



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS

FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

Análisis del cultivo de cepas heterocarióticas de *Ustilago maydis*  
(Cuitlacoche)

**TESIS PROFESIONAL**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

**B I O L O G O**  
**P R E S E N T A:**

Dulce Teresa Hernández Castañeda

**DIRECTOR: DR. ISAAC TELLO SALGADO**

**CUERNAVACA, MORELOS**

**Abril, 2023.**

## RESUMEN

El huitlacoche se ha integrado dentro de la cultura alimenticia de los mexicanos y extranjeros que han degustado su sabor tan particular y textura, las características sensoriales y nutricionales le dan un valor muy importante de aceptación por parte del consumidor. La producción de agallas de huitlacoche depende en gran medida de los cuidados agronómicos, del uso de variedades de maíz óptimas, de las condiciones ambientales apropiadas, calidad de los inóculos y los procesos de inoculación y cosecha.

Sin embargo, el estudio de cepas con características únicas es limitado. Son utilizadas cotidianamente alrededor de 4 cepas híbridas, las cuales han presentado rendimientos atractivos para el mercado, por otro lado, la vida de anaquel del producto es corta, principalmente por el metabolismo acelerado de las agallas producto de la cruce de cepas compatibles, generando pérdidas económicas para los comerciantes y para el consumidor final en la cadena agroalimentaria.

Es conocido que los sistemas de reproducción de los hongos son únicos, utilizando mecanismos de reproducción como la vía asexual y la heterocariosis, las cuales son comunes en este grupo, y que a su vez pueden generar organismos con características únicas.

Es por ello, que en el presente estudio se buscó realizar una metodología para obtener cepas heterocarióticas ( $n+n$ ) de *Ustilago maydis* capaces de generar agallas en la mazorca de maíz sin recurrir al apareamiento de cepas homocarióticas, evaluar las características de las agallas producidas, con la finalidad de aportar datos científicos de cepas novedosas para el cultivo de agallas con características mejoradas para la producción de huitlacoche. Como resultado de la investigación se aislaron 206 cepas de *U. maydis*, de las cuales 147 (más del 70%) fueron capaces de infectar los jilotes del maíz y producir agallas. De las 147 cepas productoras de agallas, se seleccionaron las que presentaron mayor rendimiento, obteniendo 23 cepas, de las cuales sobresalieron 3 con rendimientos superiores con respecto a las cepas control, híbrido CP-436 X CP-437 (Um-UAEMor-78 = 21.65 RPH, Um-UAEMor-120 = 22.31 RPH y Um-UAEMor-187 = 22.99 RPH).

Estos resultados demuestran que es posible obtener cepas heterocarióticas de *U. maydis* capaces de infectar el jilote en la planta de maíz de manera inducida y formar agallas, generando una alternativa novedosa para la producción de huitlacoche mejorando los rendimientos, así como, las características morfológica de las agallas producidas.

## Tabla de contenido

<b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....	8
<b>II. MARCO TEÓRICO</b> .....	9
2.1 Huitlacoche o Cuitlacoche .....	9
2.2 <i>Ustilago maydis</i> .....	9
2.2.1 Taxonomía .....	10
2.2.2 Ciclo de Vida de <i>Ustilago maydis</i> .....	11
2.2.3 Apareamiento en <i>U. maydis</i> .....	12
2.2.4 Valor Nutricional .....	13
2.2.5 Compuestos que Intervienen en el Sabor de los Hongos .....	14
2.2.6 Factores que Influyen en el Desarrollo del Huitlacoche .....	15
2.2.7 Importancia Económica .....	16
2.2.8 Métodos para la Producción del Huitlacoche.....	16
2.2.9 Susceptibilidad y Resistencia de Maíces a <i>Ustilago maydis</i> .....	17
2.3 Variabilidad Genética.....	17
2.4 Maíz .....	19
2.4.1 Taxonomía .....	20
2.4.2 Estructura de la Planta del Maíz .....	20
2.4.3 Etapas del Desarrollo de la Planta del Maíz.....	21
<b>III. JUSTIFICACIÓN</b> .....	24
<b>IV. OBJETIVOS</b> .....	25
<b>4.1 Objetivo General</b> .....	25

<b>4.2 Objetivos Específicos</b> .....	25
<b>V. HIPÓTESIS</b> .....	25
<b>VI. MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	25
6.1 Material biológico.....	25
6.2 Medios y condiciones para el cultivo de <i>Ustilago maydis</i> .....	26
6.2.1 Mantenimiento de las cepas .....	26
6.2.2 Cultivo sólido papa dextrosa agar (PDA) .....	26
6.2.3 Cultivo líquido extracto de malta (EM) .....	26
6.3 Producción del inóculo de <i>Ustilago maydis</i> .....	26
6.3.1 Elaboración de preinóculo .....	26
6.3.2 Elaboración del inóculo .....	27
6.4 Aislamiento de unidades formadoras de colonias de <i>Ustilago maydis</i> .....	27
6.5 Aislamiento de unidades formadoras de colonias de <i>Ustilago maydis</i> provenientes del estadio del ciclo celular en la producción de teliosporas jóvenes .....	27
6.5.1 Identificación visual de las cepas con posible doble carga genética (cepas heterocarióticas) .....	28
6.6 Proceso de inoculación de las plantas de maíz.....	28
6.6.1 Estadio de crecimiento de la floración femenina al momento de realizar la inoculación ....	28
6.6.2 Análisis de los parámetros como grado de severidad, porcentaje de infección, rendimiento y producción.....	30
6.7 Análisis de los datos.....	31
<b>VII. RESULTADOS</b> .....	31

7.1 Aislamiento de unidades formadoras de colonias de <i>Ustilago maydis</i> provenientes del estadio celular en la producción de teliosporas jóvenes.....	31
7.1.2 Análisis preliminar de las cepas heterocarióticas de <i>Ustilago maydis</i> .....	37
7.1.3 Evaluación de las 23 cepas heterocarióticas (n+n) de <i>Ustilago maydis</i> seleccionadas capaces de producir agallas en el jilote del maíz .....	49
<b>VIII. DISCUSIÓN.....</b>	<b>56</b>
<b>IX. CONCLUSIONES .....</b>	<b>58</b>
<b>X. PERSPECTIVAS .....</b>	<b>58</b>
<b>XI. REFERENCIAS .....</b>	<b>59</b>

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** *El cultivo de maíz, frijol y amaranto en el códice Florentino, Libro X, lamina 192.*
- Figura 2.** *Infección de U. maydis en hojas de maíz.*
- Figura 3.** *Ciclo de vida de Ustilago maydis, agente causal del carbón del maíz.*
- Figura 4.** *Esquema ilustrativo del proceso que origina heterocariosis en los hongos.*
- Figura 5.** *Esquema ilustrativo del proceso del parasexualismo en hongos.*
- Figura 6.** *Fragmento del mural dedicado al maíz.*
- Figura 7.** *Etapas fenológicas de la fase vegetativa y reproductiva del maíz.*
- Figura 8.** *Apreciación del jilote en etapa de desarrollo R1, ideal para su inoculación.*
- Figura 9.** *Inoculación en el jilote de la planta de maíz.*
- Figura 10.** *Aspectos morfológicos de las cepas aisladas.*
- Figura 11.** *Identificación de promicelio en las cepas aisladas.*
- Figura 12.** *Floración femenina infectada con cepas aisladas de agallas blancas.*
- Figura 13.** *Muestra representativa de la morfología de las agallas producidas de las 206 cepas aisladas.*
- Figura 14.** *Diversidad morfológica de mazorcas y agallas infectadas con las cepas aisladas.*
- Figura 15.** *Grado de severidad en las mazorcas infectadas.*
- Figura 16.** *Mazorcas infectadas con las cepas que presentaron mayor rendimiento.*
- Figura 17.** *Mazorca infectada con la cepa comercial CP-436 X CP-437.*

