

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE PARASITOLOGÍA



Susceptibilidad de Maíces Nativos a Huitlacoche *Ustilago maydis*, (D.C. Corda)  
Mediante Infección Artificial.

Por:

**LUIS ÁNGEL VALLE GONZÁLEZ**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO PARASITÓLOGO**

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Junio, 2022

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA  
DEPARTAMENTO DE PARASITOLOGÍA

Susceptibilidad de Maíces Nativos a Huitlacoche *Ustilago maydis*, (D.C. Corda)  
Mediante Infección Artificial.

Por:

**LUIS ÁNGEL VALLE GONZÁLEZ**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO PARASITÓLOGO**

Aprobada por el Comité de Asesoría:

  
Dr. Alonso Méndez López  
Asesor Principal Interno

  
Dra. Miriam Sánchez Vega  
Asesor Principal Externo

  
Dr. Agustín Hernández Juárez  
Coasesor

  
Dr. Francisco Javier Sánchez Ramírez  
Coasesor

  
Dr. José Antonio González Fuentes  
Coordinador de la División de Agronomía



Buenvista, Saltillo, Coahuila, México  
Junio, 2022

### Declaración de no plagio

El autor quien es el responsable directo, jura bajo protesta de decir verdad que no se incurrió en plagio o conducta académica incorrecta en los siguientes aspectos: Reproducción de fragmentos o textos sin citar la fuente o autor original (corta y pega); reproducir un texto propio publicado anteriormente sin hacer referencia al documento original (auto plagio); comprar, robar o pedir prestados los datos o la tesis para presentarla como propia; omitir referencias bibliográficas o citar textualmente sin usar comillas; utilizar ideas o razonamientos de un autor sin citarlo; utilizar material digital como imágenes, videos, ilustraciones, graficas, mapas o datos sin citar el autor original y/o fuente, así mismo tengo conocimiento de que cualquier uso distinto de estos materiales como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por las autoridades correspondientes.

Por lo anterior me responsabilizo de las consecuencias de cualquier tipo de plagio en caso de existir y declaro que este trabajo es original.

Pasante



---

**Luis Ángel Valle González**

Asesor



---

**Dr. Alonso Méndez López**

## AGRADECIMIENTOS

A mi querida “**ALMA MATER**” **UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO** quien me abrió sus puertas para hacer de mi un profesionalista competente en el ámbito agrícola.

Al Departamento de **PARASITOLOGÍA** por la formación científica y de calidad que me brindaron.

Agradezco a la **Dra. Miriam Sánchez Vega** por darme las herramientas para poder realizar este trabajo de tesis, agradezco también la paciencia, confianza que deposito en mí para trabajar en este proyecto. En concreto estoy en total gratitud por sus consejos y la amistad que me brindo, los cuales estoy seguro que han forjado en mis nuevas experiencias y ganas de ir siempre más allá.

Al **Dr. Alonso Méndez López** por su total disposición en apoyarme y estar ahí siempre que lo necesite, de igual manera agradezco su tiempo, la confianza, la información que me brindo para hacer lo mejor posible en este proyecto.

Los dos son personas increíbles de un valor humano enorme, la paciencia y amistad incomparable que me demostraron y por los conocimientos que logre obtener de ustedes siempre estaré totalmente agradecido.

A todos los maestros que a lo largo de esta estancia en la Universidad me brindaron sus conocimientos para forjar en mí un profesionalista preparado y competente.

Enormemente agradezco al **Ing. Francisco Javier Gómez García** por su apoyo en mi estancia en Coahuila, por sus consejos y palabras de aliento que siempre me brindo, por motivare a siempre ser mejor persona y preparada. Ingeniero muchas gracias por su amistad.

A **Dios** que con su poder divino me otorgo salud y las fuerzas para lograr esta meta en mi vida.

## **DEDICATORIA**

A la persona más especial de mi vida, mi madre **LUISA GONZALEZ GONZALEZ**; mi ejemplo a seguir por su gran valor y coraje de sacar a su familia adelante con amor y unidad, quien me ha inculcado valores y principios los cuales hacen de mí una persona humilde, la mujer que con esfuerzo y esmero brindo para mí su total apoyo y respaldo en mis decisiones por eso y mucho más madre estaré eternamente agradecido.

A mi hermano mayor **GREGORIO VALLE GONZALEZ** por ser un pilar firme en mi vida, quien me ha enseñado hacer las cosas con audacia y coraje, quien me ha apoyado incondicionalmente a lo largo de mi vida. A ti hermano por ser un padre para mí y mis hermanos, a ti que me inculcas el respeto y el jamás rendirse y quien ejemplifica la unidad de la familia, por todo hermano gracias.

Si no los tuviera mi vida sería un desastre, cada vez que los veo me doy cuenta que estoy frente al vivo retrato de mi madre. Hermanos míos **JUAN MANUEL, EDGARDO, LITZI y SEBASTIÁN** ustedes que a pesar del desorden que he sido a veces, siempre han estado conmigo apoyándome y por ello muchas gracias. Siempre han sido mi motivación y seguirán siéndolo hasta alcanzar todas mis metas.

A ustedes dedico esta meta cumplida, reflejada en este trabajo de tesis y siempre estaré agradecido con Dios por permitirme ser su hermano e hijo de una gran mujer, siempre estaré con ustedes en las buenas y las malas.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	<b>VI</b>
<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>VIII</b>
<b>ÍNDICE DE CONTENIDO</b> .....	<b>IX</b>
<b>ÍNDICE DE CUADROS</b> .....	<b>XI</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>XII</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>XIII</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>Objetivos</b> .....	<b>2</b>
General .....	2
Específicos .....	2
<b>Hipótesis</b> .....	<b>2</b>
<b>REVISION DE LITERATURA</b> .....	<b>3</b>
<b>Generalidades del Maíz</b> .....	<b>3</b>
Origen del maíz .....	3
Importancia nacional e internacional del maíz .....	4
Usos del maíz y subproductos .....	5
Diversidad del maíz .....	5
Maíz nativo .....	6
Raza .....	7
Híbrido .....	8
Razas de maíz reportadas en Michoacán .....	8
Características de maíces nativos en estudio .....	9
Pepitilla .....	9
Maíz prieto .....	9
Maíz ancho .....	9
Maíz balsas .....	10
Híbrido H-7573 .....	10
<b>Generalidades del Huitlacoche</b> .....	<b>10</b>
Importancia histórico-social del consumo de huitlacoche en México .....	10
Importancia económica del huitlacoche .....	11
Valor nutrimental .....	12
Origen y distribución .....	12

Clasificación taxonómica de <i>Ustilago maydis</i> .....	13
Morfología de la infección por <i>Ustilago maydis</i> .....	14
Ciclo biológico de <i>Ustilago maydis</i> .....	15
Requerimientos climáticos para el desarrollo del huitlacoche .....	16
<b>Técnicas de Inoculación</b> .....	<b>17</b>
Producción tradicional .....	17
Inoculación artificial del huitlacoche .....	17
Estudios de producción de huitlacoche en genotipos nativos .....	18
<b>Características de Saltillo, Coahuila, México.</b> .....	<b>19</b>
<b>MATERIALES Y METODOS</b> .....	<b>20</b>
<b>Material Vegetal</b> .....	<b>20</b>
<b>Obtención de la Cepa Patogénica</b> .....	<b>21</b>
Aislamiento y purificación de la cepa .....	21
Incremento de inóculo .....	22
<b>Establecimiento del Experimento y Diseño Experimental</b> .....	<b>22</b>
<b>Manejo del Cultivo</b> .....	<b>22</b>
<b>Preparación del Inóculo</b> .....	<b>23</b>
<b>Inoculación</b> .....	<b>24</b>
<b>Cosecha</b> .....	<b>24</b>
<b>Variables Evaluadas</b> .....	<b>24</b>
<b>Análisis Estadístico</b> .....	<b>25</b>
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	<b>27</b>
<b>Análisis de Varianza</b> .....	<b>27</b>
<b>Análisis de Comparación de Medias</b> .....	<b>29</b>
Medias obtenidas entre los maíces nativos .....	32
Entre fechas de corte o cosecha de huitlacoche .....	37
<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>40</b>
<b>LITERATURA CONSULTADA</b> .....	<b>41</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

**Cuadro 1.** Características del germoplasma de maíz utilizado para probar la susceptibilidad a *Ustilago maydis*, originario de Benito Juárez, Michoacán de Ocampo, México, 2018..... **21**

**Cuadro 2.** Cuadrados medios de los rangos en el análisis de varianza dentro de cada variable, considerados en un análisis no paramétrico de Kruskal-Wallis, para la producción de huitlacoche en maíces nativos, originarios de Benito Juárez, Michoacán. **27**

**Cuadro 3.** Comparación de medias ajustadas entre nativos de maíz por la prueba de Kruskal-Wallis, para cada una de las variables que determinan la susceptibilidad a *Ustilago maydis* en la producción de huitlacoche. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, 2018..... **29**

**Cuadro 4.** Comparación de medias ajustadas entre cortes o cosechas de huitlacoche en maíces nativos mediante la prueba de Kruskal-Wallis, para cada una de las variables que determinan la susceptibilidad a *Ustilago maydis*. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, 2018..... **31**

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Teliospora en germinación. Álvarez, 1999. ....	<b>15</b>
<b>Figura 2.</b> Ciclo biológico del carbón del maíz producido por <i>Ustilago maydis</i> . ....	<b>16</b>
<b>Figura 3.</b> Medias de la variable severidad (SEV), en la determinación de susceptibilidad a una cepa patogénica de <i>Ustilago maydis</i> , en maíces provenientes del Michoacán, para la producción de huitlacoche. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, 2018. ....	<b>33</b>
<b>Figura 4.</b> Medias de la variable incidencia (INC), en la determinación de susceptibilidad a una cepa patogénica de <i>Ustilago maydis</i> , en maíces provenientes del Michoacán, para la producción de huitlacoche. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, 2018. ....	<b>34</b>
<b>Figura 5.</b> Medias de las variables longitud (LONG) y grosor (GROS) de mazorca, en los maíces nativos evaluados para determinar la susceptibilidad a una cepa patogénica de <i>Ustilago maydis</i> , en la producción de huitlacoche. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, 2018. ....	<b>34</b>
<b>Figura 6.</b> Porcentaje de producción de huitlacoche en maíces de origen michoacano, evaluados en la producción de huitlacoche. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, 2018. ....	<b>35</b>
<b>Figura 7.</b> Promedio de mazorcas cosechadas por variedad, inoculadas con una cepa patogénica de <i>Ustilago maydis</i> , en la producción de huitlacoche. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, 2018. ....	<b>36</b>
<b>Figura 8.</b> Respuesta de la variable Peso de agallas de huitlacoche (PAG) en promedio, para cada cosecha de mazorcas obtenido en maíces michoacanos. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, 2018. ....	<b>39</b>

## RESUMEN

En la actualidad se consume considerablemente la Truffa mexicana conocido así el huitlacoche [*Ustilago maydis* (D.C.) Corda]. Su consumo ha ido en aumento por sus codiciadas características nutrimentales muy activas; sin embargo, la disponibilidad de encontrarlo todo el año es una situación meramente difícil, lo que hace que la importancia de este producto logre colocarse como una exquisitez alimenticia, su amplia rentabilidad adentra cada día a más productores a producirlo. En esta investigación se realizó una evaluación de variedades nativas de maíz, originarias del estado de Michoacán para determinar la susceptibilidad de las mismas a una cepa patogénica de *U. maydis*. Los materiales empleados fueron un testigo, el híbrido H-7573, maíz ancho, maíz balsas, maíz prieto y pepitilla. La evaluación se llevó a cabo bajo las condiciones de Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, en el año 2018, mediante el método de inoculación artificial, se manejó un diseño experimental de bloques completamente al azar con cuatro repeticiones a una densidad de siembra de 44,400 plantas·ha<sup>-1</sup>. Las variables para evaluar fueron: incidencia, severidad, longitud de mazorca, grosor de mazorca, peso de mazorca y peso de agallas. El análisis estadístico indicó que los nativos maíz prieto y el H-7573 fueron los más susceptibles para la producción de huitlacoche, con una incidencia de 1.28 y 1.27, respectivamente, sin embargo, la severidad más alta se obtuvo en los maíces prieto y pepitillas con valores de 31.77% y 27.88%, siendo variables de gran importancia para determinar la patogenicidad de la cepa. Sin embargo, el maíz nativo ancho fue el que presentó el mayor rendimiento con 90.9 Kg·ha<sup>-1</sup>, esto debido a las características intrínsecas del mismo nativo. En general la respuesta de los genotipos de maíz a la cepa y a las condiciones ambientales para la producción de huitlacoche en Saltillo fue baja.

**Palabras clave:** huitlacoche, susceptibilidad a hongos, hongos comestibles, cultivos alternativos, maíz.



## INTRODUCCIÓN

El carbón del maíz o huitlacoche [*Ustilago maydis* (D.C.) Corda] para los Mayas estaba ausente en su dieta alimentaria, era considerado como una deformidad del maíz, como un producto indeseable que demeritaba la calidad de su cultivo, y que causaba pérdidas considerables en tiempos prehispánicos. Para los Aztecas era todo lo contrario, se consideraba un manjar y lo adoptaron en su cultura alimentaria (Villanueva *et al.*, 1999).

En la actualidad, debido a su sabor y aportación nutricional al ser humano, al huitlacoche se le cataloga como un platillo de delicia culinaria, especialmente en México, Estados Unidos de Norteamérica, Europa y Japón, donde la demanda ha aumentado considerablemente (Villanueva *et al.*, 1999).

Existen diversos factores que favorecen el desarrollo del hongo *U. maydis*, como la temperatura, la humedad relativa y el material genético. La gran mayoría de las variedades de maíz presentan algún grado de resistencia al ataque del hongo siendo las variedades de maíz dulce las más susceptibles a esta enfermedad (Pataky *et al.*, 1995).

Actualmente la producción comercial de este hongo está basada en los maíces híbridos para la producción de elote; haciendo que la producción dependa de la disponibilidad en el mercado de dichos híbridos y de la búsqueda permanente de susceptibilidad en éstos para la producción artificial de huitlacoche (Escalante, 2013). A mención de lo anterior, el propósito de realizar el presente trabajo fue evaluar la susceptibilidad de maíces nativos de origen michoacano a la inoculación artificial de huitlacoche (*U. maydis*) bajo las condiciones climáticas de Buenavista, Saltillo Coahuila, con el fin de seleccionar el germoplasma, que muestren el máximo rendimiento de huitlacoche para una producción rentable.

## **Objetivos**

### **General**

Evaluar la severidad de una cepa patogénica de *U. maydis* en un maíz híbrido y cuatro variedades nativas originarias de Michoacán, para la producción comercial de huitlacoche.

### **Específicos**

- Evaluar la eficiencia de la inoculación artificial para la producción de huitlacoche en variedades de maíz nativo de origen michoacano.
- Valorar las condiciones climáticas óptimas de Saltillo, para la producción de huitlacoche mediante inoculación artificial.
- Identificar la variedad nativa de maíz con características óptimas de calidad comercial para la producción de huitlacoche.

