el mundo (CIMA, 2019)

En los últimos años datos demuestran que Estados Unidos ha sido consecutivamente el primer productor de maíz por mucho en el mundo. En el año 2019 reportó una producción de 345,894 millones de toneladas, aportando un poco menos de la mitad de la producción mundial, con un 31.7% de participación. Además, el país norteamericano también ocupó el primero en exportar maíz con un total de 53,342 toneladas, seguido de Brasil y Argentina con 35,000 toneladas cada uno. Se estima para los siguientes años que E.U.A. podría batir su propio récord de producción colocándolo nuevamente en el primer puesto.

Por su parte, China, el segundo productor de maíz aportó un 22.2% de la producción en el mundo, con una cifra de 257,333 millones de toneladas seguido de Brasil con una producción de 101,000 millones de toneladas en el mismo año, con una participación del 9.1%. En la Unión Europea la producción fue de 63,401 toneladas, suficientes para colocarlo en el cuarto puesto, con una participación del 5.8 %,

además de ocupar el primer puesto en cuanto a importación con un total de 23,000 toneladas de maíz, seguido de México con 17,000 toneladas (Cuadro 1) (CIMA, 2019).

**Cuadro 1.** Producción mundial de maíz. (CIMA, 2019)

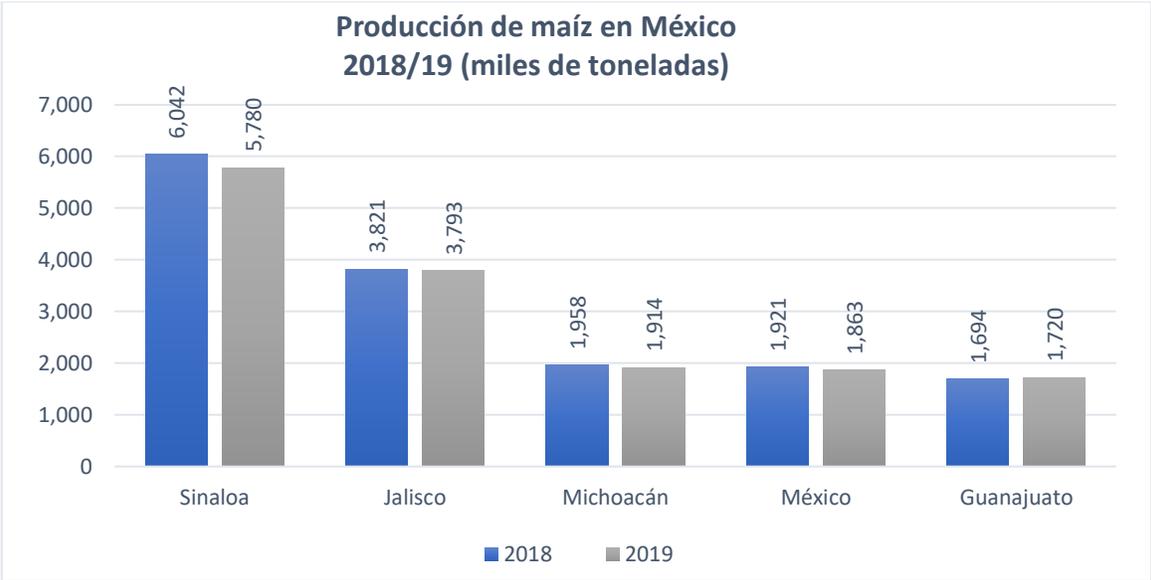
Año	Inventarios iniciales	Producción	Importador	Exportador	Inventarios finales
Mundial 18/19	339,302	1,122,687	163,841	1,172,377	328,754
Estados Unidos	54,367	366,287	889	53,342	59,450
China	222,525	257,330	5,000	20	209,835
Brasil	7,313	101,000	1,000	35,000	7,813
Unión Europea	9,843	63,401	23,500	2,500	7,244
Ucrania	1,467	35,805	40	29,500	1,612
Argentina	2,378	51,000	5	35,000	4,583
México	5,649	26,700	17,000	800	4,649
Sudáfrica	2,672	11,500	1,000	1,000	12,200
Otros	33,088	209,664	115,407	15,215	21,368

Fuente: USDA tomado de CIMA (2019)

### V.1.6. Importancia del maíz a nivel nacional

México se encuentra dentro del top 10 en cuanto a producción, ocupando la séptima posición por debajo de Ucrania y Argentina. En el año 2017 registró una cifra de 27,800 millones de toneladas, en el 2018 obtuvo una producción de 27,600 millones de toneladas y para el 2019 fue de 27,000 millones de toneladas, ocupando una superficie de 7.5 millones de hectáreas, aportando el 2.4% de la producción total en el mundo. Por su parte México es el segundo país importador de grano de maíz y el séptimo exportador del mundo, siendo sus principales mercados; Venezuela, Kenia y EUA (ASERCA, 2018).

El maíz se cultiva principalmente en el ciclo primavera-verano del cual el 80% depende de las lluvias, mientras que en el periodo otoño-invierno se utilizan técnicas de riego. La producción mexicana de maíz a diferencia de otros países se enfoca principalmente a la obtención de grano blanco, de hecho, se estima que más del 90%, mientras que el otro porcentaje es de maíz amarillo. Los principales estados productores de maíz son: Sinaloa (22%), Jalisco (14%), Michoacán (8%), México (7%), Guanajuato (6%) y el resto es proporcionado por los otros estados (43 %) (Figura 2) (CIMA, 2020).



Fuente: SIAP tomado de CIMA (2019)

**Figura 2.** Producción en miles de toneladas en México. (CIMA, 2020)

**V.1.7. Importancia del maíz como alimento en el mundo**

El maíz se ha convertido en uno de los alimentos básicos más importantes para la alimentación del ser humano y el ganado, obteniéndose de este último, productos como carne y leche. Pero la alimentación no es el único beneficio que trae consigo

el maíz, pues en los últimos años se ha logrado obtener biocombustibles (Ortega-Blu et al., 2010).

El grano de maíz se compone principalmente de almidón con un 62 % encontrándose solo por debajo del arroz que cuenta con un 70 %. El almidón está formado por amilosa en un 25-30 % y amilopectina, este último constituye en un 70-75 %, además de hidratos de carbono con un porcentaje un poco bajo, que varía del 1-3 %. Dentro de la composición química del maíz podemos encontrar proteínas en un rango de 8-11% (este porcentaje influye en el tipo de maíz), que se ubican principalmente en el endospermo, al igual que ácidos grasos con valores que van del 3-18 % (Benítez, 2006), fibra cruda (2.2%), minerales (2.2 %), lípidos (2.1 %) y otros hidratos de carbono, además contiene un 12 % de agua en su peso seco (Belitz y Grosch,1997). El cuadro 2 muestra como el tipo de maíz influye en el contenido químico del grano.

**Cuadro 2.** Composición química de diferentes tipos maíz (%)

Tipo	Humedad	Cenizas	Proteínas	Fibra cruda	Extracto etéreo	Hidratos de carbón
Salpor	12,2	1,2	5,8	0,8	4,1	75,9
Cristalino	10,5	1,7	10,3	2,2	5,0	70,3
Harinoso	9,6	1,7	10,7	2,2	5,4	70,4
Amiláceo	11,2	2,9	9,1	1,8	2,2	72,8
Dulce	9,5	1,5	12,9	2,9	3,9	69,3
Reventador	10,4	1,7	13,7	2,5	5,7	66,0
Negro	12,3	1,2	5,2	1,0	4,4	75,9

Fuente: Cortez Wild-Altamirano, (1972) tomado de FAO (1993).

También podemos encontrar en el maíz vitaminas como tiamina (conocida como vitamina B1) en un 4.6 % que actúa en el proceso metabólico, además de niacina

con un 26.6 %. Estudios realizados en ratas han demostrado que el niacina ayuda a disminuir el nivel de triglicéridos y el colesterol en un 25-50 % (Esquivel et al., 2012). Este cereal también contiene riboflavina (1.3 %) que actúa como un antioxidante, y ácido pantoténico en un 5.9 %, que tiene la función de convertir los alimentos en energía. De igual manera podemos encontrar casi todos los aminoácidos como el triptófano, treonina, isoleucina, leucina, fenilalanina, tirosina, valina y lisina, siendo deficiente este último (FAO, 1993). La zeína es la proteína más abundante del maíz formando el 50-60 % del endospermo (Villegas et al., 1985).

## **V.2. Ustilaginales**

El orden de las ustilaginales comprende aproximadamente 1,200 especies distribuidas en más de 50 géneros en los que incluyen a los carbones, denominados así por la formación de masas negras de esporas, que se asemejan al carbón. Los carbones son los encargados de infectar aproximadamente 400 especies de angiospermas distribuidas en 75 familias de plantas (Martínez et al., 2002). Muchos de los carbones están especializados en atacar miembros de las Poaceae (gramíneas), donde se encuentran los cultivos más importantes del mundo como son: el maíz, trigo y arroz (Agrios, 2005).

Las ustilaginales carecen de basidiocarpo, pueden formar soros (agallas) donde se producen las teliosporas. Las teliosporas son las estructuras de resistencia que se igualan a las semillas en las plantas; son heterotálicos bipolares o tetrapolares y se forman de células intercalares (Herrera y Ulloa, 2004).