## LISTA DE TABLAS

- Tabla 1.** *Clasificación taxonómica de Ustilago maydis.*
- Tabla 2.** *Contenido ácidos grasos del huitlacoche.*
- Tabla 3.** *Compuestos que intervienen en el sabor de los hongos.*
- Tabla 4.** *Descripción de las etapas en el desarrollo de la planta de maíz.*
- Tabla 5.** *Criterios y categorización de la Severidad de la cepa de acuerdo con el porcentaje de cobertura presente en la mazorca.*
- Tabla 6.** *Registro de los aspectos morfológicos de las 206 cepas.*
- Tabla 7.** *Resultados de la infección en campo de las 206 cepas.*
- Tabla 8.** *Resultados de las 206 cepas probadas en campo con 4 repeticiones.*
- Tabla 9.** *Resultados de 23 cepas seleccionadas y de la cepa comercial CP 436 X 437.*

## I. INTRODUCCIÓN

En México, desde la época de los aztecas se consume el cuitlacoche o huitlacoche como se conoce actualmente; la palabra se deriva del náhuatl y su significado es: “suciedad dormida” o “suciedad del cuervo”, el huitlacoche aparece en el maíz en forma de agallas o tumores que se forman en las mazorcas por la acción de *Ustilago maydis* (Paredes y Valverde, 2006). Debido a la alta demanda del huitlacoche, se ha motivado el desarrollo de diversos estudios, principalmente pruebas en las diferentes variedades de maíz, con la finalidad de lograr su producción a gran escala. Las evaluaciones se han enfocado en conocer la susceptibilidad de variedades de maíz y la etapa adecuada de la planta para la inoculación artificial, las condiciones ambientales óptimas para su desarrollo y la patogenicidad del hongo (INTAGRI, 2017).

A causa de los avances obtenidos en las técnicas de inoculación y a la indagación en variedades de maíz susceptibles a *U. maydis*, es posible evaluar la efectividad de la infección en plantas inoculadas de manera artificial, decretando parámetros cuantitativos como grado de severidad, rendimiento por planta infectada, rendimiento por planta inoculada, índice de severidad, porcentaje de incidencia e índice de selección por productividad del hongo (Martínez, Villanueva y Sahagún, 2000).

Por otra parte, el escaso trabajo en el desarrollo de nuevas cepas de *Ustilago maydis* no ha sido estudiado ampliamente, principalmente por los problemas de heterototalidad en esta especie, lo cual abre una posibilidad de estudio en esta área, desaprovechando los mecanismos naturales de los basidiomicetos para generar células con doble carga genética (heterocariónes).

Es por ello, que el objetivo de este trabajo es obtener cepas heterocarióticas (n+n) de *Ustilago maydis* capaces de generar agallas en la mazorca de maíz sin recurrir al apareamiento de cepas homocariónicas, así mismo generar una metodología para el aislamiento de cepas que puedan presentar doble carga genética, con la finalidad de aportar información en el impacto de cepas en el cultivo de huitlacoche.



## II. MARCO TEÓRICO

### 2.1 Huitlacoche o Cuitlacoche

El huitlacoche por ser un hongo patógeno del maíz, se le considera originario de Mesoamérica, debido a que su hospedante fue domesticado en ese lugar. El término de huitlacoche o cuitlacoche es proveniente de la palabra náhuatl “*Cuitlacochoin* o *Cuitlacuchin*” el cual significa *«deformación en la mazorca»*, la expresión se deriva del *Cuitlatl* significa suciedad, y *cochi* es negro u oscuro (Siméon, 1977). Dentro de la diversidad de expresiones en la lengua náhuatl también se le conoce como “suciedad dormida” o “suciedad de cuervo” (Paredes y Valverde, 2006).

El huitlacoche es un hongo comestible que ha sido consumido desde la época prehispánica (figura 1), se puede encontrar una gran variedad de nutrientes que son benéficos para la salud. Y no sólo es utilizado como alimento, sino que también tiene un uso muy diverso dentro de los sistemas etnomédicos de México (Méndez *et al.*, 2008).

El huitlacoche forma parte de la diversidad tanto gastronómica como cultural por su exquisito sabor y su aspecto, el cual ha llamado la atención de muchos extranjeros que visitan nuestro país. La popularidad de este hongo como comida típica mexicana de origen prehispánico ha rebasado las fronteras de México (Paredes *et al.*, 2013).



**Figura 1.** El cultivo de maíz, frijol y amaranto en el código Florentino, Libro X, lamina 192.

Nota. Adaptado de *El código de maíz, frijol y amaranto* en el código Florentino, Libro X 192.

(<http://www.mediateca.inah.gob.mx/repositorio/islandora/object/fotografia%3A282633>)

### 2.2 *Ustilago maydis*

*Ustilago maydis* es un hongo patógeno biotrófico específico de *Zea mays* (maíz) y del teocintle (*Zea mays* spp. *parviglumis*) siendo el agente causal del “huitlacoche o carbón común”, (Ruiz, 2008). *U. maydis* se presenta dañando las plantas y disminuyendo la producción del maíz, formando agallas o tumores en diversas partes de la planta; principalmente en jilotes,

hojas, tallos y espigas (figura 2). Aparece con mayor frecuencia en las áreas cálidas y moderadamente secas; ocasionando daños graves en las variedades susceptibles, principalmente en maíz dulce (Agrios, 2002).



**Figura 2.** Infección de *U. maydis* en hojas de maíz.

*Nota.* En la figura se muestra la infección de *U. maydis* en las hojas de la mazorca.

*Fotografía:* Hernández, D. (2021)

### 2.2.1 Taxonomía

*Ustilago maydis* es un hongo basidiomiceto, dimórfico con una fase haploide, levaduriforme no patogénica y una fase filamentosa dicariótica (hifal) único estadio patogénico del hongo que induce la enfermedad conocida como “carbón común del maíz” o “cuitlacoche”. *Ustilago maydis* perteneciente al subfilum Ustilaginomicotina, clase Ustilaginomicetos, en la cual las especies no desarrollan cuerpos fructíferos (basidiocarpos), son las estructuras multicelulares en la que se produce el himenio, del cual se forman las basidiósporas (Ruiz-Herrera *et al.*, 1999. James *et al.*, 2006). En la tabla 1 se muestra la clasificación taxonómica de *Ustilago maydis* (Paredes y Valverde, 1999).