## **Hipótesis**

Al menos una variedad nativa de origen michoacano tendrá adaptabilidad a las condiciones climáticas de Saltillo, Coahuila, México, para la producción comercial de huitlacoche mediante inoculación artificial.

# REVISION DE LITERATURA

## Generalidades del Maíz

### Origen del maíz

Con base a las diversas teorías del maíz (*Zea mays* L.), aún hay discrepancias respecto a los detalles de su origen, generalmente se considera que el maíz fue una de las cinco primeras plantas cultivadas entre los 7,000 y 10,000 años. La evidencia más antigua proviene de algunos lugares arqueológicos en México, donde algunas pequeñas mazorcas de maíz están estimadas de más de 5,000 años de antigüedad, localizadas en cuevas de los habitantes primitivos. De acuerdo con las diversas teorías relacionadas con el origen del maíz, actualmente los científicos proponen las siguientes teorías: origen del maíz silvestre, donde se menciona que el maíz, que actualmente se conoce, se originó de una antigua forma salvaje del maíz nativo ahora extinta en las alturas de México y Guatemala, se reporta que los ancestros del maíz cultivado eran alguna forma de maíz silvestre. El maíz primitivo, el teosinte y *Tripsacum* divergían entre ellos muchos miles de años antes de que el maíz silvestre evolucionara como para llegar a ser una planta cultivada (Paliway, 2001; Kato *et al.*, 2009).

Dentro de las teorías más aceptadas es que el maíz deriva del teosinte, a través de mutaciones y por selección natural. Es generalmente aceptado el hecho de que el teosinte es el antecesor o allegado al maíz y que ha participado directamente en el origen del maíz cultivado. Los granos de teosinte están encastrados en frutos de envoltura rígida, los componentes de esa envoltura rígida también están presentes en el maíz, pero los granos no están encastrados como el teosinte si no que están expuestos en la mazorca. Se han identificado, descrito y mapeado genéticamente los locus de características cuantitativas (QTL), que controlan la diferencia fundamental entre maíz y teosinte, con base en esta teoría y a las evidencias científicas, se apoya, este origen del maíz (Dorweiler *et al.*, 1993; Chandler *et al.*, 2000).

## **Importancia nacional e internacional del maíz**

El maíz, es uno de los cereales más importantes del mundo, suministra elementos nutritivos a los seres humanos, a los animales y es una materia prima básica de la industria. Es un cultivo representativo de México por su importancia económica, social y cultural. Su producción se divide en blanco y amarillo, el maíz blanco se destina principalmente al consumo humano, mientras que la producción de maíz amarillo se destina a la industria o la fabricación de alimentos balanceados para la producción pecuaria (Agropecuarios, 2018).

Con base en Agropecuarios (2018), se registraron 59 variedades nativas de maíz en México. En 2012 se publicó en el Diario Oficial de la Federación el acuerdo por el que se determinan centros de origen y centros de diversidad genética del maíz estableciendo como tal a los Estados de Baja California, Baja California Sur, Chihuahua, Coahuila, Nuevo León, Tamaulipas, Sinaloa y Sonora.

La producción mundial de maíz durante el ciclo comercial 2020/21, fue cercana a 1,137 millones de toneladas. Con respecto al ciclo comercial anterior, este volumen representó un incremento de 1.8% (Guajardo, 2021).

México ocupa el 8° lugar en producción mundial de maíz, en 2017 exportó a 17 países, en términos de valor principalmente a Venezuela (58%), Kenia (33%) y Estados Unidos (4%), entre otros (6%) lo que nos ubica como el 10° exportador mundial de maíz grano (Agropecuarios, 2018).

La producción de maíz en 2017 fue de 27.8 millones de toneladas, mientras que la superficie sembrada en el mismo año fue de 7.5 millones de hectáreas, gran parte del territorio nacional es propicio para la producción por lo que en los 32 Estados de la República Mexicana se produce maíz grano (SIAP, 2019).

Los principales Estados productores son Sinaloa (22%), Jalisco (14%), México (8%), Michoacán (7%), Guanajuato (6%), Guerrero (5%), Veracruz (5%), Chiapas (5%), Chihuahua (4%), Puebla (4%) y el resto de los Estados representan el (20%) restante (SIAP, 2019).

## Usos del maíz y subproductos

El maíz es el cultivo más importante de México y la base de la dieta de su población. De acuerdo con la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER, 2019), en 2017 se sembraron 8.027 millones de hectáreas de maíz en el país, de las cuales, 8.1% es dedicado a la producción de forraje; del total de la superficie sembrada, 82.4% se estableció bajo condiciones de secano o temporal. Es ampliamente cultivado por su aportación nutrimental en la dieta de la población, consumiéndose principalmente como grano seco procesado y su consumo en estado fresco o elote, desde el punto de vista alimentario, económico y social, el maíz es el cultivo más importante del país (Di Marco y Aello, 2003).

Su utilidad en la cocina varía desde lo dulce a lo salado, para la gastronomía mexicana, debido a que es un cereal muy versátil. El uso más común es en 10 alimentos en los que destacan aceite de maíz, harina de maíz su uso es para la elaboración de panes y tortillas, palomitas de maíz, snacks salados, cereal, jarabe de maíz, goma de mascar y caramelos, fécula de maíz, gelatina y productos dietéticos (SADER, 2019).

Además, como usos del maíz, se tiene al cuitlacoche o huitlacoche, cuyo uso se ubica no hace más de cien años, se encuentra arraigado en la culinaria nacional y recientemente en la internacional (Valadez *et al.*, 2011). Se conoce como huitlacoche a las agallas jóvenes generadas por el hongo *U. maydis* en mazorcas inmaduras (Juárez *et al.*, 2011). Aunque a nivel mundial es visto como una enfermedad, en México es considerado un valioso alimento con potencial nutracéutico (Beas *et al.*, 2011; Juárez *et al.*, 2011).

## Diversidad del maíz

La diversidad del maíz es un ejemplo excepcional de la interacción de la humanidad con los recursos naturales disponibles. El proceso se ha iniciado hace más de seis mil años, y operado inicialmente sobre sus ancestros silvestres, centralmente el teocintle; de esta forma, el producto es una extraordinaria diversidad de formas, texturas, colores, comportamientos y adaptaciones

geográficas de las variedades de maíz, diversidad con la que muy pocas especies cultivadas se le compara (Kato *et al.*, 2009).

El proceso de diversificación del maíz ocurrió simultáneamente en diversas regiones y se extendió prácticamente a todo el territorio nacional y fuera de él; a lo que se le conoce como la teoría multicéntrica del origen del maíz. Probablemente esta teoría es la única que parece explicar adecuadamente cómo pudo generarse la gran variación racial y su distribución geográfica existente en México, en cinco centros de origen y domesticación diferentes; haciendo que en determinados territorios convergieran más de un germoplasma original promoviendo una mayor diversificación racial (Kato *et al.*, 2009).

Actualmente, se considera que existen en el continente americano entre 220 y 300 razas de maíz (Vigouroux *et al.*, 2008); en México, el número varía con el autor, reportándose 41 (Ortega *et al.*, 1991), 59 (Sánchez *et al.*, 2000) y 65 (LAMP, 1991) razas. Según estimación de Ortega (2003) el número de razas de maíz en México puede ser mayor que lo establecido conforme se vayan haciendo nuevas colecciones de muestras, principalmente en regiones mal comunicadas del país.

El estudio sistemático de la variación racial del maíz existente en México se inició en la primera mitad del siglo XX (Vavilov, 1951; Anderson & Cutler, 1943); en 1951 se publicó un trabajo más exhaustivo sobre la variación racial y su distribución geográfica del maíz en México (Wellhausen *et al.*, 1951) en el que se describen 25 razas; a partir de esa fecha siguieron otros como los de Hernández y Alanís (1970), Ortega (1985), Benz (1986), Sánchez (1989), Ortega *et al.* (1991) sobre diversidad genética y descripción de las razas de maíz; sin embargo, el número de razas descritas y los estudios al respecto se siguen incrementando (Sánchez *et al.*, 2000).

### **Maíz nativo**

Los maíces nativos son producto Comúnmente de poblaciones heterogéneas, homo-heterocigotas, desarrolladas y conservadas por los agricultores a través de múltiples generaciones de selección empírica para caracteres específicos como

textura de grano, color, forma de mazorca, sanidad, ciclo vegetativo, entre otros (Rincón *et al.*, 2010).

Durante el proceso para elegir los caracteres más deseables en los maíces nativos, se han aplicado métodos de selección, en lo que se refiere a tipos de planta y mazorca con mejor habilidad para sobrevivir en el entorno en que se establece el cultivo, con propiedades de mejor calidad en el grano para los diversos usos alimenticios (Ron *et al.*, 2006).

## **Raza**

En maíz se han delineado patrones de variación que responden tanto a condiciones agroecológicas como a la diversidad cultural de los grupos humanos que lo han cultivado; de tal forma que se han determinado poblaciones diferenciadas unas de otras; y cuando esas diferencias son contrastantes, se aplica el concepto de raza para valorar la diversidad genética; una raza se define como *“un grupo de individuos relacionados con suficientes características en común para permitir su reconocimiento como grupo”* y desde una perspectiva genética *“una raza es un grupo de individuos con un número significativo de genes en común”* (Anderson y Cutler, 1943). Así entonces las clasificaciones de maíz han tenido trasfondo, en este concepto que encierra un cierto grado de flexibilidad, debido a que se visualiza a una raza como un fondo genético general aplicado a un grupo completo, aunque éste pudiera presentar variación individual, de manera que se conceptualiza una raza como una fotografía compuesta de un grupo de poblaciones.

Al igual que el número de razas de maíz se ha incrementado con el paso de los años, el concepto de raza también se ha ido enriqueciendo, de esta forma Brieger *et al.* (1958) definieron el término de raza como *“un grupo de poblaciones que tienen suficiente número de características distintivas en común, manteniéndose estas a través de reproducción panmíctica dentro de la población y ocupando áreas definidas”*; sin embargo, este concepto no se contradice en lo fundamental con el concepto vertido por Anderson y Cutler (1943), más bien lo complementa, incorporando la componente geográfica; de esta forma, Ron *et al.* (2006)

concluyen que raza puede definirse como *“una población con un alto número de características y genes en común, que la distinguen como grupo y la diferencian de otras poblaciones; que puede transmitir con fidelidad sus características a las generaciones siguientes y que ocupa un área ecológica específica”*.

## **Híbrido**

Un híbrido de maíz es resultado de la mejora genética de la especie mediante la cruce de dos líneas endogámicas puras con características deseables. Algunas características que se buscan con esta técnica son: mejoras en el rendimiento y en la composición del grano, tolerancias a plagas y enfermedades, adaptación a situaciones de estrés abiótico, resistencia al acame y precocidad, entre otras. (Delgado, 2017).

## **Razas de maíz reportadas en Michoacán**

En el estado de Michoacán de Ocampo, Beaumont (1873) encontró que existían maíces de color blanco, colorados, negros, azules, muy rojos y amarillos, de los cuales Wellhausen *et al.* (1951) describieron las razas Zamorano Amarillo, Celaya-Argentino, Tabloncillo, Elotes Occidentales, Vandeño, Elotes Cónicos, Chalqueño, Dulce, Cónico Occidental, Mushito de Michoacán, Semi-Pepitillas e intervención de Olotillo y Conejo. Además, existen otros maíces como son: Maíz de Ecuaro (Hernández, 1973), Palomero Toluqueño, Cacahuacintle y Chalqueño (Mapes, 1987), Tamaulipas, Prieto de Tierra Caliente y Sapo (tipo Vandeño) (Romero y Ortega, 1996), Tsiri Charhápiti y Ancho (Ramírez, 1998; Molina, 1998) y Rosita (Muñoz, 2003). Recientemente, del 2005 al 2010 el Programa de Maíz del CRUCO de la UACH ha encontrado los siguientes maíces: Amarillo de Tierra Caliente, Prieto de Tierra Caliente, Maizón, Olotón, Elotero de Sinaloa, Onaveño, Tabloncillo Perla, Reventador, Ancho Híbrido (Vandeño), Chalqueño Colorado, Amarillo de Montaña, Marceño (Mushito de Michoacán), Arrocillo Amarillo, P'urhépecha, Rosita, Tsiri Charhápiti y Tuxpeño, de los cuales varios no habían sido reportados en Michoacán de Ocampo.

## **Características de maíces nativos en estudio**

### **Pepitilla**

La raza presenta una altura de planta y mazorca de 2.67 y 1.43 m; respectivamente, tiene 12.64 hojas y una floración masculina de 82 días. La mazorca presenta una longitud de 17.71 cm, 5.15 cm de diámetro, 12.42 hileras y cada hilera tiene 38.17 granos. El grano mide 1.37 cm de longitud, 1.01 cm de ancho y 0.41 cm de grosor. El grano se caracteriza por ser muy “puntiagudo”. Esta raza de maíz se distribuye principalmente en alturas medias en los estados de Morelos, Estado de México y Guerrero. En Michoacán de Ocampo no tiene una distribución definida, se le encuentra en el Oriente (Jungapeo), Tierra Caliente. Esta raza de maíz fue reportada por Chávez (1913) citado por Ortega *et al.* (1991) en Jungapeo, Michoacán de Ocampo en la región Oriente y descrita y clasificada por Wellhausen *et al.* (1951).

### **Maíz prieto**

La raza presenta una altura de planta de 3.05 m, su mazorca se ubica a los 2.0 m y a los 96 días se presenta la floración masculina. La mazorca tiene una forma cónica con longitud de 16.92 cm, diámetro de 4.94 cm. Los granos en la base se distribuyen de manera irregular. El grano tiene 1.36 cm de longitud, 0.92 cm de ancho y 0.50 cm de grosor. El grano tiene una forma redonda y cristalina. De manera natural se distribuye en las partes altas de Chiapas y Oaxaca, México y en Guatemala. En el Occidente de México en la cordillera al sur de Jalisco, desde el Nevado de Colima hacia el norte de Juanacatlán. En Michoacán de Ocampo se le recolectó principalmente en Dos Aguas, municipio de Aguililla (Wellhausen *et al.*, 1951).

### **Maíz ancho**

Es un maíz que tiene una altura de planta y de mazorca con valores respectivos de 2.46 y 1.22 m, una precocidad de 86 días a floración masculina. La mazorca

tiene una longitud y diámetro de 16.44 y 4.71 cm, respectivamente. El grano es semi-harinoso con una longitud de 14.85 mm, 13.71 mm de ancho y 4.06 mm de espesor o grosor. Se encuentra distribuida en los estados de Morelos, Estado de México y Guerrero. En Michoacán de Ocampo se localiza de manera irregular en las regiones Tierra Caliente (Carácuaro, Tacámbaro y Ario de Rosales), Apatzingán (Nuevo Urecho) Centro (Tarímbaro y Morelia), Ciénega de Chapala (Chilchota y Zamora) y Oriente (Jungapeo) (Ortega, 1979).