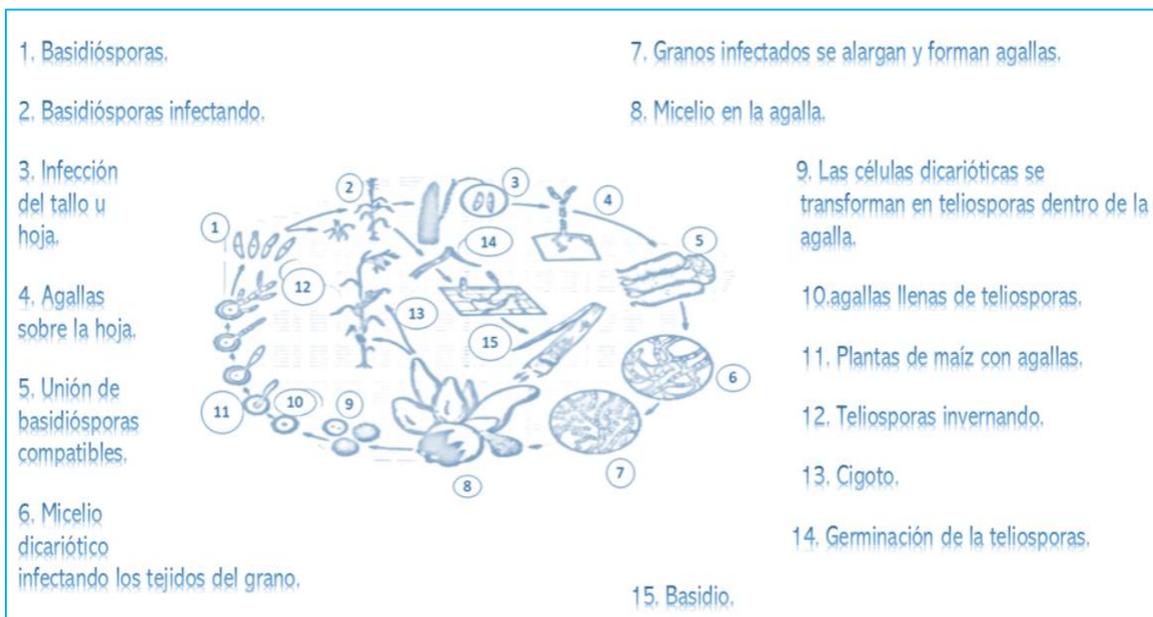
### **V.2.1. *Ustilago maydis***

*Ustilago maydis* es un hongo parasito biotrofico que requiere de uno de sus dos huéspedes para poder llevar a cabo su ciclo biológico, sin llegar a matarlo, pero sin duda ocasionando grandes pérdidas en cuanto a rendimiento. Este fitopatógeno se encuentra clasificado dentro de la división de los hongos verdaderos llamada Amstigomycota y a la subdivisión Bacidiomycota, del orden de los Ustilaginales, caracterizada por producir estructuras especializadas llamadas basidios (nombrado también promicelio) (Alexopoulos *et al.*, 1996).

El ciclo de desarrollo de *U. maydis* comprende dos fases; saprofita y micelial (patogénica). La primera fase comienza con la germinación de cuatro células haploides en forma de levaduras llamadas basidiosporas, la cual cada una produce un micelio dicariótico que solo puede desarrollarse en el interior del huésped. Estos micoles pueden invadir cualquier parte de la planta, pero principalmente los tejidos de la inflorescencia femenina (Valadez *et al.*, 2011).

La segunda fase es la micelial o patogenia, está consiste en la unión de dos células A y B genéticamente compatibles que se aparean sexualmente. Cada célula forma un filamento delgado llamado tubo de conjugación que al unirse forma un dicariótico infeccioso, esta cuenta con unas estructuras llamadas fíbulas, además, tiende a ramificarse de una manera profusa dentro de los tejidos del maíz. No es visible, pero crece durante varios días dentro de la planta, transformándose poco a poco en esporas, las cuales son resguardadas por el hongo en sacos de color negro, amorfos y delimitados por una membrana gruesa equinulada y pigmentada (Banuett

y Herskowitz, 1994) los cuales son denominados soros y que constituyen a las agallas. Estas agallas son carnosas cuando están frescas y son las que conocemos como huitlacoche. Una vez que el hongo ha alcanzado su estado maduro ocurre la esporulación, en la cual son liberadas las teliosporas. Las teliosporas caen al suelo donde invernan hasta que se presente de nuevo la época de lluvias. La germinación de las teliosporas inicia cuando estas forman un tubo germinativo denominado promicelio. El núcleo de la espora se moviliza hacia el promicelio y aquí es donde ocurre la meiosis, dando origen a cuatro basidiósporas listas para iniciar de nuevo con el ciclo (Figura 3).



**Figura 3.** Ciclo de vida de *Ustilago maydis* (modificado de Agrios, 2005).

### V.2.2. Importancia del huitlacoche como alimento

El huitlacoche además de su peculiar sabor contiene ácidos grasos como Omega 3 y Omega 6, además es rico en aminoácidos, aporta fibra que sirve para la flora

intestinal y es bajo en grasas, contiene fósforo, vitamina C varios minerales y sustancias con propiedades antitumorales (SADER, 2018).

Un estudio realizado validó al huitlacoche como un alimento funcional con potencial nutracéutico, encontrándose un nivel considerado de fibra dietaría, oligosacáridos, ácidos fenólicos y una elevada actividad antioxidante (Beas, 2011). Según Huerta, (2013) es recomendable consumir huitlacoche ya que ayuda a disminuir algunos indicadores de estrés oxidativo en individuos diabéticos, así como el daño en hígado y riñones.

De igual manera se ha demostradó que el porcentaje de proteínas, almidón, triptofano y lisina, ademas de azúcares, influye en el tipo de maíz usado como sustrato para la produccion de huitlacoche (Pimentel *et al.*, 2011). Por su parte Valdez *et al.* (2010) realizaron un estudio donde sustentan la alta concentracion de sustancias antimutagénicas en huitlacoche, ademas indico que la concentracion de sustancias químicas va relacionada con el genotipo y etapa de desarrollo del maíz.

## VI. Materiales y métodos

### VI.1 Localización del sitio experimental

Los experimentos se establecieron en la Facultad de Ciencias Agrícolas el Cerrillo Piedras Blancas de la UAEMEX, que se encuentra ubicada en el municipio de Toluca, Estado de México, en la carretera Toluca - Ixtlahuaca Kilómetro 15.5, CP 50200, a una mediana altura de 2638 msnm, con las siguientes coordenadas GPS: latitud norte 19.291667° y una longitud oeste de -99.630556°, además cuenta con una temperatura media de 13.02°C y un registro de 763 mm en cuanto al nivel de precipitación (CONAGUA, 2010).

### VI.2 Diseño experimental

El presente proyecto constó en establecer dos experimentos. El primer experimento se estableció el 21 de abril de 2019 con un diseño de bloques completamente al azar con tres repeticiones (figura 4), el cual consistió en evaluar 18 materiales de maíz (13 híbridos y 5 criollos). Cada bloque fue de 2 surcos por variedad separados a 0.80 m con 3 m de largo y dos plantas cada 20 cm.



**Figura 4.** Trazado del experimento en un cuadro de bloques completas al azar

**Cuadro 3.** Variedades de maíz utilizadas en el primer experimento

No	Variedad	Empresa	Ciclo	Color	Adaptación (m.s.n.m)
1	CACAHUAXINTLE	CRIOLLO	INTERMEDIO	BLANCO	2400
2	AMARILLO	CRIOLLO	INTERMEDIO	AMARILLO	2600
3	BLANCO	CRIOLLO	INTERMEDIO	BLANCO	2600
4	ROJO	CRIOLLO	PRECOZ	ROJO	2600
5	NEGRO	CRIOLLO	PRECOZ	NEGRO	2600
6	Z-60	ASPROSS	PRECOZ	BLANCO	**
7	H-70	INIFAP	INTERMEDIO	BLANCO	2200-2600
8	H-66	INIFAP	INTERMEDIO	BLANCO	2250-2500
9	H-50	INIFAP	INTERMEDIO	BLANCO	2400
10	H-48	INIFAP	INTERMEDIO	BLANCO	2200-2600
11	ALBATROS	ASGROW	INTERMEDIO	BLANCO	2000-2700
			TARDIO		
12	FAISAN	ASGROW	INTERMEDIO	BLANCO	2000-2700
13	A 7573	ASGROW	INTERMEDIO	BLANCO	2200-2600
14	H-40	INIFAP	INTERMEDIO	BLANCO	2000-2700
			TARDIO		
15	CIRRUS	FARMER	INTERMEDIO	AMARILLO	2200-2400
16	STRATUS	TERRANOVA	INTERMEDIO	AMARILLO	**
17	BIOGENE	BREVANT	INTERMEDIO	BLANCO	**
18	SBA 470	BERENTSEN	INTERMEDIO	AMARILLO	800-1900

\*\* No se encontró información.

El 27 de abril de 2020 se estableció el segundo experimento con 25 tratamientos (24 híbridos y un criollo) en un diseño de bloques completamente al azar con tres repeticiones. Cada unidad experimental fue de 2 surcos por tratamiento con 3 m de largo encontrando dos plantas cada 20 cm y una distancia entre surcos de 0.80 m.