**Tabla 1.***Clasificación taxonómica de Ustilago maydis.*

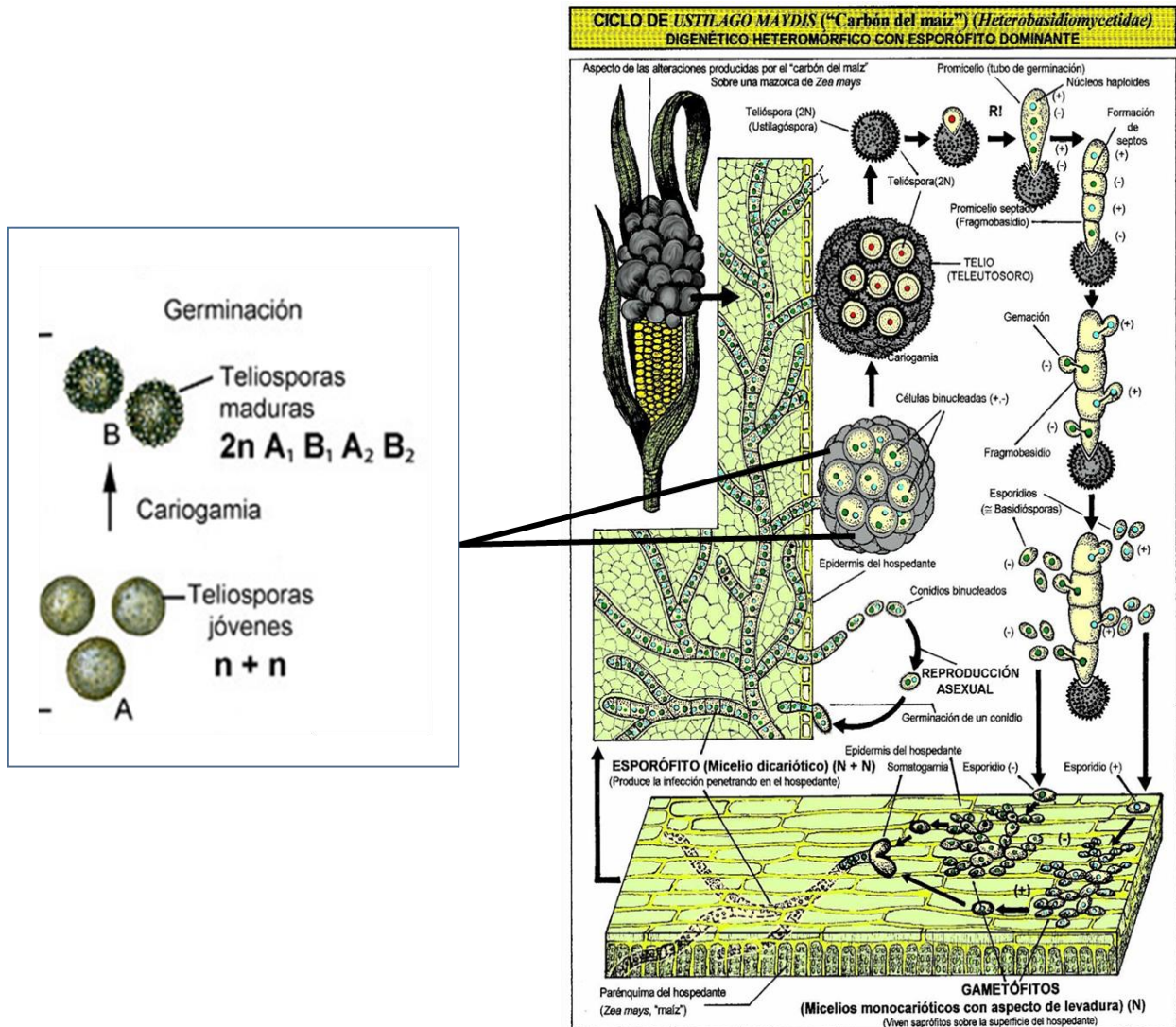
TAXÓN		CARACTERÍSTICAS
Reino	Fungi	Eucariótica. Pared celular. Heterótrofos.
Subreino	Eumycota	No se adapta a sistemas acuáticos.
Rama	Amastigomycota	Es fundamental para la dispersión aérea de sus esporas.
Filo	Basidiomycota	Poseen hifas septadas dicarióticas.
Clase	Basidiomycetes	Formación de basidios, meiosporangios que producen basidiósporas exógenas, uninucleadas y haploides.
Subclase	Heterobasidiomycetidae	El basidiocarpo está ausente.
Orden	Ustilaginales	Ataca principalmente a las estructuras reproductoras. Producen poco micelio. Promicelio septado transversalmente. Basidiósporas terminales y transversales.
Familia	Ustilaginaceae	Soros con teliosporas café oscuro o negras.
Género	<i>Ustilago</i>	Esporas lisas, con espinas o reticuladas.
Especie	<i>maydis</i>	Ataca al maíz y al teocintle.

Tomado de Paredes y Valverde (1999).

### 2.2.2 Ciclo de Vida de *Ustilago maydis*

Dentro de los tumores o soros, las hifas producen teliosporas que son células redondas haploides, rodeadas por una simple o doble pared celular ornamentada (Ruiz-Herrera *et al.*, 1999) (James *et al.*, 2006). El ciclo de vida de *Ustilago maydis* da inicio en cuanto las teliosporas germinan produciendo basidiósporas mostrando un crecimiento en forma de levadura, éstas se multiplican por gemación y son saprofíticas, nombrando a ésta como la primera fase. En la segunda fase micelial y patogénica se inicia con el apareamiento de las dos células que comportan el loci de apareamiento *a* y *b* compatibles, provocando una inhibición de la gemación y la formación de filamentos delgados que se dirigen del uno hacia el otro, por una acción quimiotrópica para finalmente fusionarse en el extremo apical para formar el micelio dicariótico infeccioso, el cual continua su crecimiento y es capaz de invadir a un huésped susceptible a través de aberturas naturales, por los estomas, por los órganos florales, o activamente formando un apresorio (Ruiz, 2008).

Cuando las agallas comienzan a madurar se rompen liberando millones de teliosporas al medio ambiente, cayendo al suelo, las teliosporas son esporas de resistencia, y son equivalentes a las semillas de las plantas; quedan bajo el suelo durante los meses de sequía y germinan al empezar las lluvias (Valadez *et al.*, 2015). Según Agrios (2002), las teliosporas se mantienen viables por muchos años (figura 3).



**Figura 3.** Ciclo de vida de *Ustilago maydis*, agente causal del carbón del maíz.

Nota. Figura 378. Ciclo de vida de *Ustilago maydis* (Heterobasidiomycetes) Autor. Ulloa (1990) Recuperado de <http://unibio.unam.mx/irekani/handle/123456789/32049?mode=full&proyecto=Irekani>

### 2.2.3 Apareamiento en *U. maydis*

El apareamiento en *Ustilago maydis* es de tipo tetrapolar, resultado de la meiosis, proceso del cual surgen cuatro tipos diferentes de basidiósporas, en el sistema tetrapolar

intervienen dos genes, a los cuales se les han denominado *a* y *b*, el “loci” *a* cuenta con dos alelos mientras que el “loci” *b* puede contar con múltiples alelos, la unión de células haploides con diferentes “loci” *a* y *b* dan lugar a la patogénesis. El locus *b* regula las etapas del desarrollo sexual que suele ocurrir después de la fusión de cepas haploides, debido a que el locus *b* es más complejo que *a* (Espinoza *et al.*, 2000). El locus *a* esta implicado en reconocimiento célula-célula (Bolker y Kahmann, 1992). Gobernando el apareamiento y codificando feromonas, los receptores de estas son producidos por la cepa compatible. La heterocigosidad en *a* o *b* no bloquea la reacción del apareamiento (Banuett y Herskowitz, 1989).