### **Maíz balsas**

Presenta una planta con altura promedio de 2.09 m, su mazorca se ubica a 1.10 m, tiene 11.99 hojas y una precocidad de 85 días a floración masculina. La distancia entre los nudos de la espiguilla es de 2.26 cm y la longitud de sus glumas es de 1.07 cm. Las mazorcas son cortas, anchas y cónicas, con ligero adelgazamiento en los extremos, tienen en promedio 14.69 cm de longitud, 4.39 cm de diámetro, 11.60 hileras y cada hilera con 44.19 granos. Los granos son “arrugados” con endospermo azucarado, blanco, guinda o amarillo, pericarpio sin color o rojo, tienen 1.15 cm de longitud, 0.92 cm de ancho y 0.38 cm de grosor. Se le encuentra distribuida en los estados de Jalisco, Michoacán de Ocampo, Zacatecas y Guanajuato a altitudes intermedias de 1,000 a 1,500 msnm (Kelly & Anderson, 1943).

### **Hibrido H-7573**

Es un híbrido de Monsanto (Asgrow) de ciclo intermedio, la planta alcanza una altura de 2.10 a 2.30 m, el color de grano es blanco. Altura de inserción de mazorca 1.20 a 1.40 m, días a floración 75 a 85 (Monsanto Company©, 2017).

## **Generalidades del Huitlacoche**

### **Importancia histórico-social del consumo de huitlacoche en México**

México se ha caracterizado por su tan extensa diversidad de culturas indígenas, las cuales tienen una antigüedad que data de varios siglos y hasta milenios. Se

sabe que antes de la conquista de la Gran Tenochtitlán había más de cien grupos étnicos diferentes. Si se considera que una de las manifestaciones más importantes de la cultura es la cocina, la cual es propia de cada región o cultura, no es de sorprender que cada uno de estos grupos tuviera sus propias costumbres gastronómicas, las que tenían en común el chile, el frijol y el maíz (Iturriaga, 1998).

Bernardino de Sahagún, narra las costumbres culinarias del México prehispánico, en su obra *“Historia general de las cosas de la Nueva España”*. El dominico Diego Durán, también realizó una importante aportación de los alimentos que los aztecas recibían de otros pueblos, como impuesto o tributo, en la Historia de las Indias de Nueva España. El franciscano Diego de Landa, de igual forma escribió sobre las costumbres de la cultura maya en sus *“Relaciones de las cosas de Yucatán”*, donde destaca que la cocina prehispánica incluía varios guisos cotidianos y de temporada que estaban relacionados con las principales fiestas para honrar a los dioses del panteón indígena, con los cultivos agrícolas y con la climatología de las estaciones del año (Iturriaga, 1998; Salazar-Torres *et al.*, 2021).

Los hongos fueron utilizados por las culturas mesoamericanas en su alimentación, en la medicina, en festividades y en ceremonias religiosas. Además, se utilizaban las levaduras y mohos para la elaboración de bebidas populares, como el pozol, el colonche, la tuba y el tejuino, que se obtenían de la fermentación de algunos productos como el maíz (Guzmán, 1994).

### **Importancia económica del huitlacoche**

Actualmente el huitlacoche se conoce en todo el mundo como uno de los platillos exóticos de la cocina mexicana; y su demanda esta insatisfecha en E.U.A., Europa y Japón. En Pensilvania. E.U.A., el huitlacoche espontáneo se recolecta en campos de maíz sembrados con la variedad susceptible de polinización abierta “Silver Queen”, y se comercializa en fresco o congelado a precios de hasta US \$20.<sup>00</sup> Kg. En México, el precio promedio del huitlacoche en la época de producción natural (julio y agosto) se encuentra a MX \$15.<sup>00</sup> Kg y entre \$60.<sup>00</sup> y

\$120.<sup>00</sup> Kg fuera de dichos meses de recolección natural; aunque de manera extraordinaria llega a comercializarse hasta \$380.<sup>00</sup> Kg, precio al consumidor, en el mes de abril. Por ello, la producción controlada y fuera de época de recolección de huitlacoche, significa una alternativa rentable respecto a la producción de maíz para grano (Villanueva *et al.*, 2007).

### **Valor nutrimental**

El contenido nutrimental del huitlacoche está basado en hidratos de carbono y fibra de 53 a 66.5% y 7.5 a 26.6%, respectivamente; grasas de 1.0 a 6.5%; y con un balance adecuado de aminoácidos esenciales como la lisina, glicina, valina, leucina y ácido glutámico, así como otros catorce aminoácidos comunes, y otros no comunes como el ácido  $\gamma$ -aminobutírico, ornitina y el ácido tricotómico. Su contenido de ácidos grasos es elevado, siendo los predominantes el palmítico, el oleico y linoleico (García, 2016).

El huitlacoche contiene carbohidratos, proteínas, grasas, minerales y vitaminas que contribuyen a su valor nutricional. Al examinar la composición proximal del huitlacoche colectado en diferentes regiones de México se ha reportaron que el contenido de proteínas varía entre 11.5 y 16.4 g·100 g<sup>-1</sup> de material seco analizado (Valverde y Paredes, 1993). Las proteínas del huitlacoche contienen aminoácidos en cantidades apropiadas para la dieta de un adulto; como el alto contenido de lisina (6.6 g·100<sup>-1</sup> g de proteína); el cual es muy elevado en relación con lo que se ha reportado para el maíz y otros vegetales (Paredes *et al.*, 2006).

### **Origen y distribución**

En México se le conoce desde la época prehispánica; los aztecas conocieron esta enfermedad y fueron quienes le dieron el nombre de "cuitlacohtli mismo que fue modificado a "huitlacoche" a la llegada de los españoles (Valverde y Paredes, 1993).

La especie *U. maydis* es un hongo comestible que afecta exclusivamente al maíz y teocintle. La enfermedad que causa es conocida como el carbón común del

maíz y se caracteriza por producir agallas o tumores característicos en todas las partes verdes de la planta (Agrios, 2006). Como alimento se le conoce con el nombre de huitlacoche, su origen no está documentado; sin embargo, es un hongo patógeno que sólo parasita al maíz, como resultado de una estrecha coevolución maíz-huitlacoche; puede considerarse que es originario del lugar donde se domesticó el maíz, es decir, México (Villanueva *et al.*, 2007).

Los españoles llevaron a Europa muestras de huitlacoche, y quizás los primeros reportes datan del siglo XVI, en las ilustraciones del Códice Florentino por Fray Bernardino de Sahagún; en 1760-61 se iniciaron los estudios sobre esta enfermedad en Francia; el termino de hongo se le dio hasta el año 1836 llamándosele *Ustilago*, y fue nombrado en 1944 como *U. maydis* (D.C.) Corda por Stevenson y Johnson (Christensen, 1963; Leal, 1996).

### **Clasificación taxonómica de *Ustilago maydis***

Whittaker en 1969 citado por Ulloa (2002) menciona que la posición taxonómica del hongo *Ustilago maydis* pertenece a la división *Amastigomycota*, que es la correspondiente a los hongos verdaderos y a la subdivisión *Basidiomycotina* caracterizada por producir esporas en estructuras especializadas llamadas basidios. Corresponden a los Basidiomycetes, en donde las esporas sexuales, al germinar, se forman externamente sobre una estructura denominada basidio constituido por una o cuatro células de tipo levaduriformes, capaces de desarrollarse en medios de cultivo; por lo que presumiblemente estos hongos son capaces de vivir como saprófitos en la naturaleza.

De acuerdo con Herrera y Ulloa (1998) la clasificación taxonómica de *Ustilago maydis* es la siguiente:

Reino: Fungi

División: Amastigomycota

Subdivisión: Basidiomycotina

Clase: Heterobasidiomycetes

Orden: Ustilaginales

Familia: Ustilaginaceae

Género: *Ustilago*

Especie: *Ustilago maydis* (D.C.) Corda

Los Ustilaginales constituyen un grupo de patógenos importantes para las plantas, ya que producen una gran variedad de enfermedades en monocotiledóneas alrededor del mundo. Estos patógenos tienen el potencial de causar daños severos a la semilla y la planta a pesar del tratamiento químico, de la existencia de cultivares altamente resistentes y de los diversos métodos de arado empleados. De todos los Ustilaginales, *U. maydis* es el miembro mejor conocido del grupo. Es un patógeno específico para el maíz (*Zea mays*) y teosinte (*Zea mexicana*), este último es considerado el ancestro del maíz que se cultiva en la actualidad (Salazar-Torres *et al.*, 2021).

### **Morfología de la infección por *Ustilago maydis***

El micelio haploide está formado, básicamente, por hifas haploides provenientes de la gemación de las esporidias; puede penetrar la epidermis de la planta, causando infecciones locales; sin embargo, poseen un crecimiento limitado y puede morir a no ser que se fusionen con otras hifas haploides compatibles de tipo de acoplamiento opuesto por un proceso conocido como anastomosis. La hifa dicariótica resultante puede crecer a través de la planta de maíz, formando una infección sistémica (Villanueva *et al.*, 2007).

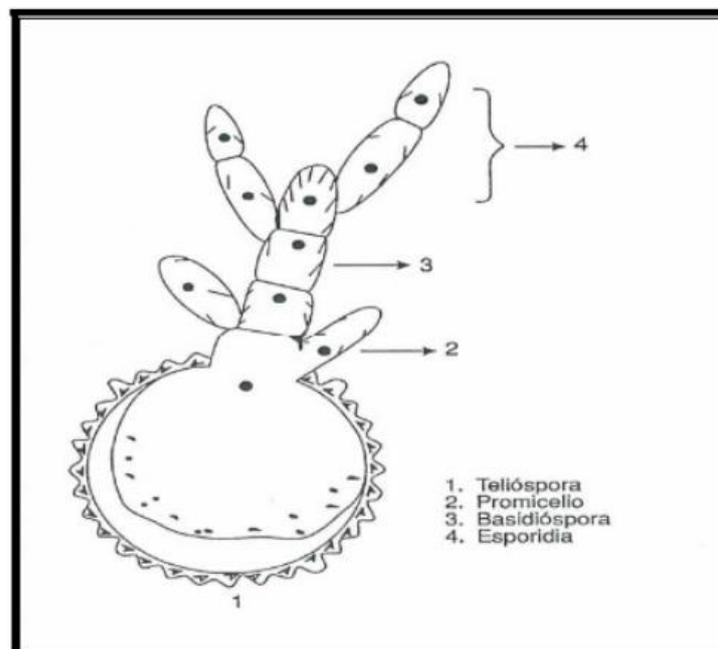
La infección por *U. maydis* produce cambios morfológicos en la planta de maíz y todas las partes aéreas, particularmente los tejidos en crecimiento activo o meristemáticos son susceptibles a la infección. La infección desarrollada no es sistemática sino localizada, aunque se enfoca en centros de actividad meristemática, también se desarrolla clorosis en zonas de la planta donde hay micelio, atribuyéndose esto, a la producción de algún tipo de toxina por parte del hongo que puede ser distribuida por el sistema vascular de la planta (Ruiz y Castro, 2002).

Una planta de maíz puede ser infectada por el hongo en cualquier época o etapa de crecimiento, desde los niveles tempranos de desarrollo de la planta, hasta

estado de madurez, en temporadas calientes o secas y con una lluvia ocasional favorece el crecimiento de este patógeno, cuando el maíz se encuentra en floración femenina, sin antes de la flor masculina y sin polinización, es cuando se ve mayormente afectado el cultivo, se forman agallas en las mazorcas, las cuales incluso, se pueden desarrollar en cualquier parte aérea de la planta, donde el patógeno encuentre tejido meristemático (Kealey y Kosikowski, 1981).

### Ciclo biológico de *Ustilago maydis*

El hongo produce un micelio dicariótico, cuyas células se transforman en teliosporas, negras, esféricas o elipsoidales que presentan protuberancias prominentes y en forma de espina. Estas teliosporas germinan produciendo un basidio de cuatro células (el promicelio), cada una de las cuales se transforman en una basidiospora halina, ovalada y nucleada (Ruiz, 1999; Fig. 1).

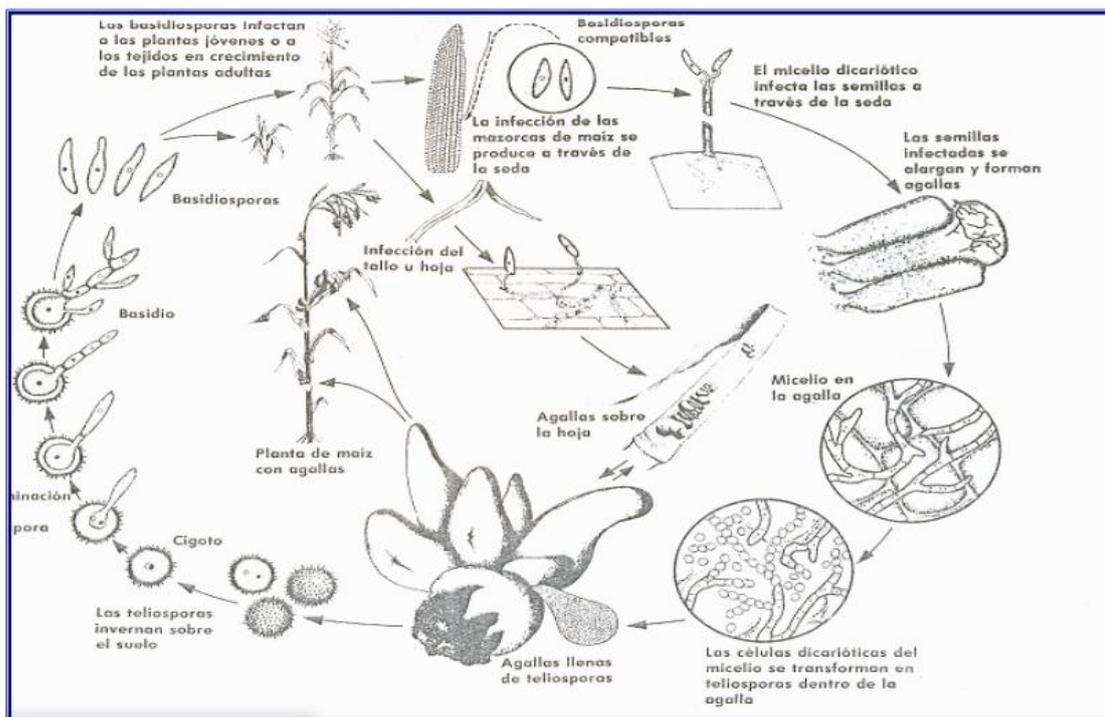


**Figura 1.** Teliospora en germinación. Álvarez, 1999.

Este hongo muestra un ciclo de vida complejo, requiriendo de la planta para poder completarlo. En su estado saprofito el hongo crece en forma de levaduras haploides (esporidias). Las esporidias de tipos de apareamiento diferente (también denominados como sexo) se fusionan, dando origen a la fase dicariótica la cual es la forma infectiva. *U. maydis* crece como micelio en los tejidos del

hospedante; éste eventualmente se septa y forma las teliosporas. La cariogamia ocurre en este punto. Millones de teliosporas llenan las agallas características de la enfermedad, las cuales son depositadas en el suelo. Después de la germinación que da lugar a una estructura denominada promicelio, ocurren la meiosis y la mitosis, dando origen a la basidiosporas. Las basidiosporas o esporidias se reproducen por gemación, reiniciándose nuevamente el ciclo de vida (Martínez y Ruiz, 1998).