**Cuadro 4.** Variedades utilizadas en el segundo experimento.

No	Variedad	Empresa	Ciclo	Color	Adaptación (m.s.n.m)
1	Z-60	ASPROSS	PRECOZ	BLANCO	**
2	H-66	INIFAP	INTERMEDIO	BLANCO	2250-2500
3	H-50	INIFAP	INTERMEDIO	BLANCO	2400
4	H-48	INIFAP	INTERMEDIO	BLANCO	2200-2600
5	H-40	FARMER	INTERMEDIO	BLANCO	2000-2600
6	CACAHUAXINTLE	CRIOLLO	INTERMEDIO	BLANCO	2400
7	NB 777	NOVASEM	INTERMEDIO	BLANCO	**
8	NB 723	NOVASEM	INTERMEDIO	BLANCO	**
9	NB 722	NOVASEM	PRECOZ INTERMEDIO	BLANCO	**
10	ALBATROS	ASGROW	INTERMEDIO TARDIO	BLANCO	2000-2700
11	FAISAN	ASGROW	INTERMEDIO	BLANCO	2000-2700
12	A 7573	ASGROW	INTERMEDIO	BLANCO	2200-2600
13	CENSONTLE	ASGROW	INTERMEDIO	BLANCO	2200-2700
14	CHEROKEE	ASPROS	INTERMEDIO	BLANCO	2200-2700
15	CORTESANO	FARMER	INTEREMDIO	AMARILLO	2200-2600
16	CIRRUS	FARMER	INTERMEDIO	AMARILLO	2200-2400
17	XR12	CERES	INTERMEDIO	BLANCO	2500
18	A101	**	INTERMEDIO TARDIO	AMARILLO	2500
19	PROMESA 506	**	**	BLANCO	**
20	AZ 483	**	**	BLANCO	**
21	LR1	**	**	BLANCO	**
22	AZ47619	**	**	BLANCO	**
23	CARIOCA	ICAMEX	PRECOZ	NEGRO	**
24	PALMERA	**	PRECOZ	NEGRO	**
25	G105	**	INTERMEDIO TARDIO	BLANCO	0-1800

\*\* No se encontró información.

Las variedades de cada ciclo fueron diferentes debido a la disponibilidad de material genético con que se dispuso en cada ciclo, tanto por adquisición en casa comerciales como por otorgamiento de productores o empresas.

### **VI.3 Manejo de los experimentos**

La siembra fue similar para los 2 experimentos, la cual se realizó de forma manual con ayuda de una pala de punta depositando dos semillas por golpe a una distancia de 20 cm, obteniendo un total de 60 plantas por tratamiento en cada bloque. Ambos experimentos fueron fertilizados de la misma forma, utilizando la fórmula 170- 60- 60, distribuida en dos aplicaciones, la primera fertilización fue antes de la siembra aplicando a voleo la mitad del nitrógeno, todo el fósforo y todo el potasio. En la segunda fertilización se aplicó únicamente el nitrógeno restante en la primera escarda, la cual se realizó a los 40 días después de la siembra. Para el control de la maleza se utilizó Hierbamina con ingrediente activo 24-D amina la cual se aplicó cuando la maleza ya tenía 20 cm de alto. Para maleza de hoja angosta, esta fue controlada con ayuda de una segadora manual.

### **VI.4 Inoculación**

El inóculo se obtuvo a partir de la recolección de maíces severamente infectados con el hongo de huitlacoche. Una vez que se obtuvo el material fueron secados en sombra, evitando el contacto directo con los rayos del sol, ya una vez secos fueron molidos y pasados por un tamiz del número 325 con apertura de 45  $\mu\text{m}$ , de esta forma fue como se obtuvieron las teliosporas que tienen un diámetro aproximado de 5-10  $\mu\text{m}$ .

Las teliosporas fueron activadas en cajas Petri con medio PDA (Papa Dextrosa Agar) e incubadas a 25 °C durante 48 horas. Una vez germinadas las basidiósporas estas fueron trasladadas a campo en una solución líquida donde se procedió con la inoculación, a temperatura ambiente sin recibir rayo de sol y con pH de 7.4.

La fecha de inoculación del primer experimento fue el 7 de agosto de 2019 y el 5 de agosto de 2020 para el segundo experimento. Ambos procesos de inoculación comenzaron cuando la planta se encontraba en la etapa fenológica R1. Se inyectó 5 ml de inóculo según lo reportado por Alaníz (2016) a cada jilote cuando se encontraban ya visibles los estigmas con ayuda de una jeringa automática.

### VI.5 Variables evaluadas

Los caracteres estudiados en ambos experimentos fueron los mismos: porcentaje de incidencia y severidad.

El porcentaje de incidencia (PI) se determinó partir del total de plantas con signos de infección entre el total de plantas que fueron inoculadas, multiplicado por cien. Por tratarse de datos no paramétricos, se realizó su transformación a logaritmo inverso base 10 (Log) para proceder a su posterior análisis.

$$PI = \frac{(\text{numero de plantas infectadas})}{\text{numero de plantas inoculadas}} \times 100$$

Se tomó como referencia el valor promedio de incidencia de cada tratamiento para determinar el nivel de resistencia y susceptibilidad con base en la escala de Njuguna (Aquino *et al.*, 2011) adaptándola a *Ustilago maydis* (Cuadro 6).

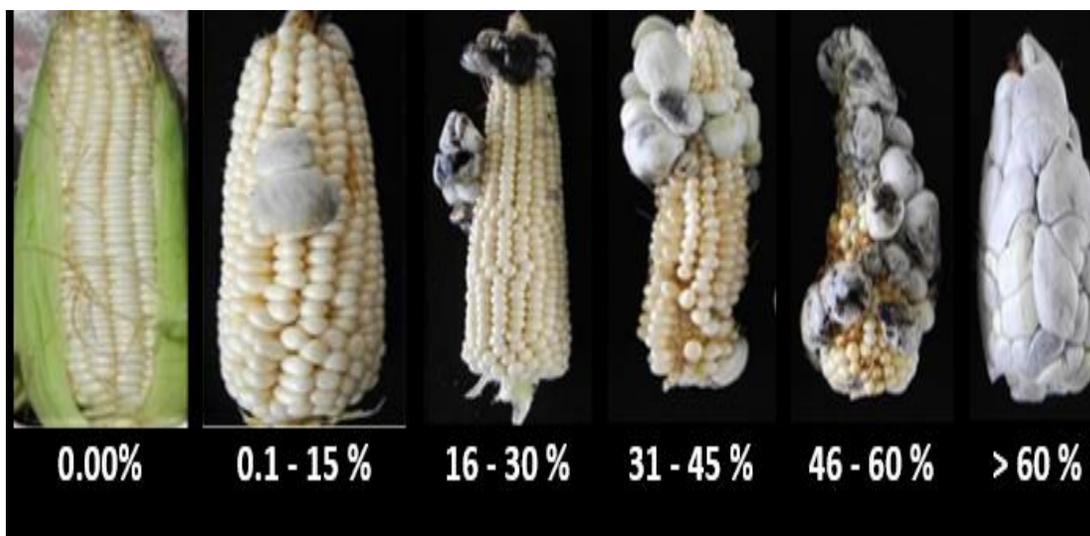
**Cuadro 5.** Escala adaptada al hongo fitopatógeno *Ustilago maydis* para categorizar el nivel de resistencia y susceptibilidad (Njuguna, 1998).

Porcentaje de incidencia	Resultado
0 %	Inmune (I)
1-9 %	Altamente resistente (AR)
10-29 %	Moderadamente resistente (MR)
30-49 %	Susceptible (S)
50-100 %	Muy susceptible (MS)

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 indicados por Alaníz (2016) adecuándola para valorar la severidad de infección por *Ustilago maydis*. La escala de severidad está en función de la superficie del elote con signos del hongo (agallas) respecto a la superficie total que tenga dicho elote (Cuadro 6 y Figura 5).

**Cuadro 6.** Escala diagramatizada del carbón común en maíz causada por *Ustilago maydis*. (Alaníz, 2016)

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%



**Figura 5.** Escala de severidad de *Ustilago maydis* utilizada en el presente trabajo (Alaníz, 2016)

## VI.6 Análisis de datos

Se realizó un análisis de varianza con los datos obtenidos en ambos experimentos utilizando el paquete estadístico SAS (SAS Institute) Versión 9.0, en un arreglo de bloques al azar por año de estudio. Para el caso de variables con diferencias significativas, se realizó la prueba de separación de medias con la Tukey  $p \leq 0.05\%$ .

## VI.7 Modelo estadístico

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

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

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

$\mu$  = Media general del experimento.

$\tau_i$  = Es el efecto del tratamiento "i".

$\beta_j$  = Es el efecto del bloque "j".

$\varepsilon_{ij}$  = Es el error experimental asociado al tratamiento i en el bloque "j".

## VII. Resultados

### VII. 1 Ciclo 2019

#### VII. 1.1 incidencia

En el primer experimento los signos de infección comenzaron a presentarse a los 30 días después de la inoculación con el hongo fitopatógeno de *Ustilago maydis* en la variedad Z-60, seguida del H40 y demás, aunque en todas las variedades se esperó toda la expresión total del signo para evaluar la severidad e incidencia, que ocurrió a los 35 días. El análisis de varianza para la variable incidencia se indica en el cuadro 7.

**Cuadro 7.** Resultados de varianza (ANOVA) para la variable de incidencia obtenidas de las 18 variedades de maíz en el ciclo 2019

Fuente	GL	SC	CM	F - Valor	Pr > F
Modelo	19	7.23237079	0.38065109	1.50	0.1493
Error	34	8.64936449	0.25439307		
Total correcto	53	15.88173528			
C. V.	36.72987				
Tratamiento	17	6.55750926	0.38573584	1.52	0.1474
Bloques	2	0.67486153	0.33743077	1.33	0.2788

Diseño de bloques al azar

NS: No significativo (P = 0.01)

\*\* : Altamente significativo (P = 0.001)

\* : Significativo para F calculada (P > 0.05)

Se careció de diferencia significativa entre las diferentes variedades para la variable incidencia, es decir todas las variedades presentaron el mismo comportamiento en términos estadísticos. A pesar de que no hubo diferencia significativa es evidente que la mayor incidencia se presentó en la variedad H-40 (51.37%), seguido de las variedades Faisan (47.38 %), Albatros (46.67%) y Z-60 (45.95%), mientras que las variedades H-50, Stratus y la variedad A7573 no presentaron ningún signo de infección. Por otro lado, se observaron 4 niveles de respuesta (MS, S, MR y I) según la clasificación de resistencia y susceptibilidad, en donde al menos 15 tratamientos

mostraron ser susceptibles al hongo. Con respecto a las variedades restantes no se presentaron signos de infección (Cuadro 8 y Figura 6).