#### 2.2.4 Valor Nutricional

El huitlacoche es un hongo comestible de origen mexicano, se ha consumido desde la época prehispánica, tiene un perfil nutrimental muy atractivo. Su sabor es determinado por una extensa gama de compuestos volátiles y no volátiles, algunos compuestos son exclusivos del huitlacoche (Paredes *et al.*, 2013). El huitlacoche contiene carbohidratos del 55.1 al 66.5%, ácidos grasos del 2.7 a 6.5%, minerales, y vitaminas que aportan a su valor nutricional, el contenido de proteínas en base seca varía entre 11.5 y 16.4% gramos/100 gramos (Valverde y Paredes, 1993). Las proteínas en el huitlacoche tienen las cantidades adecuadas de aminoácidos esenciales para la dieta de una persona adulta, pero para la dieta de un niño es deficiente en isoleucina, leucina, treonina y aminoácidos azufrados (Valdez *et al.*, 2009).

En el aporte de minerales y azúcares, el huitlacoche presenta alto contenido de minerales como potasio, calcio, fósforo, magnesio, hierro, zinc, cobre y bajos niveles de sodio (Aydoğdu y Gölükçü, 2017). Salazar *et al.*, (2017), encontraron 27 carbohidratos entre ellos destacan la glucosa, fructosa, glicerol, sorbitol y manitol, el resto de los nutrientes está representado por vitaminas, como la riboflavina, biotina, niacina y ácido fólico, y los metabolitos con capacidad antioxidante. Los oligosacáridos que contiene el huitlacoche tienen altos niveles de rabinosa de 520 a 1505 mg/100g base seca, estaquiosa de 124 a 541 mg/100g base seca y por último la verbascosa, la presencia y la cantidad de los diferentes oligosacáridos depende de las variedades del maíz (Beas *et al.*, 2011). Los altos contenidos de oligosacáridos en el huitlacoche dan una visión del valor nutricional y el efecto farmacológico, ya que dichos compuestos están involucrados en la disminución del colesterol, presión sanguínea y presenta efectos anticancerígenos (Paredes *et al.*, 2006).

El huitlacoche tiene bajos contenidos de grasa saturada y colesterol, presenta altos contenidos de ácidos grasos esenciales (Méndez *et al.*, 2019). De los 11 ácidos grasos que se encuentran en el huitlacoche, el ácido oléico (42-49%), el ácido linoléico (26-29%) y el ácido palmítico presentaron los porcentajes más altos (Aydoğdu y Gölükçü, 2017; tabla 2).

**Tabla 2.** *Contenido ácidos grasos del huitlacoche.*

Ácidos grasos	Content (%)
Ácido mirístico	0.44
Ácido pentadecanoico	0.67
Ácido palmítico	14.79
Ácido palmitoleico	2.10
Ácido margárico	0.51
Ácido esteárico	3.94
Ácido oleico	42.49
Ácido linoleico	26.97
Ácido linolénico	0.84
Ácido araquídico	2.86
Ácido 11-eicosenoico	4.39

Tomado de (Aydoğdu y Gölükçü, 2017).

El alto contenido de fibra dietaría total (FDT) en el huitlacoche equivale a un 54-65%, el contenido de la fibra dietaría insoluble (FDI) de 47 a 49% y la fibra dietaría soluble (FDS) de 8.6 a 12.5%, los niveles de FDT, FDS y FDI en el huitlacoche son elevados y aportan un beneficio importante para la salud, pues disminuye el riesgo de contraer cáncer de colon (Beas *et al.*, 2011).

### 2.2.5 Compuestos que Intervienen en el Sabor de los Hongos

Algunos compuestos solamente los podemos encontrar en el huitlacoche; aún no se han encontrado en otros hongos. En la tabla 3 se presentan algunos compuestos que intervienen en

el sabor de distintos hongos y se puede observar que en el huitlacoche el sabor es determinado por una amplia gama de compuestos volátiles (derivados de ácidos grasos, cetonas, aldehídos, etc.) y no volátiles (aminoácidos libres y carbohidratos) (Paredes *et al.*, 2013).

**Tabla 3.** *Compuestos que intervienen en el sabor de los hongos.*

Compuestos no volátiles	Organismos	
	Nombre científico	Nombre común
AMINOACIDOS LIBRES (alanina, ácido glutámico)	<i>Agaricus bisporus</i>	Champiñón
	<i>Lentinus edodes</i>	Shiitake
	<i>Pleurotus ostreatus</i>	Seta, oyster mushroom, cazahuate
	<i>Ustilago maydis</i>	Huitlacoche cuitlacoche
CARBOHIDRATOS (glucosa, manitol, sacarosa)	<i>Agaricus bisporus</i>	Champiñón
	<i>Lentinus edodes</i>	Shiitake
	<i>Pleurotus ostreatus</i>	Seta, oyster mushroom, cazahuate
	<i>Ustilago maydis</i>	Huitlacoche cuitlacoche
Compuestos volátiles		
DERIVADOS DE ÁCIDOS GRASOS (1-octen-3-ol)	<i>Agaricus bisporus</i>	Champiñón
	<i>Ustilago maydis</i>	Huitlacoche cuitlacoche
	<i>Boletus edulis</i>	Seta
	<i>Cantharellus cibarius</i>	Membrillo
CETONAS [1(2-hidroxi-5-metil-fenil)]	<i>Ustilago maydis</i>	Huitlacoche cuitlacoche
ALDEHÍDOS (octanal, felinalcetaldehído, undecenal, dodecenal)	<i>Ustilago maydis</i>	Huitlacoche cuitlacoche
ÉSTERES (ácido heptadecanoico, metil éster; ácido 9-hexadecanoico, metil éster; ácido linoleico, etil éster; ácido oleico)	<i>Ustilago maydis</i>	Huitlacoche cuitlacoche

Tomado de Paredes *et al.* (2013)

### 2.2.6 Factores que Influyen en el Desarrollo del Huitlacoche

El huitlacoche se puede reproducir en todas las regiones productoras de maíz, siendo más agresivo en climas húmedos y templados que en las tierras bajas tropicales con clima caluroso y húmedo (Castro y Ruiz, 2003). Los campesinos mexicanos han identificado ciertos factores que estimulan la infección de *Ustilago maydis* en el maíz (Paredes *et al.*, 2013).

La interacción entre la temperatura, la humedad relativa y la variedad de maíz, favorecen el desarrollo del hongo *Ustilago maydis*. Estas condiciones climáticas son ambientes con alta humedad relativa (80 %) y temperaturas que van alrededor de 17 a 20 ° C (INTAGRI, 2017).

### 2.2.7 Importancia Económica

El huitlacoche es comercializado tanto por los campesinos el cual lo obtienen de forma natural, así como por los productores que se capacitan para aplicar las nuevas tecnologías en el campo, por lo tanto, su precio es mayor que el maíz en cualquiera de sus presentaciones, pocos agricultores deciden invertir en estas tecnologías para incrementar sus ingresos. La economía de la producción del hongo da inicio en el precio de la manutención de una cosecha de maíz, esta puede variar dependiendo la técnica aplicada para su recolecta, su valor suele aumentar. A esto se le incluye el costo de cosecha, mantenimiento, preparación de inóculos y la inoculación (Tracy *et al.*, 2007).

En México, el huitlacoche lo podemos encontrar en el mercado con un valor que varía de \$15.00 a \$25.00 por kilo, en los meses de agosto y septiembre porque se produce de forma natural, pero fuera de esta temporada su valor suele ser más elevado, aproximadamente \$80.00 por kilo, ya sea completo o desgranado (Valadez *et al.*, 2015).