El ciclo de vida de *U. maydis* es corto y se pueden producir teliosporas en plantas que no han alcanzado la madurez sexual (Fig. 2). El tiempo requerido para inocular plantas y obtener progenie haploide es aproximadamente de tres semanas (Banuett y Herkowitz, 1994).



**Figura 2.** Ciclo biológico del carbón del maíz producido por *Ustilago maydis*.  
Fuente: Agrios (2006).

### Requerimientos climáticos para el desarrollo del huitlacoche

La producción artificial de huitlacoche requiere que la variedad de maíz (hospedero) sea susceptible al hongo, que la cepa del patógeno sea virulenta y

que el ambiente sea favorable, con un 80–85 % de humedad relativa y una temperatura de 16–32 °C (Villanueva *et al.*, 1999; Martínez *et al.*, 2000).

La evaluación de genotipos de maíz para fines de producción de huitlacoche permite conocer su nivel de susceptibilidad genética (Pan *et al.*, 2008). En condiciones ambientales que favorecen el desarrollo del hongo es posible incrementar el rendimiento y la calidad del huitlacoche (Vargas, 2022).

Así mismo para que se presente la infección ideal, debe inocularse en etapa de jilote en donde la producción de grano de maíz es el sustrato alimenticio para el desarrollo del hongo y así producir agallas de mejor tamaño por disponer de una alta concentración de carbohidratos (Pataky y Chandler, 2003).

En el desarrollo del huitlacoche en maíz cultivado a cielo abierto durante el temporal de lluvias, la distribución de la precipitación difiere de un año a otro. En algunos años se obtienen precipitaciones espaciadas, las cuales pueden coincidir con el periodo de infección y desarrollo del hongo, lo que afecta negativamente la producción del hongo (Villanueva *et al.*, 2007).

## **Técnicas de Inoculación**

### **Producción tradicional**

Se han utilizado muchas estrategias aplicadas por los agricultores en forma empírica por medio de la mezcla de semillas de maíz con agallas (teliosporas); sin embargo, este procedimiento no dio ningún resultado. Otro método tradicional consiste en dejar esporas del hongo en el suelo antes de sembrar el campo con maíz; del cual tampoco es posible obtener resultados satisfactorios. También se ha tratado de reproducir esparciendo las esporas en las plantas de maíz cuando los jilotes están pequeños; con este procedimiento sí se ha obtenido infección; pero a muy bajo porcentaje como para ser utilizada a gran escala (Valdez *et al.*, 2008).

### **Inoculación artificial del huitlacoche**

La inoculación de esporas en las plantas es una técnica que en un inicio fue utilizada para buscar variedades de maíz resistentes a este patógeno; sin embargo y debido al aumento en la demanda de huitlacoche como alimento en México y en otros países, se empezó a utilizar para inducir los síntomas de la enfermedad y producir huitlacoche a gran escala. La inyección de esporidias en la planta de maíz produce un alto índice de infección; por lo que esta estrategia se ha utilizado para obtener huitlacoche con buenos resultados (Villanueva *et al.*, 2007; Valdez *et al.*, 2008; Salazar-Torres *et al.*, 2021).

La inoculación por inyección puede ser muy útil para la producción comercial de huitlacoche, pero es necesario evaluar el estado de desarrollo, localización y genotipo de la planta de maíz, así como la agresividad de las cepas del hongo que se utilicen en la inoculación, para poder obtener óptima producción y calidad. Se ha reportado hasta un 96% de infección cuando las plantas se inoculan con una jeringa hipodérmica en los jilotes (Villanueva *et al.*, 2007).

El tiempo óptimo para cosechar el huitlacoche depende del genotipo del maíz y del estado de desarrollo de la planta que se inocule, además de las condiciones ambientales que se presentan después de la inoculación (Valdez *et al.*, 2008; Vargas, 2022).

Diversas investigaciones han permitido la producción exitosa del huitlacoche, y se ha encontrado que la técnica de inoculación por inyección produce excelentes rendimientos y buena calidad del hongo (Valdez *et al.*, 2009), el inoculo debe obtenerse en un proceso controlado. La inoculación por el canal de los estilos cuando tienen una longitud entre 5 y 10 cm y cuando no han sido polinizados los granos de maíz es la mejor manera de obtener huitlacoche de buena calidad y es el mejor método para obtener huitlacoche a gran escala (Tracy *et al.*, 2007).

### **Estudios de producción de huitlacoche en genotipos nativos**

La disponibilidad del hongo conocido como huitlacoche para consumo humano, en variedades criollas no está asegurada a lo largo del año, fundamentalmente

porque la producción ocurre mediante fenómenos naturales que tienen lugar al azar; lo que se asocia a una calidad variable y fuera de control por la alta variabilidad genética que tienen estos maíces, mientras que en la técnica de inoculación artificial hay reportes por Vanegas *et al.* (1995). Diferentes estudios han permitido la producción exitosa del huitlacoche, y se ha encontrado que la técnica de inoculación por inyección produce excelentes rendimientos y buena calidad del hongo (Valdez *et al.*, 2009). Estos mismos autores probaron producir huitlacoche utilizando maíces nativos y obtuvieron rendimientos de hasta 15 t·ha<sup>-1</sup> con esta técnica de inoculación.

### **Características de Saltillo, Coahuila, México.**

Saltillo cuenta con una extensión territorial de 6,837 km<sup>2</sup>, se encuentra a 1,560 msnm y sus coordenadas son: 25° 26' 00" de latitud y 101° 00' 00" de longitud. La zona metropolitana de Saltillo, integrada por los municipios de Ramos Arizpe y Arteaga, se encuentra muy cerca de alcanzar el millón de habitantes, con un ritmo de crecimiento de aproximadamente 20 mil habitantes por año (INEGI, 2019).

El Municipio de Saltillo mantiene un clima seco y semiseco, en su mayoría, con algunas áreas templadas, manteniendo anualmente un promedio de 19.23 °C en el 2017. Las temporadas de lluvia son durante la primavera y verano con una precipitación promedio anual de 47.41 mm de precipitación durante ese mismo año (CONAGUA, 2019).

## **MATERIALES Y METODOS**

### **Localización del Experimento**

La presente investigación se desarrolló dentro de las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN) con sede en Saltillo, Coahuila, México. El establecimiento del cultivo de maíz se realizó a campo abierto en los terrenos experimentales conocidos como “El bajío”, los cuales se encuentran dentro de las coordenadas geográficas 23° 37" latitud norte y 100° 38" longitud oeste, con una altitud de 1,581 msnm.

La reproducción de hongo *U. maydis* se llevó a cabo en el Departamento de Parasitología, específicamente en el laboratorio de Fitopatología Agrícola, con la multiplicación e incremento de la cepa y la producción del inoculo.

### **Material Vegetal**

Los maíces nativos que se establecieron en el experimento fueron colectados del municipio de Benito Juárez, en Michoacán de Ocampo, México, obtenidos de productores cooperantes, los cuales donaron un kilogramo de semilla. Estos maíces, de acuerdo con los productores de dicha región, podrían ser susceptibles a la inoculación artificial de huitlacoche, ya que de manera natural se tiene evidencia que se llegan a infectar. Durante la recolecta de la semilla se pidió el nombre por el que conocen al maíz donado, para poder identificar al material, durante la fase experimental (Cuadro 1).

**Cuadro 1.** Características del germoplasma de maíz utilizado para probar la susceptibilidad a *Ustilago maydis*, originario de Benito Juárez, Michoacán de Ocampo, México, 2018.

Nombre del maíz	Nombre del productor donante	Fecha de colecta	Cantidad de semilla colectada	Ciclo productivo
<b>Prieto</b>	Manuel Valle	21/12/2017	1.0 Kg	Ciclo intermedio
<b>Pepitilla</b>	Manuel Valle	21/12/2017	1.0 Kg	Ciclo intermedio
<b>Balsas</b>	Manuel Valle	21/12/2017	1.0 Kg	Tardío intermedio
<b>Ancho</b>	José Reséndiz	22/12/2017	1.0 Kg	Ciclo intermedio
<b>H-7573</b>	Semilla comprada	15/05/2018	500 g	Ciclo precoz-intermedio

### Obtención de la Cepa Patogénica

La cepa de *U. maydis* fue colectada en una parcela de maíz establecida en los campos de la UAAAN, de una mazorca completamente invadida por el hongo de huitlacoche infectado naturalmente, el material fue trasladado al laboratorio para su aislamiento.

### Aislamiento y purificación de la cepa

En laboratorio, se separaron las agallas de la mazorca con huitlacoche y se desecharon aquellas que se encontraban con alguna herida, maltratadas o con el peridio muy oscuro, por lo que las agallas en buenas condiciones fueron utilizadas para el aislamiento del hongo.

Se aisló el hongo bajo la técnica de siembra estéril en cajas de Petri con medio de cultivo PDA (Papa-Dextrosa-Agar), al medio de cultivo se le agregó bactericida (Gentamicina de uso veterinario  $1.0 \text{ mL}\cdot\text{L}^{-1}$ ); la cámara de flujo laminar se esterilizó con alcohol al 70% sobre la superficie, posteriormente se desinfectaron las manos con alcohol, después se encendieron dos mecheros para colocarlos a una distancia de 15.0 cm entre sí, se sumergieron las agallas en hipoclorito al 6.0% durante tres minutos, después se enjuagaron las agallas con agua destilada estéril y se dejaron secar. Una vez secas, se cortaron para extraer las teliosporas. La siembra se realizó con un asa bacteriológica, en forma de barrido sobre la superficie del medio de cultivo sólido y se incubaron a una temperatura de 26 a 28°C durante cinco días.

La purificación de la cepa se realizó cuando el hongo se desarrolló en las cajas de Petri, posteriormente se extrajo únicamente el hongo de *U. maydis* dejando impurezas como levaduras, u otros microorganismos; se resembró en cajas Petri con el mismo medio de cultivo empleado en el aislamiento y se incubaron bajo las mismas condiciones anteriormente citadas.

### **Incremento de inóculo**

Una vez purificadas las cepas estas se resembraron en cajas de Petri con PDA + bactericida, para incrementar el inóculo, se procuró no realizar muchos reaislamientos, para evitar que el hongo perdiera patogenicidad.

### **Establecimiento del Experimento y Diseño Experimental**

Se estableció un experimento con base en un diseño de bloques completamente al azar con cuatro repeticiones y cinco tratamientos; éstos últimos fueron representados por el germoplasma de maíz (cuatro nativos y un híbrido que fungió como testigo), se sembraron a una densidad de 44,400 plantas·ha<sup>-1</sup>. La siembra se realizó el 17 de mayo del 2018. La unidad experimental consistió en dos surcos de 3.0 m de longitud separados a 0.90 m con una distancia entre planta y planta de 0.25 m, se consideró que las plantas del experimento se encontraran en competencia completa por lo que se requirió sembrar bordos y cabecera con maíz. Con calles entre bloque y bloque de 1.0 m de distancia.

### **Manejo del Cultivo**

Se manejó el cultivo mediante labranza convencional, el terreno se surco con tractor y arado de discos. Antes de la siembra se definieron las parcelas y se distribuyeron los tratamientos en forma aleatoria, posteriormente se procedió a realizar la siembra de manera manual colocando dos semillas por golpe, para

asegurar la emergencia. El control de malezas se hizo de forma manual y con azadón cada vez que era necesario según la presencia de maleza.

Se ralearon las plantas para dejar una por mata cuando estas tenían una altura de 0.15 m a los 10 días después de la siembra y se aporcaron las plantas para evitar que se acamaran, posterior al raleo.

El experimento se fertilizó con OrganoDell® a razón de 2.0 t·ha<sup>-1</sup>, este producto tiene una fórmula distribuida en 39-37-29 (N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O), además de contener azufre (S) 18.4, magnesio (Mg) 13.6, calcio (Ca) 74, y micronutrientes; es un fertilizante orgánico natural que se aplicó a los 30 días después de la siembra al pie de cada planta.

El riego se realizó por goteo con cintilla, cada dos o tres días dependiendo de la disponibilidad del agua, las temperaturas y la humedad monitoreada en forma visual al suelo.

El control de plagas como el gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda* J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae), que se presentó, entre la cuarta y sexta hoja verdadera (V4-V6), se realizó con aplicaciones de difluzenzuron + lambda cihalotrina a una dosis de 1.0 mL·L<sup>-1</sup> de agua y se agregó 0.5 mL·L<sup>-1</sup> de surfactante (Twin Plus®), la aplicación se realizó con una mochila aspersora manual de 20 L de capacidad.

### **Preparación del Inoculo**

Una vez que las plantas de maíz en campo se encontraban en la edad óptima para hacer la inoculación, se preparó el inoculo, donde se seleccionaron dos cajas de Petri con hongo que tuviera la mejores característica morfológicas y homogéneas del crecimiento micelial, se vertió en una licuadora y se mezclaron con un litro de agua destilada más 1.0 mL de antibiótico, esta solución se filtró y después se procedió a realizar el conteo de las estructuras infectivas (basidiosporas) con la ayuda de una cámara de Neubauer o hematocítometro. Finalmente se ajustó la dilución 1·10<sup>-6</sup> basidiosporas·1.0 mL<sup>-1</sup> de agua.

## **Inoculación**

Se monitorearon los híbridos de maíz, para evitar que se pasara la floración femenina; cuando se apreció que en las parcelas, los maíces presentaron aproximadamente un 1% de estigmas expuestos, se realizó la inoculación; para ello, se seleccionaron 2 jilotes por planta de maíz con una longitud aproximadamente de 10 cm y con los estigmas expuestos de 1.0 a 3.0 cm, antes de que fueran polinizados, y se inocularon con 3.0 mL de inóculo, repartido en dos inyecciones de 1.5 mL cada una, esto se hizo con apoyo de una jeringa semiautomática (Henke Sass Wolf®).

Una vez inoculados los jilotes se eliminó la hoja basal, para que quedaran marcados y fácilmente se pudieran identificar, en el monitoreo del crecimiento de la mazorca inoculada y a la hora de la cosecha. Esta actividad se hizo cada tercer día durante dos semanas.

## **Cosecha**

La cosecha se realizó a los 18 días después de la primera inoculación. El indicador fue el abultamiento de las mazorcas (elotes), brácteas de las hojas (totomoxtle) de coloración amarillenta y en caso de que estuviera visibles, la agallas que estas presentaran una coloración blanca-grisácea. Una vez realizada la primera cosecha, se procedió a hacer los cortes cada tres días conforme iban madurando las mazorcas inoculadas y la expresión de los síntomas.

Las mazorcas se coloraron en cajas de plástico, y se manipularon con mucha precaución para no afectar las agallas, se trasladaron al laboratorio de Fisiología Vegetal del Departamento de Botánica, ahí se eliminaron las hojas de la mazorca con mucho cuidado y se tomaron los datos correspondientes a cada variable evaluada, en forma independiente por mazorca cosechada.