**Cuadro 8.** Incidencia (%) de *Ustilago maydis* y clasificación de las 18 variedades de maíz por su respuesta al patógeno

TRATAMIENTO	INCIDENCIA %	Respuesta a <i>U. maydis</i>
H-40	51.37	MS
FAISAN	47.38	S
ALBATROS	46.67	S
Z-60	45.95	S
CIRRUS	43.73	S
H-66	43.34	S
CACAHUAXINTLE	42.33	S
H-48	40.28	S
ROJO	37.73	S
BLANCO	36.62	S
H-70	35.67	S
SBA-470	34.32	S
BIOGENE	28.33	MR
NEGRO	27.05	MR
AMARILLO	22.90	MR
H-50	0	I
STRATUS	0	I
A-7573	0	I

MS: Muy susceptible; S: Susceptible; MR: Moderadamente resistente I: Inmune



**Figura 6.** Incidencia (%) de *Ustilago maydis* expresada en 18 variedades de maíz

## VII. 1.2 Severidad

Los datos obtenidos para la variable de severidad indican que son datos no significativos ( $P = 0.01$ ) (Cuadro 9). Además, el coeficiente de variación fue mayor a 30%, indicativo que existió diferentes respuestas entre repeticiones para un mismo genotipo.

**Cuadro 9.** Resultados de varianza (ANOVA) para la variable de incidencia obtenidas de las 18 variedades de maíz en el ciclo 2019

Fuente	GL	SC	CM	F - Valor	Pr > F
Modelo	19	5.06000218	0.26631590	1.06	0.4282
Error	34	8.54283520	0.25125986		
Total correcto	53	13.60283738			
C. V.	58.51717				
Tratamiento	17	4.13668231	0.24333425	0.97	0.5113
Bloques	2	0.92331987	0.46165993	1.84	0.1747

Diseño de bloques al azar

NS: No significativo ( $P = 0.01$ )

\*\* : Altamente significativo ( $P = 0.001$ )

\* : Significativo para F calculada ( $P > 0.05$ )

Los valores promedio indicaron que el híbrido Albatros (22.65) presentó el mayor índice de severidad, seguido de la variedad Faisan (21.59) y Cacahuacintle (20.63), los cuales presentan grados de severidad con medias estadísticamente similares. En cuanto a las variedades H-48, Rojo Criollo, Cirrus, Amarillo Criollo, Blanco Criollo, H-40, Negro Criollo, Biogene, SBA-470, H-66, Z-60, H-50 y H-70 compartieron similitud estadísticamente, pero con diferente porcentaje numérico. Por último las variedades A-7573 (2.39) y Stratus (1.00) fueron las que mostraron el menor índice de severidad (Cuadro 10 y Figura 7).

**Cuadro 10.** Valores promedio del índice de severidad de *Ustilago maydis* en 18 variedades de maíz en el ciclo 2019.

Variedad	Severidad
ALBATROS	22.65 a
FAISAN	21.59 ab
CACHUAXINTLE	20.63 ab
H-48	16.87 abc

ROJO CRIOLLO	14.66 abc
CIRRUS	13.42 abc
AMARILLO CRIOLLO	13.20 abc
BLANCO CRIOLLO	13.18 abc
H-40	12.94 abc
NEGRO CRIOLLO	12.63 abc
BIOGENE	11.97 abc
SBA -470	10.87 abc
H-66	7.76 abc
Z-60	7.37 abc
H-50	7.11 abc
H-70	2.69 abc
A-7573	2.39 cb
STRATUS	1.00 c



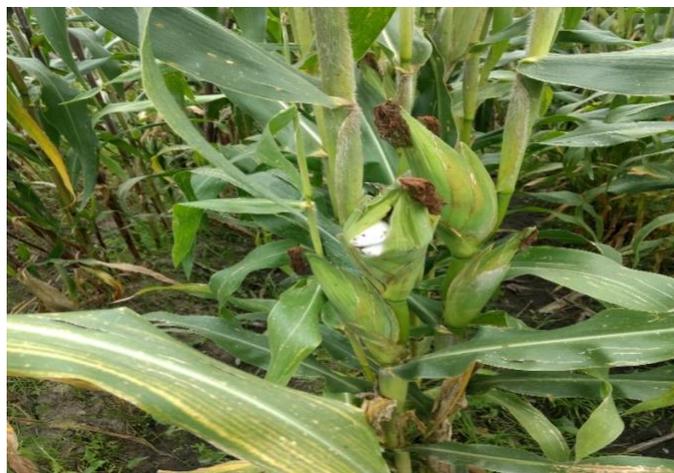
**Figura 7.** Severidad media ponderada expresada en 18 variedades de maíz inoculados con *Ustilago maydis*.

## VII. 2 Ciclo 2020

### VII. 2.1 Incidencia

Los primeros síntomas de infección de *U. maydis* se presentaron a los 30 días después de la inoculación en la variedad de Albatros (Figura 8), tomándose como referencia la aparición de tumores característicos del hongo. A los 38 días después de la inoculación siendo los signos de infección ya más evidentes, se comenzó a

registrar el total de plantas infectadas y en qué porcentaje de severidad se encontraba el hongo.



**Figura 8.** Aparición de los primeros síntomas de infección de *U. maydis* en variedad de maíz.

Existieron diferencias significativas ( $P > 0.05$ ) para los 25 genotipos de maíz utilizados para la variable de severidad (Cuadro 11).

**Cuadro 11.** Resultados de varianza (ANOVA) para la variable de incidencia obtenidas de las 25 variedades de maíz en el ciclo 2020

Fuente	GL	SC	CM	F - Valor	Pr > F
Modelo	26	2.37173838	0.09122071	2.41	0.0041
Error	48	1.81802880	0.03787560		
Total correcto	74	4.18976718			
C. V.	11.66934				
Tratamiento	24	2.09332271	0.08722178	2.30	0.0069
Bloques	2	0.27841566	0.13920783	3.68	0.0327

Diseño de bloques al azar

NS: No significativo ( $P = 0.01$ )

\*\* : Altamente significativo ( $P = 0.001$ )

\* : Significativo para F calculada ( $P > 0.05$ )

El híbrido Z-60 mostró el mayor porcentaje de incidencia con un 75.16 %, seguido de las variedades H-66 (72.70 %) y Cherokee (70.70 %). Por su parte, las variedades que mostraron el menor porcentaje de incidencia fueron las variedades Palmera con un 28.47 %, seguido de la Z-476-19 con un 27.30 %, y la variedad Carioca con un 25.89 %, siendo esta última la de menor porcentaje registrado. Con

base en el porcentaje de incidencia obtenido se pudo determinar que todos los tratamientos utilizados mostraron ser susceptibles a *U. maydis*, (Cuadro 12 y figura 9).

**Cuadro 12.** Incidencia (%) de *Ustilago maydis* y clasificación de las 25 variedades de maíz por su respuesta al patógeno, en ciclo 2020.

TRATAMIENTO	INCIDENCIA %	Respuesta a <i>U. maydis</i>
Z-60	75.16 a	MS
H-66	72.70 ab	MS
CHEROKEE	70.70 ab	MS
H-40	69.79 ab	MS
CACAHUAXINTLE	65.17 ab	MS
NOVASEM 722	61.24 ab	MS
CIRRUS	60.76 ab	MS
PROMESA 506	60.64 ab	MS
CORTESANO	58.54 ab	MS
NOVASEM 723	58.34 ab	MS
XR12	58.06 ab	MS
ALBATROS	55.99 ab	MS
FAISAN	55.46 ab	MS
CENSONTLE	54.28 ab	MS
AZ-483	51.68 ab	MS
A-101	47.79 ab	S
NOVASEM 777	47.36 ab	S
H-48	42.80 ab	S
G-105	42.42 ab	S
H-50	36.18 ab	S
LR1	34.60 ab	S
A-7573	32.53 ab	S
PALMERA	28.47 ab	MR
Z-476-19	27.30 ab	MR
CARIOCA	25.89 b	MR

MS: Muy susceptible; S: Susceptible; MR: Moderadamente resistente.



**Figura 9.** Incidencia (%) de *Ustilago maydis* expresada en 25 variedades de maíz

## VII. 2.2 Severidad

Los datos obtenidos del paquete estadístico indican que son datos significativos estadísticamente ( $P > 0.05$ ) (Cuadro 13).