### 2.2.8 Métodos para la Producción del Huitlacoche

Al conocer la importancia económica y social del huitlacoche a través de los años, los agricultores fueron realizando diferentes técnicas para la producción del huitlacoche, entre ellas destacan: 1) la mezcla de las semillas del maíz con las teliosporas, 2) arrojamiento de las esporas al suelo antes de iniciar la siembra del maíz, 3) el esparcimiento de las esporas en las plantas del maíz cuando el jilote se encuentra pequeño. Las primeras dos técnicas no tuvieron resultados exitosos, sin embargo, la última de ellas sí los presentó, pero no fueron los suficientes para la producción a gran escala (Paredes *et al.*, 2013).

Sin embargo, los métodos diseñados para la producción del huitlacoche se basan en la inyección de cepas de *Ustilago maydis* al jilote en una etapa inicial de reproducción, así mismo,



está comprobado que la inoculación a través del canal de los estigmas es uno de los métodos más eficaces para lograr la infección con *U. maydis* (Castañeda y Leal, 2012).

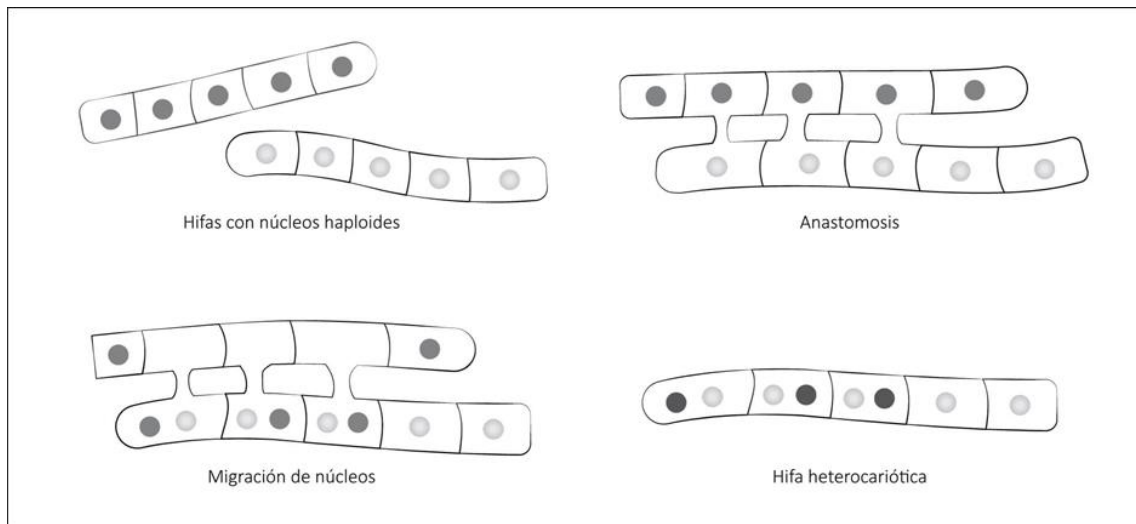
### 2.2.9 Susceptibilidad y Resistencia de Maíces a *Ustilago maydis*

Un estudio realizado por Salazar *et al.*, (2013), tuvo como propósito evaluar la susceptibilidad de 12 variedades de maíz criollas (B2, B3, B4, B5, B6, B7, N8, N9, N10, N11, R12 y R13) y cinco hibridadas (30T26, Oso, Cobra, A7573 y Tigre). Las variables estudiadas fueron: a) Índice de severidad (IS), b) Porcentaje de incidencia (PI) y c) Gramos de mazorcas infectadas (GMI), sus resultados mostraron que el híbrido Oso fue el más susceptible con 3.08 de IS, 133.39 GMI y 14.402 t. ha<sup>-1</sup>; Cobra presentó el mayor PI con 85.83%. De los materiales criollos el que tuvo mayor susceptibilidad fue el B6 con un PI de 66.72%, un IS de 1.23 y 8.522 t. ha<sup>-1</sup> de huitlacoche. Los maíces criollos fueron el B6 y B3 de la raza ancho y el B5 de la raza cacahuacintle fue el más resistente.

### 2.3 Variabilidad Genética

Los mecanismos por los cuales se genera variabilidad genética en los hongos son: recombinación, mutación, herencia citoplasmática, heterocariosis, parasexualismo y heteroploidia.

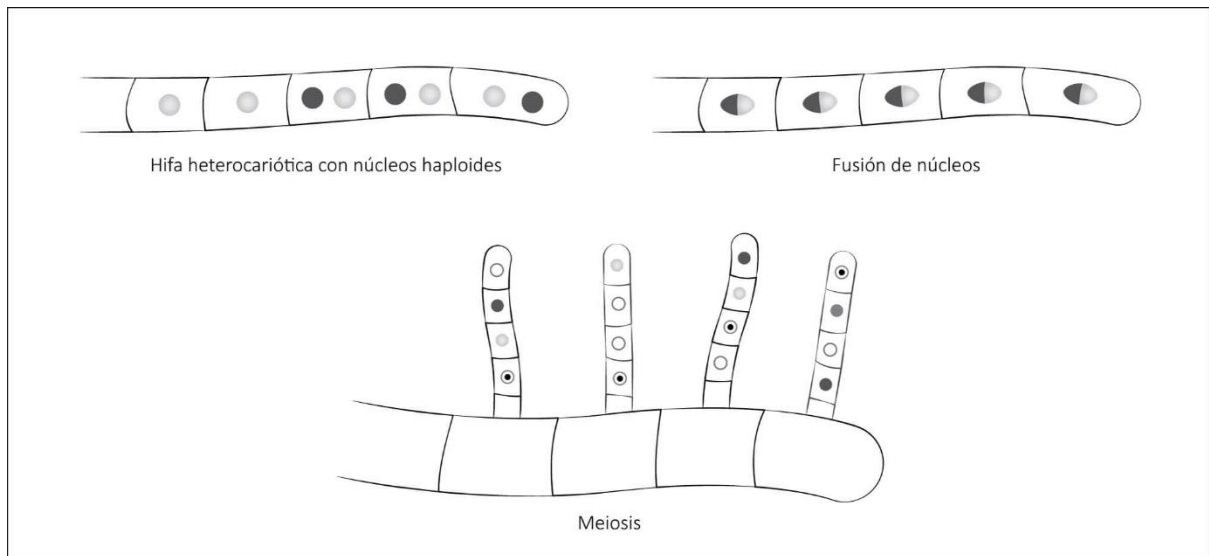
La heterocariosis consiste en la coexistencia de núcleos genéticamente diferentes en un citoplasma común, esta ocurre cuando dos hifas haploides se unen por medio de anastomosis y hay migración nuclear, de tal manera que en una misma hifa o célula quedan dos o más núcleos diferentes (figura 4). Esta condición permite al organismo adquirir características distintas a las producidas por los organismos homocarióticos originales.