## **Variables Evaluadas**

**Mazorcas cosechadas (MZC, Número).** Se contabilizó el número de mazorcas cosechadas infectadas con el hongo, esto con respecto al número de mazorcas inoculadas, en cada parcela experimental.

**Incidencia (INC; %).** Esta variable se registró con base en los valores de 1 cuando había presencia del hongo y 2 no hubo presencia del hongo, es decir, sin ninguna expresión morfológica; se obtuvo el porcentaje según el número de mazorcas con incidencia con respecto al total de las mazorcas evaluadas.

**Severidad (SEV; %).** Esta variable se tomó con base en el porcentaje de cubrimiento de la mazorca por el hongo o por la presencia de agallas en una escala de 0, 25, 50, 75 y 100%.

**Longitud de mazorca (Long; cm).** Se obtuvo a partir de la medición del largo de la mazorca desde la base hasta la punta con ayuda de una regla milimétrica.

**Grosor de mazorca (Gros; mm).** Se midió el ancho o diámetro de la mazorca a la parte media con ayuda de un vernier digital.

**Peso de mazorca (PMZ; g).** Cada mazorca recién cosechada se colocó en una báscula analítica, se pesó y se registró el dato.

**Peso de agallas de huitlacoche (PAG; g).** Se desgranaron las agallas de las mazorcas en forma independiente y se pesaron. Se eliminó el resto del material que no presentó agallas.

### **Análisis Estadístico**

Los datos se analizaron mediante una prueba no paramétrica con el método de Kruskal-Wallis con una confiabilidad del 99 y 95% ( $\alpha \leq 0.01$  y  $\alpha \leq 0.05$ ; respectivamente), esta prueba se aplicó, debido a que el diseño experimental empleado no cumple los supuestos básicos, ya que no se tienen escalas nominales y ordinales en el registro de los datos que se tomaron para las variables, incluyendo el número de muestras en cada repetición (Castillo, 2007) ya que se

tomó el total de las mazorcas cosechadas por unidad experimental y esto vario considerablemente en cada repetición, además de que hubo datos de presencia y ausencia y porcentajes que son datos no continuos y que no fueron transformados. Por tanto, se realizó un análisis de varianza donde se tomaron como fuentes de variación los maíces nativos y el híbrido testigo (tratamientos), los bloques y la cosecha (número de corte), también se realizó una comparación múltiple de medias entre los rangos obtenidos para los tratamientos.

Los análisis se realizaron con el apoyo del paquete estadístico computacional de SAS (SAS Institute, 2002) y se llevaron a cabo con la finalidad de identificar el material de maíz con mayor susceptibilidad a una cepa patogénica de *U. maydis* y mayor adaptación a las condiciones y manejo para el establecimiento de una producción comercial de huitlacoche.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Análisis de Varianza

Los resultados obtenidos en el análisis de varianza, bajo un supuesto de datos no paramétricos, expresó diferencias en el modelo aplicado, con una confiabilidad del 99% ( $\alpha \leq 0.01$ ), por lo que se acepta la hipótesis nula en la que al menos un material es diferente en cuanto a las variables evaluadas; en este sentido, el análisis arrojó que estas diferencias están dadas entre tratamientos y el número de cortes o cosechas realizados en las plantas inoculadas (Cuadro 2). Además, el análisis indicó que existen diferencias altamente significativas ( $\alpha \leq 0.01$ ) para la variable Mazorca cosechada (MZC), entre los nativos y el testigo evaluados. Por lo que para las variables Longitud de mazorca (Long), Peso de la mazorca (PMZ) y Peso de agallas de huitlacoche (PAG) las diferencias solo fueron significativas ( $\alpha \leq 0.05$ ), el resto de las variables no presentaron diferencias (Cuadro 2).

**Cuadro 2.** Cuadrados medios de los rangos en el análisis de varianza dentro de cada variable, considerados en un análisis no paramétrico de Kruskal-Wallis, para la producción de huitlacoche en maíces nativos, originarios de Benito Juárez, Michoacán.

FV	gl	MZC	Long	Gros	PMZ	PAG	INC	SEV
<b>Maíces</b>	4	38283**	17065*	3238	14674*	13210*	6293	6992
<b>Bloques</b>	3	24779	29112	22278	26047	20337	13454	9357
<b>Corte</b>	6	26138**	6575	33347**	10485	63849**	28289**	20966**
<b>Error</b>	286	5672	7279	6516	6967	5922	36950	5086
<b>Total</b>	299							
<b>R<sup>2</sup></b>		0.26	0.06	0.17	0.11	0.23	0.18	0.11
<b>C.V. (%)</b>		50.04	56.69	53.63	55.46	51.13	40.38	47.38
<b>Media</b>		15	16.78	51.01	157.62	38.60	1.18	24.00

MZC: Numero de mazorcas cosechadas, Long: Longitud de mazorca (cm), Gros: Grosor de mazorca (mm), PMZ: peso de mazorca (g), PAG: peso de agallas (g), INC: incidencia (%), SEV: severidad (%), \*\*altamente significativo con  $\alpha \leq 0.01$ , \*Significativo con  $\alpha \leq 0.05$ , R<sup>2</sup>: coeficiente de determinación, CV (%): porcentaje del coeficiente de variación, gl: grados de libertad del error.

La fuente de variación relacionada al número de cortes de huitlacoche o cosechas realizadas manifestó solo diferencias altamente significativas ( $\alpha \leq 0.01$ ), para las variables MZC, Gros (Grosor de mazorca), PAG, INC (Incidencia) y SEV (Severidad) (Cuadro 2). Esta fuente de variación fue utilizada en el modelo estadístico con el fin de identificar su influencia en cada uno de los maíces nativos evaluados, con respecto a la inoculación y madurez de la planta, ya que nos indica el punto óptimo para realizar la inoculación y en cuanto tiempo se obtiene la máxima cosecha.

Existen diversos factores que favorecen el desarrollo del hongo *U. maydis*, como la temperatura, la humedad relativa y el material genético. La gran mayoría de las variedades de maíz presentan algún grado de resistencia al ataque del hongo, siendo las variedades de maíz dulce las más susceptibles a esta enfermedad, según Pataky *et al.* (1995). Lo que se reflejó en la variabilidad de los pesos de mazorca y agalla, así como en incidencia y severidad del hongo, obtenidos en esta investigación, son variables que determinan el rendimiento para huitlacoche; Jiménez (2010) y Calderón (2010) han reportado que los rendimientos por hectárea de huitlacoche se deben a causa de las condiciones ambientales, tipo de semilla y manejo del cultivo, es decir, las prácticas agronómicas, así como también los tipos de patogenicidad del hongo prevalentes en las regiones donde se presenta, lo que puede afectar significativamente los componentes del rendimiento, pues existe una amplia diversidad genética en *U. maydis*.

Algunos autores como Valdez *et al.* (2009) y Salazar *et al.* (2013) mencionan que con el método de inoculación artificial y bajo condiciones controladas en la producción de huitlacoche, se pueden llegar a obtener rendimientos de hasta 15.0 t·ha<sup>-1</sup> con maíces nativos, como lo obtuvieron ellos; mientras que, de forma natural sin inoculación para materiales nativos en temporal, el mejor rendimiento fue de 90.554 Kg·ha<sup>-1</sup>.

Por otra parte, los valores que se obtuvieron en el coeficiente de determinación ( $R^2$ ), se encontraron entre un rango de 0.06 a 0.26, lo que indica que solo el 17.5% de las variables se ajustan al modelo empleado (MZC,  $R^2=0.26$  y PAG,  $R^2=0.23$ ), sin embargo, en cuanto al porcentaje del coeficiente de variación (CV) los valores se encontraron en un rango de 40.38% a 56.69% manifestando estabilidad y poca dispersión de los datos, Castillo (2007) explica que valores bajos en el coeficiente de determinación, expresan confiabilidad en los resultados, sí es que se obtuvieron coeficientes de variación superiores al 30%, como fue el caso en esta investigación, por lo tanto, se puede considerar confiabilidad en los resultados, ya que estos se compensan (Cuadro 2).

### **Análisis de Comparación de Medias**

Se utilizó un análisis de comparación de medias por la prueba de Kruskal-Wallis, debido a que los supuestos básicos en el planteamiento del experimento no cumplen con una escala nominal u ordinal durante el registro de los datos experimentales o diseños experimentales comunes como lo indica Castillo (2007), esto se debió a que en la toma de datos, se consideró el total de mazorcas de la parcela experimental, es decir, todas aquellas plantas que fueron inoculadas con *U. maydis* fueron evaluadas, además que hay datos de presencia-ausencia que no fueron transformados, lo que justifican el empleo de estos análisis. Por tanto, la comparación múltiple de medias bajo estos supuestos permitió elegir el material con mayor susceptibilidad a la cepa evaluada del hongo.

Las diferencias entre las medias de rangos ajustadas a los tratamientos identificó 92 comparaciones entre los híbridos con diferente nivel de significancia; del total de comparaciones, 54 fueron altamente significativas, con una confiabilidad del 99% y un  $\alpha \leq 0.01$ , lo que representó el 58.69%, del total; mientras que 38 comparaciones presentaron diferencias estadísticas significativas con diferente nivel de confiabilidad 95% y 90% ( $\alpha \leq 0.05$  y  $\alpha \leq 0.10$ , respectivamente), y en este caso se tuvo un porcentaje de 41.30% (Cuadro 3 y 4).

**Cuadro 3.** Comparación de medias ajustadas entre nativos de maíz por la prueba de Kruskal-Wallis, para cada una de las variables que

determinan la susceptibilidad a *Ustilago maydis* en la producción de huitlacoche. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, 2018.

Maíz/Maíz	H-7573	Ancho	Balsas	Prieto	Pepitilla	Media
<b>Numero de mazorcas cosechadas (MZC)</b>						
H-7573						28.25
Ancho	***					22.75
Balsas	***	NS				12.75
Prieto	***	NS	NS			3.50
Pepitilla	***	*	NS	NS		7.75

...continuación Cuadro 3

<b>Longitud de mazorca (LONG)</b>							<b>cm</b>
H-7573							18.44
Ancho	NS						17.43
Balsas	***	**					13.93
Prieto	NS	NS	**				16.90
Pepitilla	NS	NS	NS	NS			17.19
<b>Grosor de mazorca (GROS)</b>							<b>cm</b>
H-7573							5.74
Ancho	NS						5.45
Balsas	NS	NS					3.96
Prieto	NS	NS	NS				5.48
Pepitilla	NS	NS	NS	NS			4.86
<b>Peso total de la mazorca (PMZ)</b>							<b>g</b>
H-7573							198.02
Ancho	NS						187.18
Balsas	NS	NS					139.17
Prieto	**	*	**				138.53
Pepitilla	*	*	**	NS			125.24
<b>Peso de la Agalla de Huitlacoche (PAG)</b>							<b>g</b>
H-7573							42.83
Ancho	**						53.44
Balsas	**	NS					30.80
Prieto	**	NS	NS				37.23
Pepitilla	**	NS	NS	NS			28.72
<b>Incidencia (INC)</b>							
H-7573							1.27
Ancho	*						1.21
Balsas	NS	NS					1.01
Prieto	NS	NS	NS				1.12
Pepitilla	**	NS	NS	NS			1.28
<b>Severidad (SEV)</b>							<b>%</b>
H-7573							21.89
Ancho	NS						22.88

<b>Balsas</b>	NS	NS			15.58
<b>Prieto</b>	NS	NS	NS		31.77
<b>Pepitilla</b>	*	NS	*	NS	27.88

\*: diferencias significativas con confiabilidad de 90% ( $\alpha \leq 0.10$ ), \*\*: diferencias significativas con confiabilidad de 95% ( $\alpha \leq 0.05$ ), \*\*\*: diferencias altamente significativas con confiabilidad de 99% ( $\alpha \leq 0.01$ ). NS: no significativa

**Cuadro 4.** Comparación de medias ajustadas entre cortes o cosechas de huitlacoche en maíces nativos mediante la prueba de Kruskal-Wallis, para cada una de las variables que determinan la susceptibilidad a *Ustilago maydis*. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, 2018.

Media por corte/Fecha	23/08/2018	28/08/2018	11/09/2018	19/09/2018	26/09/2018	04/10/2018	10/10/2018
<b>Numero de mazorcas cosechadas (MZC)</b>							
6							
46	***						
87	***	NS					
63	***	NS	**				
67	***	NS	NS	NS			
16	NS	**	***	**	***		
16	NS	*	***	NS	***		NS
<b>Longitud de mazorca (LONG)</b>							
17.00							
18.28	NS						
17.40	NS	NS					
16.45	NS	*	NS				
20.24	NS	*	NS	NS			
16.81	NS	NS	NS	NS	NS		
17.50	NS	NS	NS	NS	NS		NS
<b>Grosor de mazorca (GROS)</b>							
64.10							
59.92	NS						
57.85	NS	NS					
54.96	NS	NS	NS				
48.89	***	***	***	***			
54.99	NS	NS	NS	NS	*		
42.30	***	***	***	***	*		***
<b>Peso total de la mazorca (PMZ)</b>							
192.20							
210.78	NS						
207.14	NS	NS					
172.34	NS	*					
147.78	NS	**	***	NS			
170.63	NS	NS	NS	NS	NS		
146.13	NS	NS	NS	NS	NS		NS
<b>Peso de la Agalla de Huitlacoche (PAG)</b>							
93.40							
80.47	NS						
60.14	NS	**					
29.39	***	***	***				
20.86	***	***	***	***			
29.12	***	***	***	NS	NS		
30.00	***	***	***	NS	NS		NS
<b>Incidencia (INC)</b>							
1.00							
1.04	NS						
1.17	NS	NS					
1.31	NS	***	**				

1.52	***	***	***	***		
1.37	**	***	***	NS	NS	
1.00	NS	NS	NS	NS	***	***
<b>Severidad (SEV)</b>						
46.60						
20.10	**					
21.00	***	NS				
24.06	***	NS	NS			
19.70	***	***	***	***		
35.31	***	NS	NS	NS	NS	
34.00	NS	NS	NS	**	***	**

\*: diferencias significativas con confiabilidad de 90% ( $\alpha \leq 0.10$ ), \*\*: diferencias significativas con confiabilidad de 95% ( $\alpha \leq 0.05$ ), \*\*\*: diferencias altamente significativas con confiabilidad de 99% ( $\alpha \leq 0.01$ ). NS: no significativa

### Medias obtenidas entre los maíces nativos

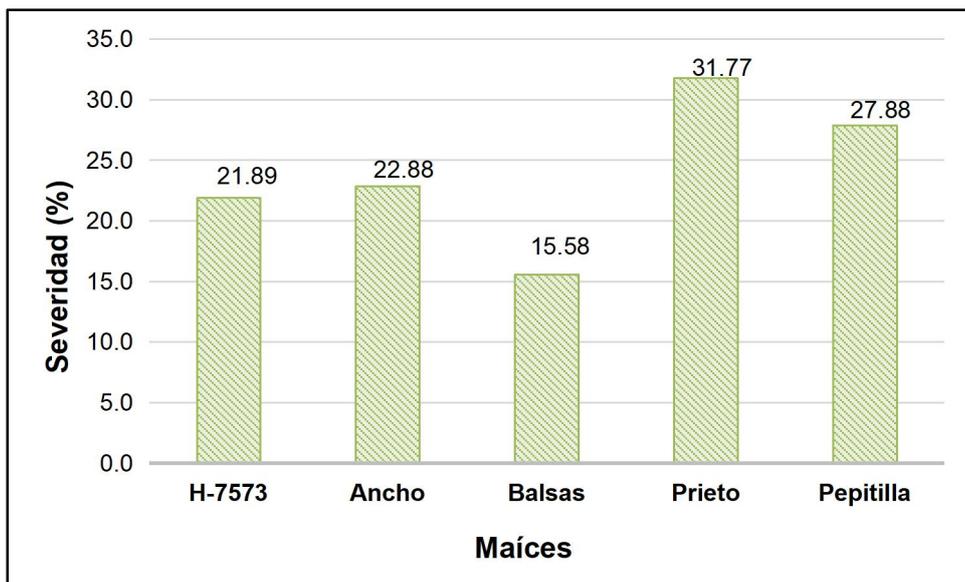
Las comparaciones de los rangos de las medias entre los maíces nativos y el testigo, nos indica que las variables MZC; PMZ y PAG, presentaron el mayor número de diferencias estadísticas (confiabilidad del 99%,  $\alpha \leq 0.01$ ), sin embargo, en la primera (MZC), las diferencias fueron más altas y es donde se expresa el comportamiento de los nativos con respecto al testigo (H-7573) (Cuadro 3).