**Cuadro 13.** Resultados de varianza (ANOVA) para la variable de severidad obtenidas de las 25 variedades de maíz en el ciclo 2020

Fuente	GL	SC	CM	F - Valor	Pr > F
Modelo	26	3.10806467	0.11954095	2.20	0.0090
Error	48	2.61110446	0.05439801		
Total correcto	74	5.71916913			
C. V.	23.71518				
Tratamiento	24	2.66728710	0.11113696	2.04	0.0176
Bloques	2	0.44077757	0.22038878	4.05	0.237

Diseño de bloques al azar

NS: No significativo ( $P = 0.01$ )

\*\* : Altamente significativo ( $P = 0.001$ )

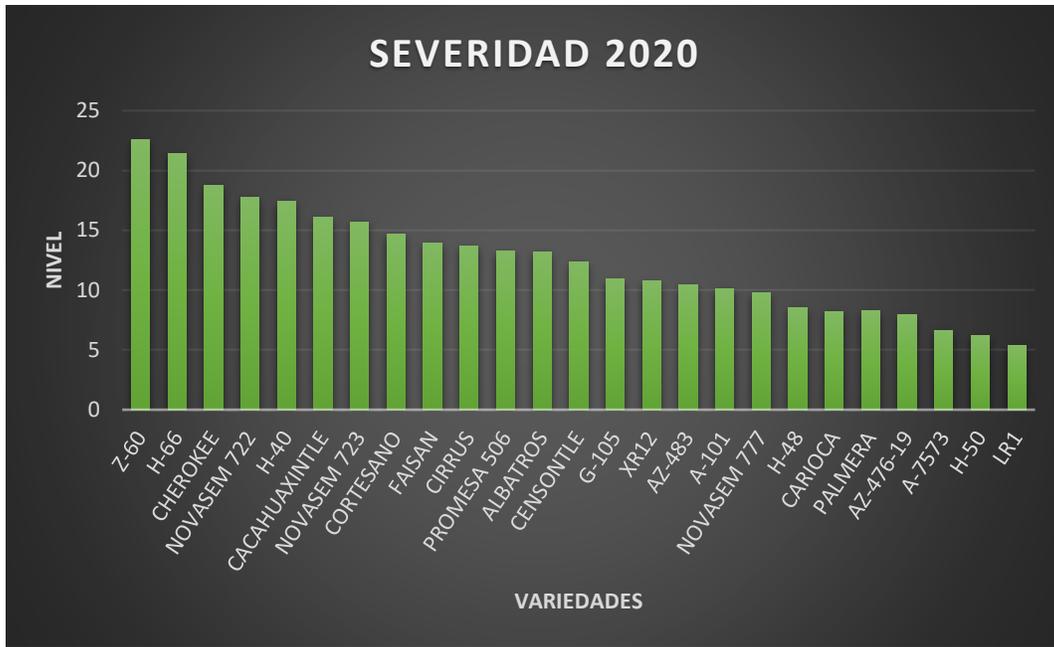
\* : Significativo para F calculada ( $P > 0.05$ )

La separación de medias con la prueba T de Test indicó que la variedad Z-60 (22.56) presentó los valores más altos en índice de severidad, seguido de las variedades H-66 (21.40), Cherokee (18.39) y Novasem (17.78), quienes comparten igualdad

estadísticamente, pero con diferencia numérica. Mientras que la variedad LR1 registró el menor índice de severidad con un 5.38 % (Cuadro 14 y figura 10).

**Cuadro 14.** Comparación de medias en la variable de severidad de *Ustilago maydis* en 25 variedades de maíz en el ciclo 2020.

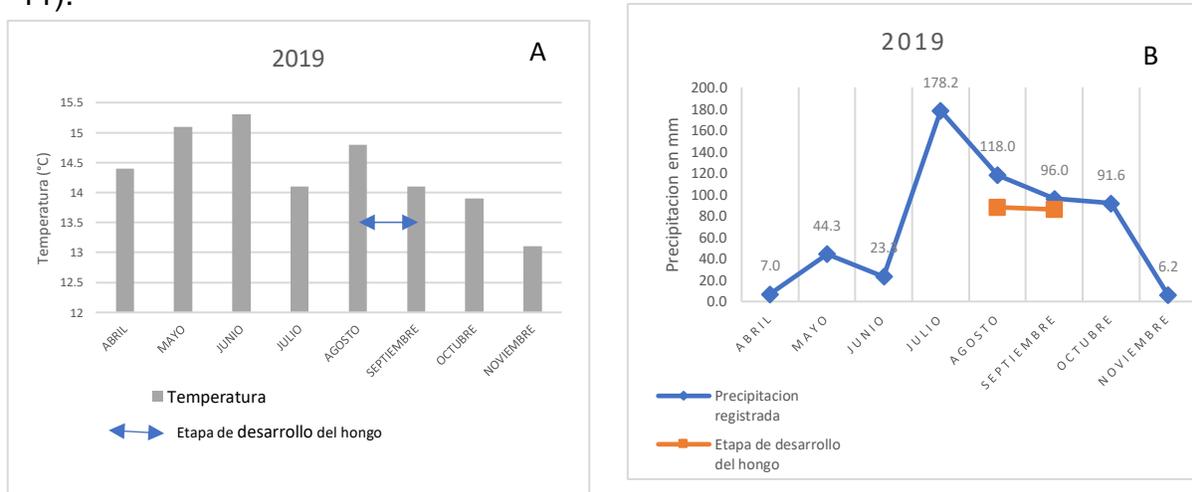
Variedad	Severidad
Z-60	22.56 a
H-66	21.40 ab
CHEROKEE	18.79 ab
NOVASEM 722	17.78 ab
H-40	17.41 abc
CACAHUAXINTLE	16.06 abcd
NOVASEM 723	15.68 abcde
CORTESANO	14.71 abcdef
FAISAN	13.93 abcdef
CIRRUS	13.67 abcdefg
PROMESA 506	13.24 abcdefg
ALBATROS	13.20 abcdefg
CENSONTLE	12.38 bcdefg
G-105	10.91 bcdefg
XR12	10.75 bcdefg
AZ-483	10.43 bcdefg
A-101	10.12 bcdefg
NOVASEM 777	9.78 bcdefg
H-48	8.50 cdefg
CARIOCA	8.18 cdefg
PALMERA	8.26 defg
AZ-476-19	7.91 defg
A-7573	6.65 efg
H-50	6.17 gh
LR1	5.38 h



**Figura 10.** Severidad media ponderada expresada en 25 variedades de maíz inoculados con *Ustilago maydis*

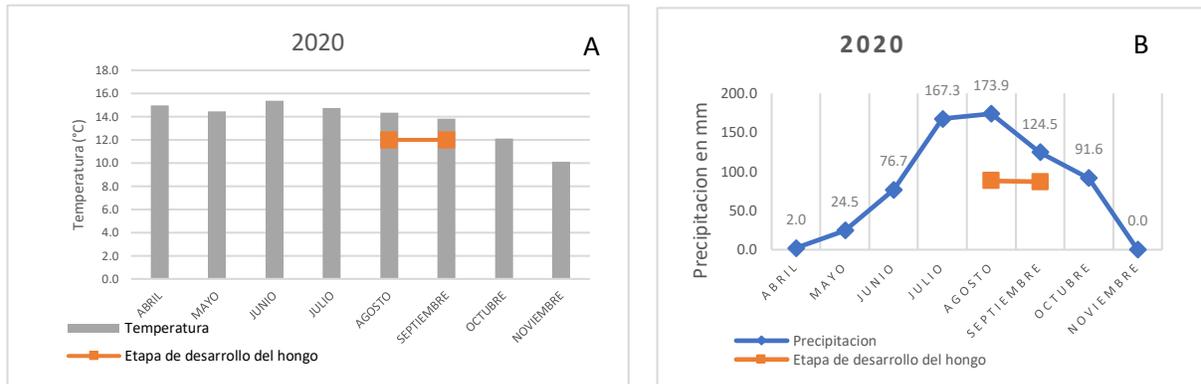
### VII.3. Temperatura y precipitaciones 2019-2020

La temperatura promedio durante el desarrollo del hongo que fue del 7 de agosto al 5 de septiembre de 2019 fue de 14.45 °C con precipitaciones de 214.0 mm (Figura 11).



**Figura 11.** Temperatura (A) y Precipitaciones (B) registradas durante el desarrollo del experimento en el ciclo 2019.

Para el segundo año de estudio la temperatura fue de 14.1° C con precipitaciones de 298.4 mm del 5 de agosto al 3 de septiembre, fecha correspondientemente desde la inoculación hasta la cosecha del hongo (Figura 12).



**Figura 12.** Temperatura (A) y Precipitaciones (B) registradas durante el desarrollo del experimento en el ciclo 2020.

## VIII. Discusión

En el experimento establecido en el ciclo 2019 la variedad H-40 obtuvo el mayor porcentaje de incidencia con un 51.37%, y en 2020 de 69.79%, categorizándose como muy susceptible; muy diferente a lo indicado por Alaniz (2016) quien reporta un porcentaje de incidencia para la misma variedad del 18.66%. Por su parte, el híbrido A-7573, H-50 y Stratus no mostraron ningún signo de infección: sin embargo, en el segundo año el híbrido A-7573 presentó un 32.53 % de incidencia. Salazar *et al.* (2013) reportan haber obtenido en el híbrido A-7573 un porcentaje de incidencia del 78.52 %, estudio que se llevó a cabo en Chapingo, del municipio de Texcoco, estado de México. Mientras que Alaniz (2016) reporta una infección de 11.58% en H-50. Es necesario evaluar nuevamente ambos genotipos, dado las diferencias que presenta de un año a otro, aunque es de destacar que A-7573 no alcanza un desarrollo de planta en las condiciones del Valle de Toluca.

Con respecto a la clasificación de susceptibilidad y resistencia, la variedad H-40 fue la única que demostró ser muy susceptible al patógeno, mientras que las variedades Biogene, Negro y Amarillo se clasificaron en muy resistentes (MR). Las variedades H-50, Stratus y A-7573 demostraron ser inmunes al patógeno. Se ha sugerido que el nivel de infección depende en gran medida del alto nivel de virulencia del patógeno (Calderón, 2010).