**Figura 4.** Esquema ilustrativo del proceso que origina heterocariosis en los hongos.

<https://multimedia.uned.ac.cr/pem/fitopatologia/hongos.html>

El parasexualismo es un proceso generador de variabilidad sin que se midan verdaderos procesos sexuales. Este proceso da inicio con la formación de hifas o células heterocarióticas (núcleos haploides diferentes). Posterior a ello los núcleos se fusionan, originando estados diploides. Comúnmente este estado se perpetua por división mitótica, pero en algunos casos ocurre una meiosis espontánea, dando como resultado recombinaciones de caracteres que dan origen a genotipos distintos a los precursores (figura 5). (Coto, 1999)



**Figura 5.** Esquema ilustrativo del proceso del parasexualismo en hongos.

<https://multimedia.uned.ac.cr/pem/fitopatologia/hongos.html>

## 2.4 Maíz

El cultivo del maíz tuvo su origen con toda probabilidad en América Central, especialmente en México. La evidencia más antigua de la existencia del maíz es de unos 7 000 años de antigüedad, ha sido encontrada por arqueólogos en el valle de Tehuacán (México) pero es posible que hubiese otros centros secundarios de origen en América. Este cereal era un alimento esencial en las civilizaciones mayas y aztecas, tuvo un importante papel en sus creencias religiosas, festividades y nutrición; ambos pueblos incluso afirmaban que la carne y la sangre estaban formadas por maíz (figura 6). El maíz es un cereal empleado desde tiempos ancestrales en la dieta humana y comercializado a gran escala debido a sus componentes nutritivos, dinamización de la economía mundial, y propiedades funcionales. La supervivencia del maíz más antiguo y su difusión se debió a los seres humanos, quienes recogieron las semillas para posteriormente plantarlas (FAO, 1993).

Del maíz se destaca el potencial de los macronutrientes constituyentes que son empleados en diferentes aplicaciones industriales y, además, está arraigado a las costumbres gastronómicas de Latinoamérica (Urango, 2018).



**Figura 6.** Fragmento del mural dedicado al maíz. Autor: Desiderio Hernández Xochitiotzin.

### 2.4.1 Taxonomía

Maíz, palabra de origen indio caribeño, significa literalmente «lo que sustenta la vida». Botánicamente, el maíz (*Zea mays*) pertenece a la familia de las gramíneas y es una planta anual alta dotada de un amplio sistema radicular fibroso.

Reino: Plantae

División: Magnoliophita

Clase: Liliopsida

Subclase: Commelinidae

Orden: Poales

Familia: Poaceae

Subfamilia: Panicoideae

Tribu: Andropogoneae

Género: *Zea*

Especie: *Zea mays*

Fuente: NCBI (2021)

### 2.4.2 Estructura de la Planta del Maíz

El maíz es una planta monoica anual, su tallo es una caña maciza erguida con 8 o más nudos. La altura es muy variada respondiendo a factores genéticos y ambientales. Las hojas son planas, lanceoladas con presencia de lígula, se desarrollan en forma alternada y su inclinación está influenciada por el genotipo. Las flores masculinas se disponen en forma de panoja terminal. La espiga femenina (mazorca) está compuesta y se dispone en forma axilar, cubierta por brácteas foliáceas. Es común en el maíz la brotación de las yemas axilares basales, que dan origen a tallo secundarios o hijuelos que varían según el genotipo (Parera, 2017).

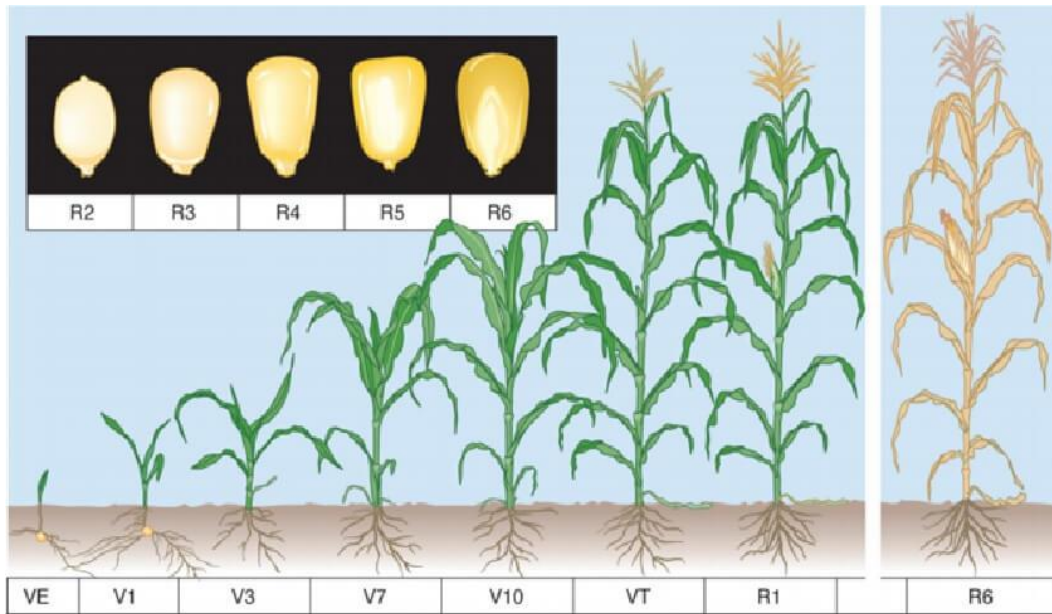
El grano del maíz es un fruto independiente llamado cariósido y está compuesto de tres partes principales: el pericarpio, el endospermo y el embrión. El pericarpio es la parte externa de la semilla, se compone de varias capas de células que actúan como barreras para las

enfermedades y la pérdida de la humedad. El endospermo es la parte de la semilla que acumula las sustancias de reserva para el inicio de la germinación; contiene almidón, minerales, proteínas y otros compuestos que son importantes para la nutrición humana. El embrión se ubica a un costado del grano, se caracteriza por tener un alto contenido de materia grasa. En él se puede distinguir el coleóptilo que dará origen a las primeras hojas y la radícula (Parera, 2017; Urango, 2018).

### 2.4.3 Etapas del Desarrollo de la Planta del Maíz

El desarrollo del maíz se divide en etapas vegetativas (V) y reproductivas (R), marcando las etapas fisiológicas definidas en el desarrollo de la planta. En la figura 7 se puede observar que en la fase vegetativa se desarrollan y diferencian distintos tejidos hasta que aparezcan las estructuras florales. La fase vegetativa está constituida por dos ciclos. En el primero se forman las primeras hojas y el desarrollo es ascendente; en este ciclo, la producción de materia seca es lenta y finaliza con la diferenciación tisular de los órganos de reproducción. En el segundo ciclo se desarrollan las hojas y los órganos de reproducción, este ciclo acaba con la emisión de los estigmas.

La segunda fase es de reproducción, se inicia con la fertilización de las estructuras femeninas que se diferencian en espigas y granos. La etapa inicial de esta fase se caracteriza por el intercambio de peso de las hojas y otras partes de la flor; durante la segunda etapa el peso de los granos aumenta con rapidez (FAO, 1993; tabla 4).