La adaptabilidad de los maíces nativos originarios de Michoacán a las condiciones de Coahuila, muestra alta variabilidad a la susceptibilidad de la cepa de *U. maydis* que se inoculó, este es un comportamiento similar al reportado por Martínez *et al.* (2005) quienes mencionan que como consecuencia de la alta interacción genotipo-ambiente, las variedades de maíz y la cepa huitlacoche utilizada tienen comportamientos diferentes de un ambiente a otro.

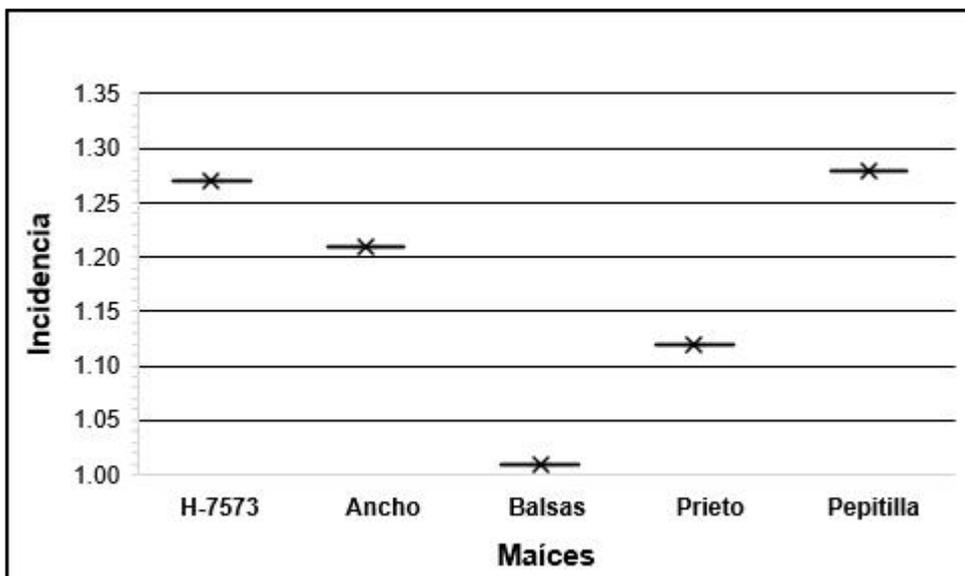
Calderón (2010) reporta que el valor del índice de severidad generado por cada cepa de huitlacoche no está totalmente relacionado con la variedad ni el color del maíz, lo que indica que aun cuando las variedades de maíz blanco son las más susceptibles, esto más bien depende de la virulencia de la cepa.

Pérez y Robledo (1999) obtuvieron un Índice de Severidad de 53.12% en familias susceptibles de maíz nativo; en la presente investigación los maíces que presentaron el mayor porcentaje de Severidad fueron el maíz prieto con 31.77%, seguido de pepitilla con 27.88%. El híbrido H-7573 y el nativo balsas presentaron valores de severidad de 21.89% y 15.58% correspondientemente (Fig. 3); en

cuanto a incidencia, el maíz pepitilla presento el mayor valor con 1.28, y con el valor más bajo, el maíz balsas 1.01 (Fig. 4). Esta respuesta pudo deberse a la resistencia genética de estos materiales o a que las condiciones ambientales no fueron las favorables para la máxima expresión del hongo; comportamiento observado por Villanueva *et al.* (2007), al indicar que, aun disponiendo de la planta susceptible, del hongo virulento y de la técnica de inoculación eficiente, las condiciones ambientales son determinantes en el sentido de favorecer o inhibir el desarrollo de la infección del huitlacoche.

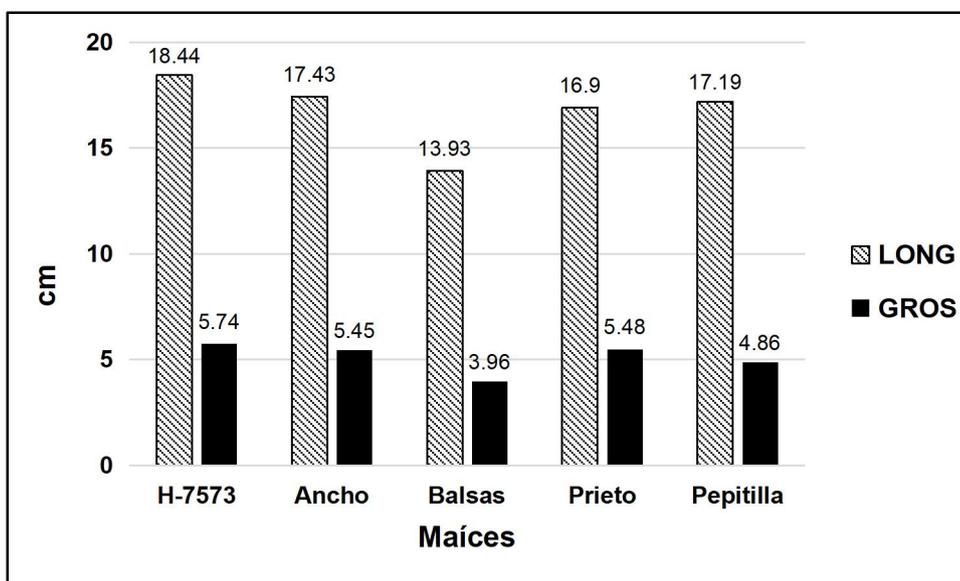


**Figura 3.** Medias de la variable severidad (SEV), en la determinación de susceptibilidad a una cepa patogénica de *Ustilago maydis*, en maíces provenientes del Michoacán, para la producción de huitlacoche. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, 2018.



**Figura 4.** Medias de la variable incidencia (INC), en la determinación de susceptibilidad a una cepa patogénica de *Ustilago maydis*, en maíces provenientes del Michoacán, para la producción de huitlacoche. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, 2018.

Las variables GROS y LONG, son consideradas como elementos que están relacionados con el rendimiento del maíz por lo que para en el caso del huitlacoche también es un indicativo, por tanto, los valores en estas variables fluctuaron en un rango de 57.41 mm (H-7573) como el valor más alto y 39.64 mm (maíz balsas) como el valor más bajo para GROS; mientras que la longitud (LONG) de mazorca se presentó en un rango de 13.93 a 18.44 cm en el maíz balsas y el híbrido H-7573, respectivamente. El testigo (H-7573) fue el maíz con más grosor en las mazorcas. En general estas dos variables fueron estables en cuanto al comportamiento de los valores para los cuatro nativos evaluados (Fig. 5). Al respecto, Valdez *et al.* (2009) reportaron mazorcas de 100 a 170 mm de longitud en maíces nativos adaptados al bajo en los que se evaluó la susceptibilidad de dichos materiales para la producción masiva del huitlacoche; estos datos se ajustan a los encontrados en esta investigación.

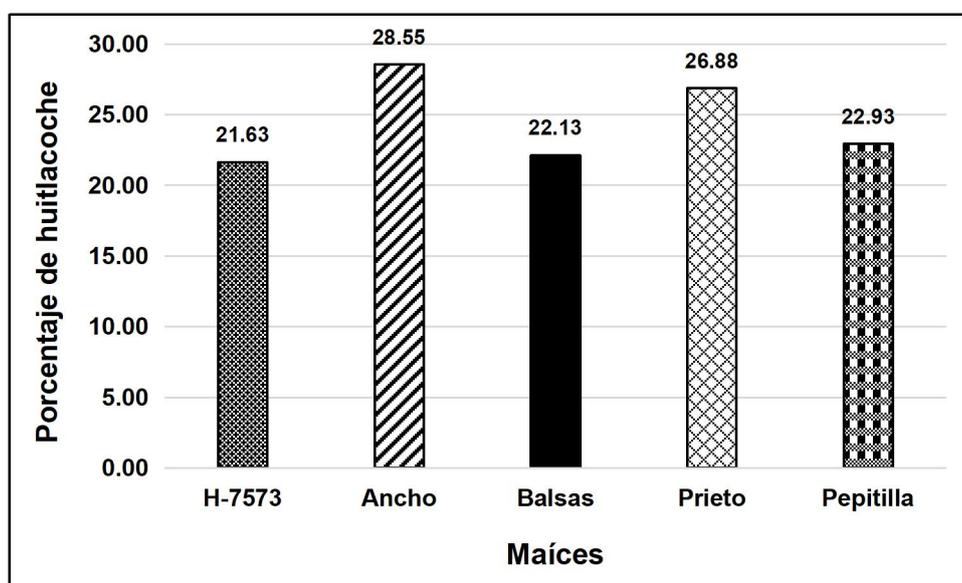


**Figura 5.** Medias de las variables longitud (LONG) y grosor (GROS) de mazorca, en los maíces nativos evaluados para determinar la susceptibilidad a una cepa patogénica de *Ustilago maydis*, en la producción de huitlacoche. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, 2018.

Ángeles *et al.* (2010) reporto datos relacionados con las variables de longitud y diámetro en mazorca e indican que son variables que están relacionada al

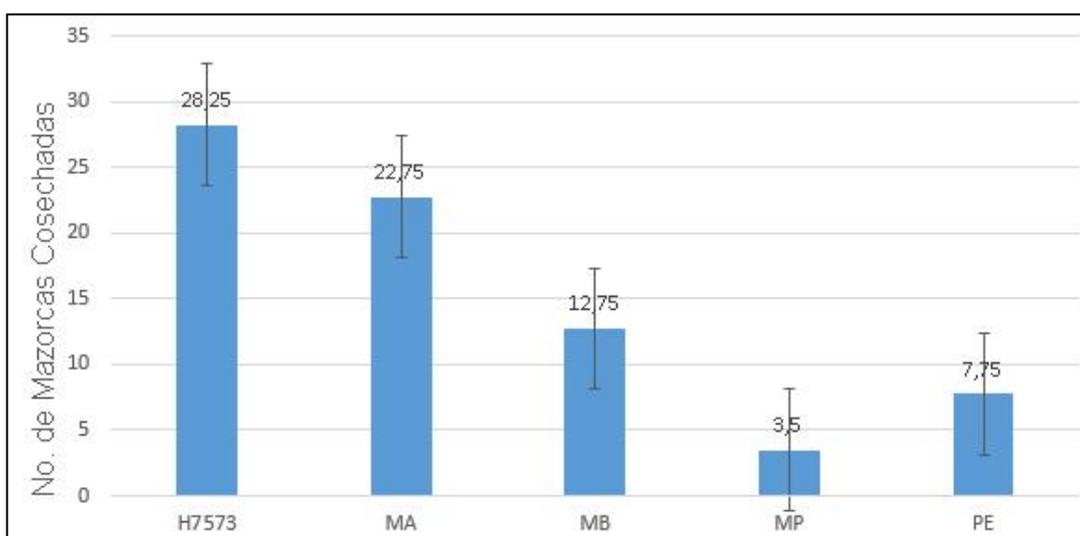
rendimiento de grano en híbridos de maíz, estos autores obtuvieron un promedio de 140.7 mm de largo y 20.4 mm de ancho de mazorca, los cuales fueron significativos para rendimiento. Los valores promedio obtenidos en la presente investigación para las cinco variedades de maíz evaluados, fueron de 18.44 cm de longitud y 57.41 mm en el testigo mientras que los valores más altos se registraron en el maíz prieto con una LONG de 16.9 cm y un GROS de 54.84 mm de diámetro, lo que indica que el hongo influye directamente en estas variables y que, en la producción de huitlacoche, es común encontrar mazorcas más grandes y abultadas por la hiperplasia e hipertrofia deformando el grano del elote y con ello la formación de agallas, según Agrios (2006).

En las variables relacionadas al peso de mazorca (PMZ) y peso de agallas (PAG), se encontró que los nativos maíz ancho y balsas, presentaron valores entre los más altos (187.18 g y 53.43g; 139.17 g y 30.80g, respectivamente); con un porcentaje de huitlacoche del 22.12% para balsas y 28.54% para maíz ancho con respecto al total del peso de la mazorca (PMZ); por otro lado, se corroboró que el híbrido H-7573, es susceptible a *U. maydis* con un porcentaje de huitlacoche de 21.62% (Fig. 6).



**Figura 6.** Porcentaje de producción de huitlacoche en maíces de origen michoacano, evaluados en la producción de huitlacoche. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, 2018.

El número de mazorcas con presencia de infección del hongo como también el cubrimiento total de la mazorca son otro factor altamente relacionado al rendimiento alto de huitlacoche. En esta investigación los valores promedio de mazorcas cosechadas (MZC) fueron relativamente bajos y por esta razón esta variable es determinante en el volumen de producción de huitlacoche, el valor más alto para el número de mazorcas cosechadas lo presentó el testigo H-7573 con 28.25% de MZC respecto al total de mazorcas inoculadas, seguido del nativo maíz ancho con 22.75% (Fig. 7). El menor valor de MZC lo presentó el nativo maíz prieto con 3.5 %, este resultado se atribuye a que el testigo es un maíz adaptado a las condiciones bióticas y abióticas de la zona de origen, a diferencia de los nativos y por tanto la expresión del huitlacoche manifestada fue diferente y explica el comportamiento de la patogenicidad de la cepa local utilizada.



MA: maíz ancho, MB: maíz balsas, MP: maíz prieto, PE: maíz pepitilla

**Figura 7.** Promedio de mazorcas cosechadas por variedad, inoculadas con una cepa patogénica de *Ustilago maydis*, en la producción de huitlacoche. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, 2018.