Los materiales criollos utilizados en el primer experimento con diferente color de grano mostraron un porcentaje de incidencia que varió entre el 20-40 %, en este sentido Valdez *et al.* (2009), al evaluar 16 criollos reportan incidencias del 30-90 %, al igual que Salazar *et al.* (2014) quienes obtuvieron resultados similares en

materiales criollos con diferente color y forma de grano. Calderón (2010), indica que la susceptibilidad al hongo de huitlacoche no va relacionada con el color del grano.

El híbrido Albatros mostró el mayor índice de severidad con un 22.65, mientras que en el segundo año de experimentación fue de 13.20, no se ha encontrado registros de que se haya evaluado esta variedad para la producción de huitlacoche, seguido de las variedades Faisan y Cacahuxintle con 21.5 y 20.63, por su parte para el siguiente año de estudio fue de 13.93 y 18.06 correspondientemente. Por su parte las variedades A-7573 (2.39) y Stratus (1.00) mostraron los índices de severidad más bajos reportados para ese ciclo, indicando ser altamente resistente al patógeno. Salazar, *et al* reportan en 2013 haber obtenido los índices más altos en cuatro variedades mejoradas. Mientras que Madrigal-Rodríguez, *et al* (2010) mencionan haber obtenido índices de severidad que oscilan entre 3.83 a 73.20 %.

En el segundo experimento, el porcentaje de incidencia osciló entre el 25–75 %, siendo el híbrido Z-60 quien mostró el mayor porcentaje de incidencia con un 75.16 %, mientras que en el primer año de estudio alcanzó incidencias del 45.95 %, Madrigal-Rodríguez, *et al* (2010) reportaron incidencias del 1-52 % en diferentes genotipos de maíz evaluados. Por su parte, Salazar, *et al* (2014) evaluaron 17 materiales de maíz (12 criollos y 5 híbridos), donde obtuvieron valores de incidencia del 45-85 % (Fig. 11 y Fig 12).

En cuanto a severidad el híbrido Z-60 mostró el índice más alto reportado en ese ciclo, seguido de la variedad H-66, no se ha encontrado reportes de que se haya trabajado en evaluar estas variedades. Los materiales A-7573 (6.65), H-50 (6.17) y LR1 (5.38) mostraron los índices de severidad más bajos. Se reporta en un ensayo

de 17 variedades de maíz evaluadas a la infección de *U. maydis*, en donde obtuvo índices de severidad que oscilaron entre el 1-3. De igual manera en el mismo experimento se reporta a la variedad A-7573 con un índice de severidad del 2.77, categoría considerada por el autor como muy alta (Salazar *et al.*, 2014). Alaniz reporta en 2016 índices de severidad que oscilan entre 1-2 para la zona de Toluca, de igual manera el mismo autor indica haber obtenido índices de 1-2 en el municipio de Villa del Carbón, estado de México.

Se reportan índices de severidad de los híbridos H-50 y H-40 con 1.71 y 1.36 correspondientemente, muy diferente a lo obtenido en el segundo año de estudio del presente experimento donde se reportan para la variedad H-40 17.41 y para la variedad H-50 6.17, muy superior a lo reportado por Alaniz (2016).

De los genotipos evaluados en el segundo año de estudio, 15 variedades se comportaron como muy susceptibles, que dan la posibilidad de utilizarse en sistemas de producción de huitlacoche para fines comerciales, y reconsiderar su uso para producción de grano en aquellas zonas donde se tenga alta prevalencia de inóculo del hongo. Por caso contrario, los genotipos Palmera, Z-476-19 y Carioca no son deseables para utilizarlos como genotipos de producción del hongo, aunque si para grano. Es de destacar que ningún genotipo alcanzó la categoría de muy resistente e inmune.

Durante el desarrollo del hongo de huitlacoche, desde la inoculación hasta la cosecha la temperatura promedio fue de 14.45 °C con precipitaciones de 214.0 mm, mientras que la temperatura promedio para el segundo año de experimentación en la misma etapa de infección fue de 14.1°C con 298.4 mm. Se cree que los mejores

resultados obtenidos fueron en el segundo año de estudio en donde la cantidad de lluvias fue mas alta y por ende benéfico mas en el desarrollo del patógeno, por su parte la temperatura fue muy similar en ambos ciclos de estudio. Se sabe que las condiciones ambientales tienen una gran importancia para el desarrollo del hongo, especialmente durante la penetración e infección. Martínez *et al.* (2000) recomiendan una temperatura de 16-32 °C con una alta humedad relativa (80-85 %), Aydoğdu (2015), coincide con estos parámetros, además indica que precipitaciones de 110 mm son favorables para la etapa de desarrollo de *U. maydis*.

## IX. Conclusiones

El 91% de las variedades de maíz sembradas en Valle de Toluca presentan un grado de susceptibilidad al patógeno *U. maydis*, en los dos años de estudio.

El híbrido Z-60 expresó el porcentaje de incidencia más alto en los dos ciclos de estudio, al igual que la variedad H-66 y Cherokee. En cuanto a la variedad Albatros, éste presentó el mayor índice de severidad de los 2 años de estudio, seguido de Z60 y H66.

El grado de severidad fue variable dependiendo del genotipo inoculado.

Los niveles de severidad dependen en gran medida del nivel de resistencia de la variedad de maíz.

La producción de huitlacoche depende de muchos factores, como variedad de maíz, condiciones ambientales entre ciclos, etc., los cuales influyen para obtener buenos rendimientos.

## **XI. Sugerencias**

Con base en los datos obtenidos se recomienda el uso de los híbridos Z-60, H-66, y Cherokee, para comenzar con una producción de huitlacoche en la zona de Toluca

Por el contrario, para zonas productoras de granos y con problemas de infección de *U. maydis* se recomienda el uso de las variedades Carioca y Palmera

El uso del híbrido A-7573 no es recomendable para la zona de Toluca, pues las características de la zona evitan el desarrollo apropiado de este material.

Se recomienda utilizar una cepa altamente infecciosa para la producción de huitlacoche, además de contar con temperaturas que ayuden al buen desarrollo del patógeno.

Es recomendable establecer proyectos de producción de huitlacoche en ambientes donde se pueda controlar mejor las condiciones ambientales.

## XII. Bibliografía

### Referencias bibliográficas consultadas

Agrios, G. N. 2005. Fitopatología (2 ed.). México: Limusa.

Alaniz, E., R. 2016. Resistencia de variedades de maíz a *Ustilago maydis*, en dos comunidades del estado de México. (Tesis de licenciatura). Universidad Autónoma del Estado de México. México. 48 pp.

Alexopoulos, C. J., Mims, C. y Blackwell, M. 1996. Introductory mycology (4 ed.). USA: John Wiley & Sons.

Aquino Martínez, J. G., Sánchez Flores, A., González Huerta, A., & Sánchez Pale, J. R. 2011. Resistencia de variedades e híbridos de maíz (*Zea mays*) a *Sporisorium reilianum* y su rendimiento de grano. Revista mexicana de fitopatología. 29(1): 39-49.

Aydoğdu, M. 2015. Rendimiento de huitlacoche en algunas variedades de maíz en la región mediterránea de Turquía. Ciencia y tecnología de los alimentos. 35 (2): 386-390.

Belitz, H. D. y Grosch, W. 1997. Química de los alimentos. Acribia, S. A.,

Calderón, M. L. (2010). Caracterización clásica y molecular del huitlacoche [*Ustilago maydis* DC (Corda)], hongo de importancia social y económica en la región central de México.

Herrera, T. y Ulloa, M. 20

04. El Reino de Los Hongos: Micología Básica y Aplicada (2 ed.). México: Fondo de cultura económica.

INIA. 2020. Manual Técnico del Cultivo de Maíz Amarillo Duro. Lima: INIA.

- MacRobert, J. F., Setimela, P. S., Gethi, J. y Worku M. (2015). Manual de producción de semilla de maíz híbrido. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). Texcoco, Estado de México. 27 p.
- Madrigal-Rodríguez, J., Villanueva-Verduzco, C., Sahagún-Castellanos, J., Acosta Ramos, M., Martínez Martínez, L., & Espinosa Solares, T. 2010. Ensayos de producción de huitlacoche (*Ustilago maydis* Cda.) hidropónico en invernadero. Revista Chapingo. Serie horticultura. 16(3): 177-182.
- Maroto, J. V. 2002. Horticultura herbácea especial (5 ed.). Mundiprensa.
- Njuguna, J.G.M. 1999. Potencial de control del carbón de la cabeza causado por *Sphacelotheca Reiliana* en el germoplasma de maíz del CIMMYT. Tecnología de producción de maíz para el futuro: desafíos y oportunidades. Actas de la Conferencia Regional del Maíz de África Oriental y Meridional, 6; Addis Abeba (Etiopía); 21-25 de septiembre de 1998. In ^ TMaize Production Technology for the Future: Challenges and Opportunities. Actas de la Conferencia Regional del Maíz de África Oriental y Meridional, 6; Addis Abeba (Etiopía); 21-25 de septiembre de 1998 ^ ACIMMYT ^ AAddis Ababa (Etiopía) ^ BCIMMYT EARO ^ C1999 (No. 633.15 EAS No. 6. CIMMYT.). Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), México DF (México).
- Paredes-López, O., Guevara, F. y Bello, L. A. 2017. Los alimentos mágicos de las culturas indígenas mesoamericanas (2 ed.). México D.F.: Fondo de Cultura Económica.
- Pérez, M. C., Sánchez, M. A., Pina, M. S., Pérez, E., García, I. A. y Pérez, A. D. 2017. Inducción de infección en Teosinte (*zea diploperennis*) con el fitopatógeno *ustilago maydis*. Journal of Negative & No Positive Results. 2 (1): 17-22.