**Figura 7.** *Etapas fenológicas de la fase vegetativa y reproductiva del maíz.*

Fuente: Emerson Nafziger. <https://www.intagri.com/articulos/fitosanidad/la-fenologia-del-maiz-y-su-relacion-con-la-incidencia-de-plagas>

**Tabla 4.***Descripción de las etapas en el desarrollo de la planta de maíz.*

<b>Etapas</b>	<b>DAS*</b>	<b>Características</b>
VE	5	El coleóptilo emerge de la superficie del suelo
V1	9	Es visible el cuello de la primera hoja
V2	12	Es visible el cuello de la segunda hoja
Vn		Es visible el cuello de la hoja número "n". ("n" es igual al número definitivo de hojas que tiene la planta; "n" generalmente fluctúa entre 16 y 22, pero para la floración se habrán perdido las 4 a 5 hojas de más abajo.)
VT	55	Es completamente visible la última rama de la panícula.
R0	57	Antesis o floración masculina. El polen se comienza a arrojar.
R1	59	Son visibles los estigmas.
R2	71	Etapas de ampolla. Los granos se llenan con un líquido claro y se puede ver el embrión.
R3	80	Etapas lechosas. Los granos se llenan con un líquido lechoso blanco.
R4	90	Etapas masosas. Los granos se llenan con una pasta blanca. El embrión tiene aproximadamente la mitad del ancho del grano.
R5	102	Etapas dentadas. La parte superior de los granos se llena con almidón sólido y cuando el genotipo es dentado, los granos adquieren la forma dentada. En los tipos tanto cristalinos como dentados es visible una "línea de leche" cuando se observa el grano desde el costado.
R6	112	Madurez fisiológica. Una capa negra es visible en la base del grano. La humedad del grano es generalmente de alrededor del 35%.

*\* DAS: número aproximado de días después de la siembra en tierras bajas tropicales, donde las temperaturas máxima y mínima pueden ser de 33°C y 22°C, respectivamente. En los ambientes más fríos, se amplían estos tiempos*

Tomado de CONACYT (2022)

### III. JUSTIFICACIÓN

La demanda de alimento con alto valor nutricional, propiedades funcionales y saludables va en aumento, en el caso específico de los hongos los cuales constituyen un recurso con estas características, se buscan constantemente recursos genéticos que satisfagan estas necesidades, además de asegurar una mayor producción y mejorar la calidad del producto. El cultivo de huitlacoche va tomando mayor fuerza en la demanda nacional e internacional, sin embargo, la carencia de recursos genéticos para la mejora del producto es evidente, predominando una sola calidad del producto en los mercados y en algunas ocasiones provocando productos de mala calidad a altos precios.

En el reino de los hongos es común la formación natural de organismos con doble carga genética (organismos heretocarióticos) debido a los procesos evolutivos de reproducción de los hongos, los cuales, en ocasiones, resultan con características notorias al momento de producir los carpóforos, sin embargo, en la naturaleza estos pasan desapercibidos, no logrando aislar o recuperar el recurso biológico. De tal manera, estos mecanismos son capaces de mejorar la industria agroalimentaria.

La demanda por parte de los productores de huitlacoche por cepas mejoradas que les permita obtener mejores rendimientos y características que distinga su producto en los mercados es mayor, por ello, en la presente investigación se pretende generar una metodología rápida para obtener cepas heterocarióticas de *Ustilago maydis* sin necesidad de generar organismos híbridos, analizar la estabilidad de las cepas y evaluar su capacidad productiva de las cepas seleccionadas en campo.



## IV. OBJETIVOS

### 4.1 Objetivo General

Obtener cepas de *Ustilago maydis* capaces de formar agallas en la mazorca de maíz sin recurrir al apareamiento de homocarióticas.

### 4.2 Objetivos Específicos

- Generar una metodología para el aislamiento de cepas que puedan presentar doble carga genética (n+n) conocidas como cepas heterocarióticas.
- Realizar un análisis preliminar de la infección de las cepas aisladas de *Ustilago maydis*.
- Selección de cepas capaces de producir agallas para la producción de huitlacoche.
- Análisis de las cepas seleccionadas cuantificando características como grado de severidad, porcentaje de infección, rendimiento y producción.

## V. HIPÓTESIS

Es posible obtener cepas (n+n) de origen unicelular capaces de generar infección y producción de agallas (huitlacoche) sin necesidad de recurrir a la fusión sexual de cepas compatibles o híbridas.

## VI. MATERIALES Y MÉTODOS

### 6.1 Material biológico

El material biológico fue donado por el Colegio de Postgraduados *Campus* Puebla, y fue recolectado de un cultivo previo que se realizó utilizando el híbrido infectivo CP-436xCP-437, las cuales son capaces de generar agallas. Dicho material, consta de agallas maduras secas y agallas inmaduras con color blanquecino a cremoso.

## 6.2 Medios y condiciones para el cultivo de *Ustilago maydis*

### 6.2.1 Mantenimiento de las cepas

El mantenimiento de las cepas se realiza periódicamente en medio sólido PDA manteniéndolas a  $25^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ , observando al microscopio para descartar la presencia de contaminantes como bacterias, hongos y levaduras. Para las cepas CP-436 y CP-437 (cepas parentales compatibles capaces de producir infección y agallas en la planta de maíz), así como para las cepas aisladas heterocarióticas, se realiza la resiembra de colonias individuales, estriando con ayuda de un asa bacteriológica sobre el medio de cultivo previamente esterilizado, esto asegura la pureza de las cepas.

### 6.2.2 Cultivo sólido papa dextrosa agar (PDA)

Para el cultivo sólido se utilizó el medio de cultivo Papa Dextrosa Agar (PDA) marca BIOXON agregando 39 g/l en agua purificada, la solución fue agitada con un agitador magnético para homogeneizar la mezcla, y se esterilizó a una temperatura de  $120^{\circ}\text{C}$ , por 20 minutos en autoclave, posteriormente, el medio de cultivo fue vertido utilizando cajas Petri estériles utilizando una campana de flujo laminar, posterior a ello fueron incubadas por 48 horas antes de utilizarlas.

### 6.2.3 Cultivo líquido extracto de malta (EM)

Para el medio de cultivo líquido se utilizó 30 g/l de extracto de malta seco no diastásico la cual fue adquirida de la “droguería cosmopolita” la solución fue agitada con un agitador magnético para homogeneizar la mezcla y se esterilizó a una temperatura de  $120^{\circ}\text{C}$ , por 20 minutos en autoclave. El medio de cultivo se incubó por 48 horas antes de ser utilizados.

## 6.3 Producción del inóculo de *Ustilago maydis*

### 6.3.1 Elaboración de preinóculo

El preinóculo se realizó en matraces de 125 ml con 50 ml de medio líquido extracto de malta estéril, el medio fue inoculado tomando de una azada del crecimiento celular en medio de cultivo sólido, los cultivos fueron incubados en agitación constante de 150 revoluciones por minuto (rpm) por 72 horas a  $25^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ .

### 6.3.2 Elaboración del inóculo

En la elaboración del inóculo se utilizaron matraces de 1000 ml con 600 ml de medio líquido extracto de malta, el cual fue inoculado con el 1% del preinóculo, los cultivos fueron incubados a  $25\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$  en agitación constante de 150 rpm por 72 horas. La calidad del inóculo fue realizada por observación al microscopio para descartar la presencia de contaminantes. Para el inóculo final el cultivo fue diluido dos veces (1:2) utilizando agua destilada estéril.

### 6.4 Aislamiento de unidades formadoras de colonias de *Ustilago maydis*

Durante el aislamiento de las unidades formadoras de colonias de *Ustilago maydis*, se ocupó una muestra de hongo seco (agalla deshidratada) y se tomó con ayuda de un asa bacteriológica estéril una muestra de teliosporas, las cuales fueron previamente visualizadas al microscopio, observando sólo la presencia de este tipo de células. La muestra adherida al asa se estrío en una caja de Petri con medio de cultivo PDA y se dejó incubar por 72 horas hasta observar el crecimiento levaduriforme de la colonia. Posteriormente, fue observada al microscopio para atestiguar la presencia de la morfología típica de las basidiósporas (levaduras). La colonia nuevamente fue estriada hasta obtener colonias únicas provenientes de una basidióspora y ésta fue crecida y almacenada hasta su uso.