En esta investigación la variedad nativa maíz ancho obtuvo el mayor peso de agalla de huitlacoche (PAG, Cuadro 3), produjo 99.90 Kg·ha<sup>-1</sup> de huitlacoche, valor bajo en comparación con los datos obtenidos por Martínez (2012), quien reportó rendimientos de 8 522, 5 167 y 2 447 Kg·ha<sup>-1</sup> para los nativos Ancho, Chalqueño y Cacahuacintle; e indica que los maíces nativos con mayor susceptibilidad a huitlacoche son los de la raza Ancho, después los de la raza Chalqueño-Bolita, siendo el maíz de raza Cacahuacintle el menos productivo en cuanto a huitlacoche se refiere. Estos resultados se atribuyen como principal

factor a la influencia de las condiciones ambientales de baja humedad relativa que se presentan en Buenavista, Saltillo, ya que se encuentra en una zona con clima semidesértico y el huitlacoche requiere de mayor humedad en el ambiente. Según los datos reportados por CONAGUA (2019), en un periodo de 10 años (1981-2010) para los meses en los que se estableció el cultivo (mayo a septiembre), temperaturas alrededor de  $28.8 \pm 2.0^{\circ}\text{C}$  (máx.),  $22.02 \pm 2.0^{\circ}\text{C}$  (media) y  $15.2 \pm 2.0^{\circ}\text{C}$  (mínima), con una precipitación de 252.4 mm y una evaporación de 1068.4 mm, por lo que estas condiciones no se consideran apropiadas u óptimas para que el hongo exprese su mayor potencial, a diferencia de las regiones del centro del país con condiciones más estables y homogéneas y donde se tienen rendimientos, como los reportados por Salazar *et al.* (2013).

El maíz dentado es generalmente de mayor rendimiento que otros tipos de maíces, pero tiende a ser más susceptible a hongos e insectos en el campo; sin embargo, esta afectación no es comparable con lo mencionado por Aguayo *et al.* (2016), quien reporta que los maíces de grano dulce son los más susceptibles a *U. maydis*.

Con respecto a la cepa evaluada, Calderón (2010) reporta que la producción de huitlacoche no está relacionada con la variedad ni el color de maíz, esto más bien depende de la virulencia de la cepa, y de las condiciones ambientales que se presenten en la localidad donde se establece el maíz para este propósito y que con ello se expresen los síntomas de *U. maydis*.

### **Entre fechas de corte o cosecha de huitlacoche**

En esta investigación la comparativa de medias ajustadas resultó con alta variación en cuanto al efecto de los cortes o cosecha del huitlacoche. Cabe resaltar que el principal inconveniente de las pruebas de comparaciones múltiples no paramétricas radica en su escasa capacidad de detectar diferencias significativas reales entre pares de tratamientos (Araya, 2011), por lo que al analizar las medias de cada variable en cada una de las fechas de corte de las mazorcas inoculadas, se encontró que hubo mayor variación entre el corte 1 y 2, con respecto al resto de los cortes realizados, expresado en el conjunto de los

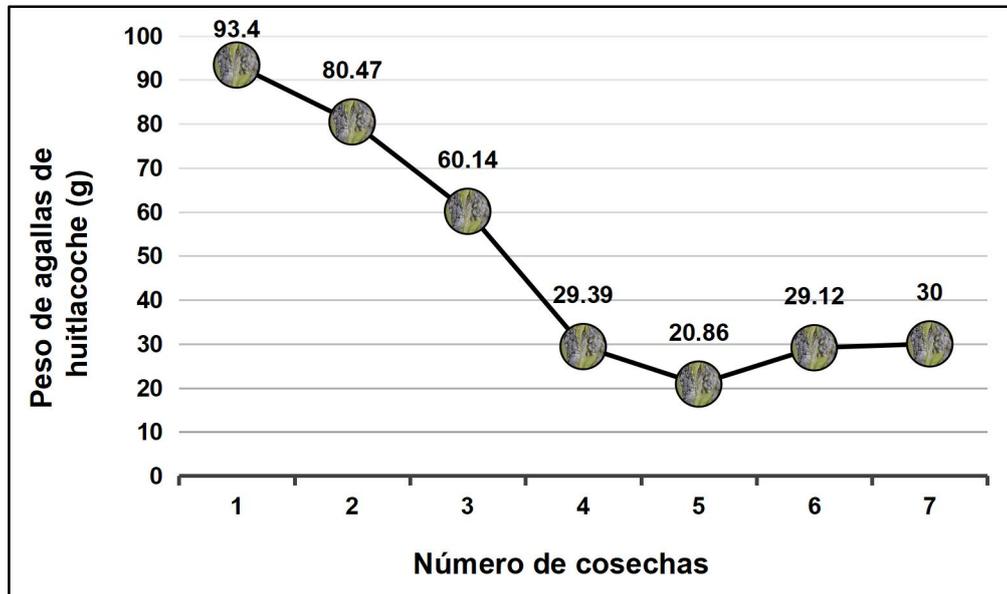
materiales nativos de maíz y el testigo, ya que hubo intervalos de cosecha heterogéneos, por tal motivo es que algunas comparaciones son negativas (Cuadro 4).

En la variable MZC se presentaron diferencias altamente significativas entre el corte 1 vs 2, 3, 4, 5, en el corte 3 vs 6, 7 y el corte 5 vs 6, 7 con una confiabilidad del 99% ( $\alpha \leq 0.01$ ), lo cual indica la diversa variabilidad entre los nativos, debido al comportamiento que presentaron en las condiciones ambientales de Saltillo, a la fenología que presentaron en la región, con respecto a su ciclo productivo y precocidad, así como a la respuesta de la susceptibilidad al patógeno, que originó dichas diferencias. Dentro los resultados el corte número 2 vs 6, corte 3 vs 4 y el corte 4 vs 6 mostraron solo diferencias significativas con una confiabilidad del 95% ( $\alpha \leq 0.05$ ) y la comparación entre el corte 2 vs 7 indicó diferencia significativa con confiabilidad de 90% ( $\alpha \leq 0.10$ ). Estos resultados expresaron el número de mazorcas cosechadas entre las variedades nativas de maíz (Cuadro 4).

La variable LONG solamente mostró diferencias significativas entre las comparaciones del corte 2 vs 4, 5 con una confiabilidad del 90% ( $\alpha \leq 0.10$ ) (Cuadro 4). Mientras que para la variable GROS, se presentaron cuatro comparaciones con diferencia altamente significativa ( $\alpha \leq 0.01$ ) en los cortes 1, 2, 3, 4 vs 5, 7 y entre los cortes 6 vs 7. Además, solo significativa ( $\alpha \leq 0.10$ ) entre los cortes 5 vs 6, 7, lo cual indica la variable grosor de mazorca con infección por huitlacoche se va a ver afectada por la cosecha, principalmente en los últimos cortes, con respecto a los primeros.

La variable PMZ presentó diferencia altamente significativa ( $\alpha \leq 0.01$ ) solamente entre las comparaciones entre el corte 3 vs 5; mientras que entre el corte 2 vs 5 las diferencias que se arrojaron fueron solo significativas ( $\alpha \leq 0.05$ ); entre los cortes 2, 3 vs 4 hubo diferencia significativa del 90% de confiabilidad ( $\alpha \leq 0.10$ ). En cuanto a la variable PAG las comparaciones destacaron entre los cortes 3 vs 4, 5, 6, 7 y los cortes 4 vs 5, quienes mostraron diferencia altamente significativa ( $\alpha \leq 0.01$ ); lo que indica que el peso de huitlacoche cosechado varía de entre los 18 a 23 días desde el momento de la inoculación (Fig. 8). Por otra parte, la comparación entre el corte 2 vs 3 mostró diferencias solo significativas con un  $\alpha \leq 0.10$  (Cuadro 4).

En la variable INC los resultados obtenidos entre las comparaciones de los cortes fueron para 1 vs 5; 2 vs 4, 5, 6; 3 vs 5, 6; 5 vs 7 y 6 vs 7 con diferencias altamente significativas ( $\alpha \leq 0.01$ ), por otra parte, las comparaciones entre los cortes 1 vs 6 y 3 vs 4 presentaron diferencias significativas con un  $\alpha \leq 0.05$ , es decir una confiabilidad del 95%. En cuanto a la variable SEV el análisis mostró que hubo diferencia altamente significativa entre los cortes 1 vs 3, 4, 5, 6, como también en los cortes 2, 3, 4 vs 5, de igual manera para los cortes 5 vs 7, mientras que para las comparaciones entre los cortes 1 vs 2, y 4, 6 vs 7 las diferencias arrojadas fueron solo significativas con un ( $\alpha \leq 0.05$ ) y una confiabilidad del 95% (Cuadro 4).



**Figura 8.** Respuesta de la variable Peso de agallas de huitlacoche (PAG) en promedio, para cada cosecha de mazorcas obtenido en maíces michoacanos. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, 2018.

Los resultados obtenidos en las comparaciones de medias, entre los tipos de maíz, como entre los cortes pueden explicarse, debido a las características intrínsecas que presentan los mismos nativos, relacionadas a la resistencia genética de enfermedades como el carbón del maíz o huitlacoche, que por generaciones este cultivo se ha ido domesticando; de igual forma pudieron haber influido las condiciones ambientales de la región, principalmente por la adopción de los nativos a la localidad, por tanto, estas condiciones no fueron las favorables, ni para el desarrollo del cultivo como para la máxima expresión del hongo. Este comportamiento fue observado por Villanueva *et al.* (2007), al indicar que, aun

disponiendo de la planta susceptible, del hongo virulento y de la técnica de inoculación eficiente, las condiciones ambientales son determinantes en el sentido de favorecer o inhibir el desarrollo de la infección del huitlacoche.

## CONCLUSIONES

Los maíces nativos de Michoacán, México, presentan heterogeneidad, en cuanto a la respuesta a la inoculación artificial en la producción de huitlacoche, por lo que no es eficiente partir de materiales con estas características genéticas.

La producción comercial artificial de huitlacoche en las condiciones ambientales de Saltillo, y con el uso de genotipos con características heterogéneas como los maíces probados en esta investigación, no se considera factible, se requiere proveer de un ambiente adecuado para el desarrollo de hongo, entre los que destaca el incremento de humedad relativa.

El nativo con mayor susceptibilidad a la cepa patogénica de *U. maydis* para la producción de huitlacoche mediante inoculación artificial bajo las condiciones de Buenavista, Saltillo, Coahuila, México fue el maíz ancho, ya que presentó el valor más alto en el 90% de las variables en estudio.

## LITERATURA CONSULTADA

- Agrios, G. N. (2006). Fitopatología. 2ª ed. Ed. LIMUSA S.A. de C.V. México, D. F. quinta reimpression, pp, 440-443.
- Agropecuarios, A. D. (2018). Maíz grano, cultivo representativo de México. Recuperado el 19 de 09 de 2021, de Gobierno de México: <https://www.gob.mx/aserca/articulos/maiz-grano-cultivo-representativo-de-mexico?idiom=es>
- Aguayo G.; Dulce, J.; Acosta R., M.; Pérez C., L. E.; Guevara L., F. y García M., A. M. (2016). Producción natural de huitlacoche [*Ustilago maydis* (DC) Corda] en el estado de Aguascalientes. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 7(5): 1043-1050. Recuperado en 07 de marzo de 2019, de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S200709342016000501043&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S200709342016000501043&lng=es&tlng=es).
- Álvarez C., D. N. (1999). Aislamiento y evaluación de la patogenicidad de cepas del hongo *Ustilago maydis* (huitlacoche) del valle del Yaqui en plantas de maíz. Instituto Tecnológico de Sonora. México.
- Anderson E. & H. C. Cutler (1943) Races of *Zea mays*: I. Their recognition and classification. *Annals of the Missouri Botanical Garden* 29: 69-88.
- Ángeles G., E.; Ortiz T., E.; López P., A. & López R., G. (2010). Caracterización y rendimiento de poblaciones de maíz nativas de Molcaxac, Puebla. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 33(4): 287-296.

- Araya P., S. (2011). Evaluación de los procedimientos de comparaciones múltiples no paramétricas para una o dos vías de la clasificación utilizados en la investigación biológica. Tesis licenciatura. Universidad Central de Venezuela. Venezuela. Pag. 80. Consultado en: <https://mail.google.com/mail/u/2/#inbox/FFNDWLHwnhZJLKVZbRDmrzbqmHJwjbzr?projector=1&messagePartId=0.1>
- Banuett, F. & 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: 247-266.
- Beas F., R., G. Loarca, S. H. Guzmán, M. G. Rodríguez, N. L. Vasco y F. Guevara. (2011). Potencial nutracéutico de componentes bioactivos presentes en huitlacoche de la zona centro de México. *Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas*, 42: 36-44.
- Beaumont, P. (1873). Del maíz, que los indios llaman Tlaolli y los Tarascos ahtairi, de las bebidas que de él se hace y genero de tortillas. *In: Crónicas de Michoacán*. (1972). Biblioteca del Estudiante Universitario No. 12. UNAM. pp: 175-196.
- Benz, B. F. (1986). Taxonomy and evolution of Mexican Maize. Ph D. Dissertation. University of Wisconsin. Madison, Wisconsin, U.S.A. 433 p.
- Brieger, F. G., J. T. A. Gurgel, E. Paterniani, A. Blumenschein & M. R. Alleoni. (1958). Races of Maize in Brazil and other Eastern South American Countries. Publication 593. National Academy of Sciences-National Research Council. Washington, D.C., U.S.A. 283 p.
- Calderón F, M. L. (2010). Caracterización clásica y molecular del huitlacoche [*Ustilago maydis* D. C. (Corda)], hongo de importancia social y económica en la Región Central de México. Tesis de Doctorado. Colegio de Postgraduados, Campus Puebla, México. 182 p. en Ciencias Agrícolas. [http://www.biblio.colpos.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/10521/319/caldero\\_n\\_fernandez\\_ml\\_dc\\_edar\\_2010.pdf?sequence=1](http://www.biblio.colpos.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/10521/319/caldero_n_fernandez_ml_dc_edar_2010.pdf?sequence=1).
- Chandler, V. L., Eggleston, W. B., & Dorweiler, J. E. (2000). Paramutation in maize. *Plant Gene Silencing*, 1-25.
- Christensen, J. J. (1963). Corn Smut caused by *Ustilago maydis* Cda. The American Phytopathological Society. Department of Plant Pathology and

- Botany. Monograph N°2. Institute of Agriculture, University of Minnesota, St. Paul. pp. 55-57.
- CONAGUA, (2019). °C Grados Centígrados. Registro Mensual de Precipitación Pluvial en mm. Recuperado el 26 de 09 de 2021, de [https://www.salttillo.gob.mx/wp-content/uploads/2019/10/salttillo\\_potencia\\_nacional\\_OP.pdf](https://www.salttillo.gob.mx/wp-content/uploads/2019/10/salttillo_potencia_nacional_OP.pdf)
- Delgado, R. J. (2017). La Selección del Híbrido de Maíz. Serie Cereales. Núm. 35. Artículos Técnicos de INTAGRI. México. 3 p.
- Di Marco, O. N. y M. S. Aello. (2003). Calidad Nutritiva de la Planta de Maíz para Silaje. Unidad Integrada Balcarce (Facultad de Ciencias Agrarias (UNMdP)-INTA EEABalcarce). Verificado en marzo de 2019.
- Dorweiler, J.; Stec, A.; Kermicle, J. & Doebley, J. (1993). Teosinte glume architecture 1: a genetic locus controlling a key step in maize evolution. *Science*, 262(5131): 233-235.
- Escalante, P. C. (2013). Estudios de la reacción del maíz al huitlacoche con fines de planificación de la cosecha. Tesis maestría. Instituto de Horticultura. Chapingo. México. <https://chapingo.mx/horticultura/pdf/tesis/TESISMCH2013062510128064.pdf>
- García M., A. (2016). Producción de huitlacoche [*Ustilago maydis* (D.C) Corda] en el estado de Aguascalientes. (Tesis maestría). Centro de Ciencias Agropecuarias. Universidad Autónoma De Aguascalientes. <http://bdigital.dgse.uaa.mx:8080/xmlui/>.
- Guajardo, R. B. (2021). Perspectivas del maíz en el mercado mundial 2020 y 2021. Recuperado el 19 de 09 de 2021, de El Economista: <https://www.eleconomista.com.mx/opinion/Perspectivas-del-maiz-en-el-mercado-mundial-2020-y-2021-20210504-0135.html>
- Guzmán, G. (1994). Los hongos en la medicina tradicional de Mesoamérica y de México. *Revista Iberoamericana de Micología*, 11(3): 81-85.
- Hernández X. E. y G. Alanís F. (1970). Estudio morfológico de cinco nuevas razas de maíz de la Sierra Madre Occidental de México. Implicaciones filogenéticas y fitogeográficas. *Agrociencia*, 5: 3-30.
- Hernández, X. E. (1973). Genetic resources of primitive varieties of Mesoamerica. *Zea spp, Phaseolus spp, Capsicum spp and Cucurbita spp*. In: Frankel, O.