- Poehlman, J., M. y Allen, D. 2005. Mejoramiento Genético de las Cosechas (2 ed.). México: Limusa.
- Prado-Martínez, M., Anzaldo-Hernández, J., Becerra-Aguilar, B., Palacios-Juárez, H., Vargas-Radillo, J. D. J., & Rentería-Urquiza, M. 2012. Caracterización de hojas de mazorca de maíz y de bagazo de caña para la elaboración de una pulpa celulósica mixta. *Madera y bosques*. 18 (3): 37-51.
- Valdez, M. M., Valverde, M. E., & Paredes, L. O. 2009. Procedimiento tecnológico para la producción masiva de huitlacoche. CINVESTAV-Irapuato. *Sinnco*. 10-37.
- Valadez, R., Moreno, A. y Gómez, G. 2011. Cujtlacoche: El Cuitlacoche. México: UNAM.
- Villanueva, V. C. 1997. "Huitlacoche" (*Ustilago maydis*) as a food in Mexico. *Micología Neotropical Aplicada*. 10: 73-81.
- Villegas, E., Ortega, E. y Baver, R. 1985. Métodos químicos usados en el CIMMYT para determinar la calidad de proteína de los cereales. México: 1985.

### **Sitios web consultados**

- Acosta, R. 2009. El cultivo del maíz, su origen y clasificación. El maíz en Cuba. *Cultivos Tropicales*. 30 (2): 113-120. Obtenido de [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0258-59362009000200016](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362009000200016)
- Aguirre, J. A., Bellon, M. R. y Smale, M. 2002. A Regional analysis of Maize Biological Diversity in Southeastern Guanajuato, México. *Economic Botany*. 54: 60-72. Obtenido de <https://doi.org/10.1007/BF02866600>

- ASERCA. 2018. Maíz grano cultivo representativo de México. Disponible en: <https://www.gob.mx/aserca/articulos/maiz-grano-cultivo-representativo-de-mexico?idiom=es>. Fecha de consulta 02 de enero de 2020.
- Banuet, F. y Herskowitz, I. 1994. Morphological transitions in the life cycle of *Ustilago maydis* and their genetic control by the a and b loci. *Experimental Mycology*. 18 (3): 247-266. Disponible en: <https://doi.org/10.1006/emyc.1994.1024>
- Beas, R., Loarca, G., Guzmán, S. H., Rodríguez, M. G., Vasco, N. L. y Guevara, F. 2011. Potencial nutracéutico de componentes bioactivos presentes en el huitlacoche de la zona centro de Mexico. *Revista mexicana de ciencias farmacéuticas*. 42 (2): 36-44. Obtenido de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1870-01952011000200006](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-01952011000200006)
- Benítez, C. G. 2006. El maíz: origen, composición química y morfología. *Materiales Avanzados*. 7: 15-20. Obtenido de <https://www.iim.unam.mx/revista/pdf/numero07.pdf>
- Carrillo Trueba, C. (2009). El origen del maíz. *Naturaleza y cultura en Mesoamérica*. *Ciencias*, 92: 4-13. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/644/64412119003.pdf>
- CIMA. 2019. Panorama internacional del maiz. Disponible en: [https://www.cima.aserca.gob.mx/work/models/cima/pdf/mi/2019/Mercados\\_internacionales\\_maiz\\_241019.pdf](https://www.cima.aserca.gob.mx/work/models/cima/pdf/mi/2019/Mercados_internacionales_maiz_241019.pdf). Fecha de consulta: 18 de 01 de 2021.

- CIMA. 2020. REPORTE DEL MERCADO DE MAÍZ. Disponible en:  
[https://www.cima.aserca.gob.mx/work/models/cima/pdf/cadena/2020/Reporte\\_mercado\\_maiz\\_310820.pdf](https://www.cima.aserca.gob.mx/work/models/cima/pdf/cadena/2020/Reporte_mercado_maiz_310820.pdf). Fecha de consulta: 02 de enero de 2021.
- CONAGUA. 2010. Servicio Meteorológico Nacional. Disponible en:  
<https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/informacionclimatologica/informacion-estadistica-climatologica>. Fecha de consulta: 12 de octubre de 2020.
- Esquivel, A. L., Fresán, M. C., Mosqueda, Miguel. y Pérez, J. 2012. Evaluación del efecto de niacina en un modelo de obesidad con síndrome metabólico en ratas ZuckerZucker (fa/fa) longevas. *Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas*. 43 (4): 47-54. Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57928311007>
- FAO. 1993. El maíz en la nutrición humana. Disponible en:  
<http://www.fao.org/3/t0395s/T0395S00.htm#Contents>. Fecha de consulta: 03 de enero de 2021.
- GBIF Secretariat. 2019. *Zea mays L.* Disponible en:  
<https://doi.org/10.15468/39omei>. Fecha de consulta: 06 de febrero de 2021,
- Huerta, G. 2013. Efecto del huitlacoche sobre indicadores de estrés oxidativo en ratas diabéticas y normales. (Tesis de Maestría). Universidad Autónoma de Aguascalientes, Aguascalientes, Mexico. Disponible en:  
<http://hdl.handle.net/11317/1130>.
- Leal, M. A. 1996. Evaluación de metodologías para la inducción artificial de huitlacoche. (tesis de maestría). Universidad Autónoma de Nuevo León, México. Disponible en: [file:///C:/Users/orlan/Downloads/269%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/orlan/Downloads/269%20(1).pdf)

- Martínez, A. D., García, G. D. y Gold, S. E. 2002. The Ustilaginales as Plant Pests and Model Systems. *Fungal Genetics and Biology*. 35 (1): 1-20. Disponible en: <https://doi.org/10.1006/fgbi.2001.1301>
- Martínez, E., Beltrán, E. y Lopez, B. 2011. La arquitectura radical del maíz (*Zea mays* L.). *Ciencia nicolaita*. 53: 48-60. Disponible en: <http://www.cic.cn.umich.mx/cn/article/view/6/6>
- Martínez, M. L., Villanueva, C., y Sahagún, J. 2000. Susceptibility and resistance of maize to the edible fungus huitlacoche (*Ustilago maydis* Cda.) improving its virulence. *Revista de Chapingo. Serie Horticultura*. 6 (2): 241-255. doi:10.5154/r.rchsh.1999.10.069
- Ortega-Blu, R. A., Muñoz-Lagos, R. E., Acosta-Espejo, L. G., & González-Platteau, R. A. 2010. Biocombustibles en Chile. I. Identificación y balance energético de la producción de materias primas y de biocombustibles. *Agrociencia*. 44 (6): 611-622. Disponible en: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1405-31952010000600001&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952010000600001&lng=es&tlng=es).
- Patakay, J. K., Nankam, C. y Kerns, M. R. 1995. Evaluation of a silk-inoculation technique to differentiate reactions of sweet corn hybrids to common smut. *Phytopathology*. 85 (10): 1323-1328. Disponible en: [https://www.apsnet.org/publications/phytopathology/backissues/Documents/1995Abstracts/Phyto\\_85\\_1323.htm](https://www.apsnet.org/publications/phytopathology/backissues/Documents/1995Abstracts/Phyto_85_1323.htm)
- Pimentel, D. J., Rodríguez, M. E., Campos, R. G., Trapala, A. y Hernández, A. D. 2011. Influencia de la variedad maíz en las características fisicoquímicas del huitlacoche (*ustilago maydis*). *Revista Mexicana de Ingeniería Química*. 10

(2): 171-178. Disponible en:  
[http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1665-27382011000200003&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1665-27382011000200003&lng=es&nrm=iso). ISSN 1665-2738.

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 (2): 247-255. Disponible en:  
[http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0185-33092015000200247&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-33092015000200247&lng=es&tlng=es).

SADER. 2016. Algo raro y succulento es el huitlacoche. Disponible en:  
<https://www.gob.mx/agricultura/es/articulos/algo-raro-y-suculento-es-el-huitlacoche>. Fecha de consulta: 23 de 12 de 20.

SADER. 2018. El huitlacoche, un hongo parásito muy productivo. Disponible en:  
<https://www.gob.mx/agricultura/es/articulos/el-huitlacoche-un-hongo>. Fecha de consulta: 3 de 12 de 2020.

Salazar, J. C., Martínez, E., Álvarez, R., y Méndez., A. 2014. Susceptibilidad de maíces híbridos y criollos al huitlacoche (*Ustilago maydis* (DC) cda), y rentabilidad de la producción, en Chapingo, México. Ciencias Agronómicas y ambientales. 1er Congreso Internacional de Ciencias Aplicadas. Universidad Autónoma de Chapingo. Texcoco, Estado de México., 84-93. Disponible en:  
[file:///C:/Users/orlan/Downloads/SUSCEPTIBILIDADDEMACESHBRIDOSYCRIOLOSALHUITLACOCHEUstilagomaydis%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/orlan/Downloads/SUSCEPTIBILIDADDEMACESHBRIDOSYCRIOLOSALHUITLACOCHEUstilagomaydis%20(1).pdf)

Tisdale, W. H. y Johnston, C. O. 1926. A study of smut resistance in corn seedlings grown in the greenhouse. *Journal of agriculture research*. 32 (7): 649-668.

Disponible en: <https://naldc.nal.usda.gov/download/IND43967135/PDF>

Valdez, M., Barry, K., Fahey, G. C., Domínguez, J., Gonzalez, E., Valverde, M. E. y Paredes, O. 2010. Effect of maize genotype, developmental stage, and cooking process on the nutraceutical potential of huitlacoche (*Ustilago maydis*). *Food Chemistry*. 119 (2): 689-697.