- H. (ed.). Survey of crop genetic resources in their centers of diversity. First Report. FAO, IBPGR, Rome. pp. 76-115.
- Herrera, T. y Ulloa, M. (1998). El reino de los hongos: micología básica y aplicada (No. 589.2 H565r). México, MX: Universidad Nacional Autónoma de México.
- INEGI. (2019). Saltillo Potencia Nacional. Recuperado el 26 de 09 de 2021, de [https://www.salttillo.gob.mx/wp-content/uploads/2019/10/salttillo\\_potencia\\_nacional\\_OP.pdf](https://www.salttillo.gob.mx/wp-content/uploads/2019/10/salttillo_potencia_nacional_OP.pdf)
- Iturriaga, J. N. (1998). Las cocinas de México II. Fondo de Cultura Económica.
- Jiménez, B, M. F. (2010). Estudio de la diversidad genética y análisis molecular del locus b de *Ustilago maydis*. Instituto Politécnico Nacional-CBG. Reynosa, Tamaulipas.
- Juárez M., M., S. Ruiloba de León, G. Chávez, C. Hernández & L. Villa. (2011). Huitlacoche (corn smut), caused by the phytopathogenic fungus *Ustilago maydis*, as a functional food. *Revista Iberoamericana de Micología*, 25: 69-73.
- Kato Y., T. A., C. Mapes S., L. M. Mera O., J. A. Serratos H. y R. A. Bye B. (2009). Origen y Diversificación del Maíz. Una Revisión Analítica. Universidad Nacional Autónoma de México, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, D. F. 115 p.
- Kealey, K. & S. Kosikowski. (1981). Potencial del Cuitlacoche como posible fuente alimenticia. *CRC Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 15(14): pp. 321-330.
- Kelly, I., & E. Anderson (1943). Sweet corn in Jalisco. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 30: 405-412.
- LAMP (Proyecto Latinoamericano de Maíz). (1991). Catálogo del germoplasma de maíz. Tomo 2. ARS-USDA, CIMMYT, Pioneer Hi-Bred International Inc., Universidad Agraria La Molina (Perú) 1052 p.
- Leal, C. M. (1996). Evaluación de metodologías para la inducción artificial de huitlacoche. Tesis de maestría en ciencias. Facultad de Agronomía. Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Mapes, C. (1987). El maíz entre los Purépechas de la cuenca del lago de Pátzcuaro, Michoacán, México. *América indígena*, XLVIII(2): 345- 379.

- Martínez T., E. (2012). Susceptibilidad de maíces híbridos y criollos al huitlacoche (*Ustilago maydis* (DC) cda), y rentabilidad de la producción, en Chapingo, México (Tesis de licenciatura).
- Martínez, M. L., A. Muñoz, O, J. A. Mejía C., J. D. Molina G., E. Zavaleta M., J. S. Sandoval I. y C. Villanueva V. (2005). Efectos genéticos e interacciones entre familias de maíz y aislados de huitlacoche (*Ustilago maydis* D. C. Corda). *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 11(1): 121-128.
- Martínez, M. L., Villanueva, C. y Sahagún, J. (2000). Susceptibilidad y resistencia del maíz al hongo comestible huitlacoche (*Ustilago maydis*) mejorando su virulencia. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 6(2): 41–255.
- Martínez E., A. y J. Ruiz H., (1998). El hongo *Ustilago maydis*, de la época prehispánica al tercer milenio. *Fitopatología*, 33: 194-206.
- Molina N., L. (1998). Razas, diversidad y erosión genética del maíz en el Valle de Zamora, Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Edo. de México. México. 148 p.
- Monsanto Company©. (2017). A 7573 El Elotero de México. México. Recuperado de <https://www.asgrow.com.mx/es-mx/detalles.html/corn/durango-saltillo/a%207573>.
- Muñoz O., A. (2003). Centli-Maíz. Colegio de Posgraduados. Montecillo, Edo. de México. México 211 p.
- Ortega P., R. (1979). Reestudio de las razas mexicanas de maíz. Informe Anual. Campo Agrícola Experimental de la Mesa Central. INIA, Chapingo, Edo. de México. México.
- Ortega P., R. (1985). Variedades y razas mexicanas de maíz y su evaluación en cruzamientos con líneas de clima templado como material de partida para fitomejoramiento. Traducción resumida de Tesis de Ph. D. Instituto Nacional de Plantas de la Unión Soviética “N. I. Vavilov”. Leningrado, URSS. 22 p.
- Ortega P., R. (2003). La diversidad del maíz en México. *In: Sin Maíz no Hay País*. Esteva G., C. Marielle (coords.). Consejo Nacional para la Cultura y las Artes, Dirección General de Culturas Populares e Indígenas. México, D. F. pp: 123-154.
- Ortega P., R. A., J. J. Sánchez G., F. Castillo G. y J. M. Hernández C. (1991). Estado actual de los estudios sobre maíces nativos de México. *In: Avances*

- en el Estudio de los Recursos Fitogenéticos de México. Ortega P. R., G. Palomino H., F. Castillo G., V. A. González H., M. Livera M. (eds.). Sociedad Mexicana de Fitogenética, A. C., Chapingo, Edo. de México. pp: 161-185.
- Paliway, R. L. (2001). Origen, evolución y difusión del maíz. *El maíz en los trópicos. Mejoramiento y producción. Colección FAO: Producción y Protección Vegetal*, 28: 5-9.
- Pan J. J., A. M. Baumgarten & G. May. (2008). Effects of host plant environment and *Ustilago maydis* Cda. infection on the fungal endophyte community of maize (*Zea mays* L.) *New Phytologist*, 178: 147–156.
- Paredes L., O.; Guevara L., F. y Bello P., L. A. (2006). Los Alimentos Mágicos de las Culturas Indígenas Mesoamericanas. Fondo de Cultura Económica-Serie Ciencia para Todos. México, D. F. 205 pp. ISBN 968-16-7567-3.
- Pataky, J. K. & Chandler, M. A. (2003). Production of huitlacoche, *Ustilago maydis* Cda.: timing inoculation and controlling pollination. *Mycologia*, 95: 1261–1270.
- Pataky, J. K.; Nankam, C. & 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.
- Pérez M., A. y Robledo V., E. (1999). Evaluación de la reacción de 300 familias de maíz (*Zea mays* L.) al huitlacoche [*Ustilago maydis* (D.C.) Corda]. Tesis de Licenciatura. Departamento de Parasitología Agrícola. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 63 p
- Ramírez L., D. (1998). Variedades criollas de maíz y conservación de la diversidad genética in situ en tres zonas agrícolas de la Sierra Purépecha, Michoacán. Tesis de Licenciatura. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma de Chapingo. Chapingo, Edo. de México. México. 111 p.
- Rincón S., F.; Castillo G., F. y Ruíz T., N. A. (2010). Diversidad y distribución de los maíces nativos en Coahuila, México. 1ª. (Ed.). SOMEFI. Chapingo, Estado de México. 116 p.
- Romero P., J., y R. Ortega, P. (1996). Sistema de cultivo, variedades y erosión genética en maíz en el sureste de Tierra Caliente, Mich. *Revista de Geografía Agrícola*, 22:113-129
- Ron P., J., J. J. Sánchez G., A. A. Jiménez C., J. A. Carrera V., J. G. Martín L., M.

- M. Morales R., L. de la Cruz L., S. A. Hurtado de la P., S. Mena M. y J. G. Rodríguez F. (2006) Maíces nativos del Occidente de México I. Colectas 2004. *Scientia-CUCBA* 8: 1-139.
- Ruiz, I. (1999). Producción de huitlacoche por inoculación artificial de cepas locales de *Ustilago maydis* (D. C.) Corda, en híbridos regionales de maíz (*Zea mays* L.) en el Valle del Yaqui. Tesis de maestría. Instituto Tecnológico de Sonora. Cd. Obregón, Sonora, México.
- Ruiz H. y Castro E., (2002). Efecto del período de fecundación del maíz (*Zea mays*) en la infección y producción de huitlacoche (*Ustilago maydis*) en el valle del Yaqui. *ITSON-DIEP* 3(11): 39-52.
- SADER. (2019). Productos artesanales de maíz. Recuperado el 19 de 09 de 2021, de Gobierno de Mexico: <https://www.gob.mx/agricultura/cdmx/articulos/productos-artesanales-de-maiz>.
- SIAP. (2019). Producción Agrícola Anual (1980-2018). Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (Consultado en marzo del 2020). Disponible en: [http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com\\_content&view=article&id=10&Itemid=15](http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=10&Itemid=15).
- Salazar T., J. C.; Martínez T., E.; Álvarez H., R. y Méndez, L. A. (2013). Susceptibilidad de maíces híbridos y criollos al huitlacoche (*Ustilago maydis* (D.C.) CDA.), y rentabilidad de la producción, en Chapingo, México. Ciencias Agronómicas y ambientales. 1<sup>er</sup> Congreso Internacional de Ciencias Aplicadas. Universidad Autónoma de Chapingo. Texcoco, Estado de México. 84-93 pp.
- Salazar-Torres, J. C., Méndez-López, A., Álvarez-Hernández, R. y Sánchez-Vega, M. (2021). El Huitlacoche. Alimento Prehispánico Vigente en México. Historia, Aprovechamiento y Técnicas de Producción. UACH-UAAAN. ISBN: 978-607-98316-9-1. 79 p.
- Sánchez G., J. J. (1989). Relationships among the Mexican races of maize. Ph. D. Dissertation. North Carolina State University. Raleigh, North Carolina, U.S.A. 187p.
- Sánchez G., J. J., M. M. Goodman & C. W. Stuber. (2000). Isozymatic and morphological diversity in the races of maize of Mexico. *Economic Botany*

54: 43-59.

- Tracy, W. F.; Vargas, C.; Zepeda, L.; Pataky, J. K. & Chandler, M. A. (2007). Production and Marketing of huitlacoche. *In: Sigues in new crops and new uses.* (pp: 233-236), Janick J. & Whipkey (Eds.) ASHS Press. Alexandria, VA.
- Ulloa, R. (2002). Efecto del periodo de fecundación del maíz (*Zea mays* L.) en la infección artificial de *Ustilago maydis* para la producción de Huitlacoche en el valle del Yaqui. Artículo publicado en el III Encuentro internacional de Biotecnología UIBI 2002. Querétaro, México.
- Valadez A., R., A. Moreno F., G. Gómez A. (2011). Cuitlacoche. El Cuitlacoche. IIA-UNAM. D.F., México. 138 p.
- Valdez, M. M.; Valverde M., E. y Paredes L., O. (2009). Procedimiento tecnológico para la producción masiva de huitlacoche. CINVESTAV Irapuato. Sinnco. pp. 10-37.
- Valdez M., M.; Valverde M., E. y Paredes L., O. (2008). Producción comercial de huitlacoche de alta calidad. Reporte técnico. Unidad Irapuato, CINVESTAV-IPN [http://sistemanodalsinaloa.gob.mx/archivoscomprobatorios/\\_16\\_informe\\_tecnicoconsultorias/1407.pdf](http://sistemanodalsinaloa.gob.mx/archivoscomprobatorios/_16_informe_tecnicoconsultorias/1407.pdf).
- Valverde M., E. y Paredes L., O. (1993). Producción y evaluación de algunas propiedades alimenticias de huitlacoche (*Ustilago maydis*). *Biotecnología de Alimentos* 7(3): 207-219.
- Vanegas P., E.; Valverde M., E.; Paredes-Lopez, O. y Pataky, J. K. (1995). Production of the edible fungus huitlacoche (*Ustilago maydis*): Effect of maize genotype on chemical composition. *Journal of fermentation and bioengineering*, 80(1): 104-106.
- Vargas P., J. A. (2022). Estudio de la Patogenicidad de Tres Cepas de Huitlacoche (*Ustilago maydis*) [(D.C.) Corda] en Maíces Adaptados a las Condiciones del Norte del País. (Tesis de licenciatura). Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Departamento de Parasitología. 42 p.
- Vavilov, N. I. (1951). Origin, Variation, Immunity and Breeding of Cultivated Plants. *Chronica Botanica*. Vol. 13. Waltham, MA. 366 p.
- Vigouroux, Y., M. McMullen, C. T. Hittinger, K. Houchins, L. Schulz, S. Kresovich, Y. Matsuoka & J Doebley. (2008). Identifying genes of agronomic importance in maize by screening microsatellites for evidence of selection

during domestication. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 99: 9650-9655.

Villanueva, C.; Molina, J. D.; Castillo, F. & Zavaleta E. (1999). Artificial induction of "huitlacoche" (*Ustilago maydis* Cda.): influence of different conditions in the field. *Micología Neotropical Aplicada* 12: 41–47.

Villanueva V., C.; E. Sánchez R.; E. Villanueva S. (2007). El Huitlacoche y su Cultivo. Ed. Mundi Prensa. México, S.A. de C.V. 96 p.

Wellhausen, E. J., L. M. Roberts y E. Hernández X. (en colaboración con P. C. Mangelsdorf). (1951). Razas de Maíz en México. Su Origen, Características y Distribución. Folleto Técnico No. 5. Oficina de Estudios Especiales. Secretaría de Agricultura y Ganadería. México, D. F. 236 p.