## Anexos



**Figura 13.** Inoculando planta de maíz con ayuda de un jeringa automática



**Figura 14.** Presencia de signos de huilacoche en la variedad Albatros



**Figura 15.** Huitlacoche en etapa de senescencia



**Figura 16.** Agalla de huitlacoche lista para ser cosechada



**Figura 17.** Hongo de huitlacoche ya cosechado



**Figura 18.** Maíz altamente resistente al hongo de *U. maydis*



**Figura 19.** Mazorca de maiz altamente infectada por el hongo de huitlacoche en la variedad H-66



Toluca, México; a 12 de octubre de 2021

**Carta de autorización para la incorporación de objetos digitales  
en el Repositorio Institucional de la Universidad Autónoma del  
Estado de México.**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO  
P R E S E N T E**

El/la/los que suscribe/n Juan Carlos Ansures Domínguez, con fundamento en los artículos 13 fracción I, 18, 21 22, 27, 30 y demás aplicables de la Ley Federal del Derecho de Autor y su Reglamento vigentes, firmo/mamos la presente Licencia de Uso Gratuita, No Exclusiva y No remunerada para la incorporación al Repositorio Institucional de la Universidad Autónoma del Estado de México de la obra literaria (artículo, capítulo de libro, libro, tesis de posgrado, entre otros.) que lleva por título Incidencia de *Villosa mydas* (D.C) Cordo, en cultivos comerciales de maíz en el valle de Toluca, estado de México

Asimismo, declaro/ramos bajo protesta de decir verdad ser el/la/los autor/a/res y/o legítimo/a/s titular/es de la obra literaria y sus derivados visuales; y que responderé/remos de la autoría/titularidad, originalidad y nivel de acceso de la obra de mérito y del ejercicio pacífico de los derechos que se licencian en este acto, manifestando que no existe ninguna otra persona física o moral a la que le pertenezcan; por lo cual libero/ramos en este acto de toda responsabilidad a la Universidad Autónoma del Estado de México, así como de cualquier demanda o reclamación que llegara a formular alguna persona física o moral que considere vulnerados sus derechos o que se suponga con derecho sobre la obra mencionada, asumiendo todas las consecuencias legales y económicas a que hubiera lugar.

Por lo anterior, autorizo que la Oficina de Conocimiento Abierto perteneciente a esta Máxima Casa de Estudios, realice lo propio para el almacenamiento, preservación y difusión de la obra, con fines académicos y culturales en formato de acceso abierto y sin fines de lucro en los términos siguientes:

**1. De los Derechos de Autor.**

Reconozco la importancia de protección de mi obra y el movimiento de Acceso Abierto del cual forma parte la Universidad Autónoma del Estado de México, por lo tanto conozco y acepto que mi obra esté protegida bajo una de las Licencia Creative Commons que a continuación se listan, marcando con una "X" del lado izquierdo la que será aplicable a mi obra:

	<b>Licencia</b>	<b>icono</b>
<input type="checkbox"/>	<b>Reconocimiento (BY):</b> El autor permite copiar, reproducir, distribuir, comunicar públicamente la obra, realizar obras derivadas (traducción, adaptación, etc.) y hacer de ella un uso comercial, siempre y cuando se cite y reconozca al autor original.	
<input type="checkbox"/>	<b>Reconocimiento - Sin obra derivada (BY-ND):</b> El autor permite copiar, reproducir, distribuir, comunicar públicamente la obra, y hacer de ella un uso comercial siempre y cuando se cite	



- y reconozca al autor original. No permite generar obra derivada.
- Reconocimiento - No comercial- Sin obra derivada (BY-NC-ND):** El autor permite copiar, reproducir, distribuir, comunicar públicamente la obra, siempre y cuando se cite y reconozca al autor original. No permite generar obra derivada ni utilizarla con finalidades comerciales. 
  - Reconocimiento - No comercial (BY-NC):** El autor permite copiar, reproducir, distribuir, comunicar públicamente la obra, y generar obras derivadas siempre y cuando se cite y reconozca al autor original. No se permite utilizar la obra con fines comerciales. 
  - Reconocimiento - No comercial - Compartir igual (BY-NC-SA):** El autor permite copiar, reproducir, distribuir, comunicar públicamente la obra, y generar obras derivadas siempre y cuando se cite y reconozca al autor original. La distribución de las obras derivadas deberá hacerse bajo una licencia del mismo tipo. No se permite utilizar la obra con fines comerciales. 
  - Reconocimiento - Compartir igual (BY-SA):** El autor permite copiar, reproducir, distribuir, comunicar públicamente la obra, generar obras derivadas y hacer de ellas un uso comercial, siempre y cuando se cite y reconozca al autor original. Se permite la distribución de las obras derivadas, pero única y exclusivamente con una licencia del mismo tipo. 

## 2. De la Difusión del producto

El nivel de acceso en mi obra definirá la parcialidad o totalidad de acceso a los datos y documento a texto completo para su visibilidad en el Repositorio Institucional, por lo que la aplicable a mi obra, es el señalada del lado izquierdo en esta sección:

### Nivel de acceso

- a. **Abierto:** esta característica permite que los metadatos del depósito puedan ser visualizados en su totalidad, así como el acceso al documento a texto completo depositado para visualización y descarga, el documento es incluido en resultados de búsquedas. Las características de un archivo para publicación en abierto son:
  - I. Es posible acceder a su contenido de manera libre y universal, sin costo alguno para el lector, a través de cualquier dispositivo que cuente con acceso a Internet;
  - II. El autor o titular de los derechos de propiedad intelectual otorga al usuario el derecho de utilizar, copiar o reproducir el contenido, con la única condición de que se dé el debido crédito de autoría.
  - III. El documento ya cumplió su periodo de exclusividad con alguna editorial o tercera persona y está disponible para su libre publicación.
- b. **Restringido:** esta característica se utiliza cuando se desea que el documento no se muestre al público, únicamente podrán visualizarse los metadatos del depósito a petición del depositante o autor, en caso de que algún visitante o usuario desee el acceso al contenido completo del documento se enviará un mensaje al depositante del documento a texto



completo solicitando su acceso, el depósito será incluido en los resultados de búsqueda

c. **Embargado:** esta característica permite ocultar el documento por un periodo de tiempo definido por el autor, únicamente podrán visualizarse los metadatos del depósito a petición del depositante o autor, llegada la fecha de finalización de embargo el acceso al documento será modificado a "acceso abierto", mientras el documento se encuentre oculto los metadatos serán visibles y quedará incluido en los resultados de búsqueda.

d. **Cerrado:** en este caso el depósito no será incluido en los resultados de búsquedas, el documento y los metadatos de depósito NO serán visibles para los usuarios.

Para el caso de nivel de acceso Restringido, Cerrado o Embargo, se deberá contar con un motivo y fecha de término por el nivel de acceso elegido.

Así mismo, conozco y acepto los términos del aviso de privacidad de la UAEMex, mismo que puede ser consultado en [http://web.uaemex.mx/avisos/Aviso\\_Privacidad.pdf](http://web.uaemex.mx/avisos/Aviso_Privacidad.pdf); en este mismo acto otorgo mi consentimiento, para que la Universidad Autónoma del Estado de México, haga públicos mis datos personales referentes a nombres, espacio académico, opiniones y/o conclusiones vertidas en el presente trabajo de investigación (tesis, tesina, ensayo, publicaciones de revistas y/o libros) (tesis de grado y posgrado, artículos, libros, capítulos y cualquier trabajo académico) derivado de las obligaciones comunes y específicas que se tiene como Sujeto Obligado en materia de Transparencia y en cumplimiento a la Ley de Protección de Datos Personales en Posesión de Sujetos Obligados

En pos a la protección de datos personales de terceros, y en cumplimiento a la Ley de Protección de Datos Personales en Posesión de Sujetos Obligados, estoy de acuerdo para que la tesis de mi autoría no contenga documentos donde se visualicen datos personales sensibles que puedan afectar a terceros; tales documentos como voto aprobatorio, aceptación de tesis, dedicatorias, agradecimientos, mismos que, de no ocultarlos, serán visibles en el Repositorio Institucional de la Universidad autónoma Del Estado de México, haciéndome responsable de los mismos y sin previo permiso de los terceros

Firmo de Conformidad y bajo protesta de decir verdad

Nombre y Firma

Juan Carlos Ansuriz Domínguez

No. De Cuenta

1570071

Conozco y acepto los términos de privacidad de la Universidad  
Autónoma del Estado de México  
[http://web.uaemex.mx/avisos/Aviso\\_Privacidad.pdf](http://web.uaemex.mx/avisos/Aviso_Privacidad.pdf)



Toluca, México a 12 de octubre de 2021

**Hoja de datos del autor**

Nombre: Juan Carlos Ansures Domínguez

Número de cuenta (en caso de aplicar): 1570021

Grado académico: Ingeniero Agrónomo Fitosanista

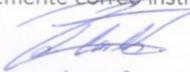
Programa educativo de procedencia (aplica solo en tesis): Ingeniero Agrónomo Fitosanista

Institución donde labora: Sin Institución

Domicilio: Ninguno

Teléfono/Fax: —

Correo electrónico (preferentemente correo institucional): jansuresd021@alumno.uaemex.mx

  
Juan Carlos Ansures Domínguez

Nombre y firma

**Nota:** para el caso de que sean más de un autor, se deberá imprimir esta última hoja de "datos del autor" en relación al número de autores.

Esta información es recabada con fines administrativos

Conozco y acepto los términos de privacidad de la Universidad  
Autónoma del Estado de México  
[http://web.uaemex.mx/avisos/Aviso\\_Privacidad.pdf](http://web.uaemex.mx/avisos/Aviso_Privacidad.pdf)