### 6.5 Aislamiento de unidades formadoras de colonias de *Ustilago maydis* provenientes del estadio del ciclo celular en la producción de teliosporas jóvenes

Para realizar el aislamiento de las unidades formadoras de colonias de *Ustilago maydis* interrumpiendo el ciclo celular de las teliosporas maduras y obtener células con doble carga genética se modificó la metodología, seleccionando en este punto agallas inmaduras provenientes de mazorcas infectadas previamente las cuales presentaban una coloración en masa blanca a crema presentando de 8 a 12 días de haber sido inoculadas. De esta manera, el contenido de la agalla (**telio**) contiene células binucleadas, teliosporas jóvenes heterocariones (N+N) y teliosporas maduras dicariones (2N), las cuales se encuentran en una fase antes de la cariogamia pasando por el proceso de maduración dentro de la agalla hasta alcanzar la maduración necesaria y completar el ciclo de vida. Con ayuda de un asa bacteriológica estéril se toma una muestra contenida de la agalla inmadura, la cual se estría en una caja de Petri con medio de cultivo PDA y se deja incubar por 120 horas hasta observar el crecimiento levaduriforme de la colonia. Posteriormente, es observada al microscopio para atestiguar la presencia de la morfología típica de las basidiósporas (levaduras). En este punto se aislaron

206 colonias o cepas por este método. La colonia nuevamente es estriada hasta obtener colonias únicas provenientes de una basidióspora y esta es crecida y almacenada hasta su uso.

#### 6.5.1 Identificación visual de las cepas con posible doble carga genética (cepas heterocarióticas)

Durante la selección de cepas heterocarióticas, se consideraron las características morfológicas de la reacción fenotipo Fuzz de la metodología de Banuett y Herskowitz (1989), en medio PDA (Difco) más carbón activado (Hycel de México) para notar un contraste entre el medio y la morfología de las colonias. Las cepas heterocarióticas serán aquellas que presenten una morfología de colonia blanca con un aspecto algodonoso, y vista al microscopio se puede observar un crecimiento filamentosos; mientras que las cepas homocarióticas se identifican por la formación de colonias con morfología cremosa, no filamentosas y vista al microscopio se observa un crecimiento levaduriforme.

#### 6.6 Proceso de inoculación de las plantas de maíz

La inoculación se realizó utilizando la metodología desarrollada en el Laboratorio de Micología de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos, inoculando en dos puntos equidistantes de la floración femenina, siguiendo las especificaciones del protocolo desarrollado por el Dr. Isaac Tello Salgado (comunicación personal en el año 2020). El volumen de inoculación fue de 1 ml como lo sugiere el protocolo, directamente en la floración femenina.

##### 6.6.1 Estadio de crecimiento de la floración femenina al momento de realizar la inoculación

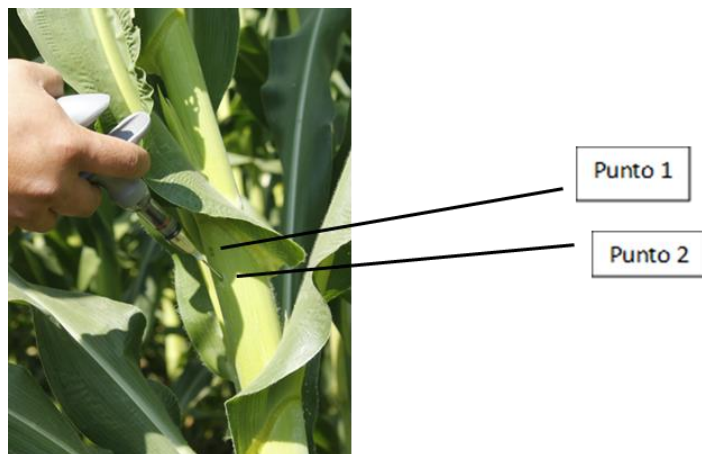
Las plantas utilizadas para la inoculación fueron aquellas que mantenían una aparición de la floración femenina de 6 a 8 días de crecimiento como se observa en la figura 8.

Para la inoculación de los jilotes se utilizó una jeringa semiautomática de 2 ml, realizando dos inyecciones de 0.5 ml en la parte media (figura 9), asegurando que el inóculo se distribuya homogéneamente por el jilote, el volumen final utilizado fue de 1 ml.



**Figura 8.** *Apresiasi del jilote en etapa de desarrollo R1, ideal para su inoculación.*

*Fotografía: Hernández, D. (2022)*



**Figura 9.** *Inoculación en el jilote de la planta de maíz.*

*Nota.* En la imagen se muestra la inoculación del jilote de maíz con 1ml de inoculo en dos puntos equidistantes inyectando 0.5 ml en cada punto.

*Fotografía: Hernández, D. (2022)*

## 6.6.2 Análisis de los parámetros como grado de severidad, porcentaje de infección, rendimiento y producción

Para la medición de severidad (SEVi), se consideró la proporción del elote cubierta con las agallas del hongo como lo menciona Martínez *et al.* (2000) donde se definieron cinco categorías de severidad para el desarrollo de las agallas en el elote (tabla 5).

**Tabla 5.**

*Criterios y categorización de la Severidad de la cepa de acuerdo con el porcentaje de cobertura presente en la mazorca.*

<b>Categoría*</b>	<b>Cobertura de la mazorca por agallas (%)</b>	<b>Criterio de categorización</b>
SEV1	0	Sin presencia de agallas.
SEV2	>0 - 25	Menor o igual a $\frac{1}{4}$ del largo de la mazorca con presencia de agallas.
SEV3	>25 - 50	Mayor a $\frac{1}{4}$ y menor o igual al $\frac{1}{2}$ del largo de la mazorca con presencia de agallas.
SEV4	>50 - 75	Mayor a $\frac{1}{2}$ y menor o igual al $\frac{3}{4}$ del largo de la mazorca con presencia de agallas.
SEV 5	>75 - 100	Mayor a $\frac{3}{4}$ y cobertura total del largo de la mazorca con presencia de agallas.

*Nota.* El porcentaje de incidencia (PI) se obtuvo al dividir el total de elotes infectados de acuerdo con la categoría de severidad en la unidad experimental, entre el total de elotes inoculados multiplicado por 100 (Madrigal *et al.*, 2010).

$$PI = \frac{[(\text{No. Elotes con SEV2}) + \dots + (\text{No. Elotes con SEV5}) \text{ Total de elotes inoculados}]}{100}$$

El índice de severidad (ISE) se obtuvo con base en lo mencionado por Martínez *et al.*, (2000), mediante la expresión:

$ISE = [(NESEV1 * 0) + (NESEV2 * 0.25) + (NESEV3 * 0.50) + (NESEV4 * 0.75) + (NESEV5 * 1.0) \text{ Total de elotes infectados}] \times 100$

*Donde:*

PI= Porcentaje de incidencia

ISE= Índice de severidad

NE SEVi= número de elotes para cada categoría de severidad.

Los rendimientos potenciales por hectárea de huitlacoche se calcularon mediante:

$RPH = [(PI \times \text{Densidad de siembra}) \times (GMI)] / 1000$

*Donde:*

RPH: Rendimiento potencial de huitlacoche por hectárea (Kg. ha-1).

PI: Porcentaje de incidencia.

GMI: Gramos por mazorca infectada.

DS: Densidad de siembra utilizada en Nopalucan de la Granja (60,000 Plantas X ha-1).

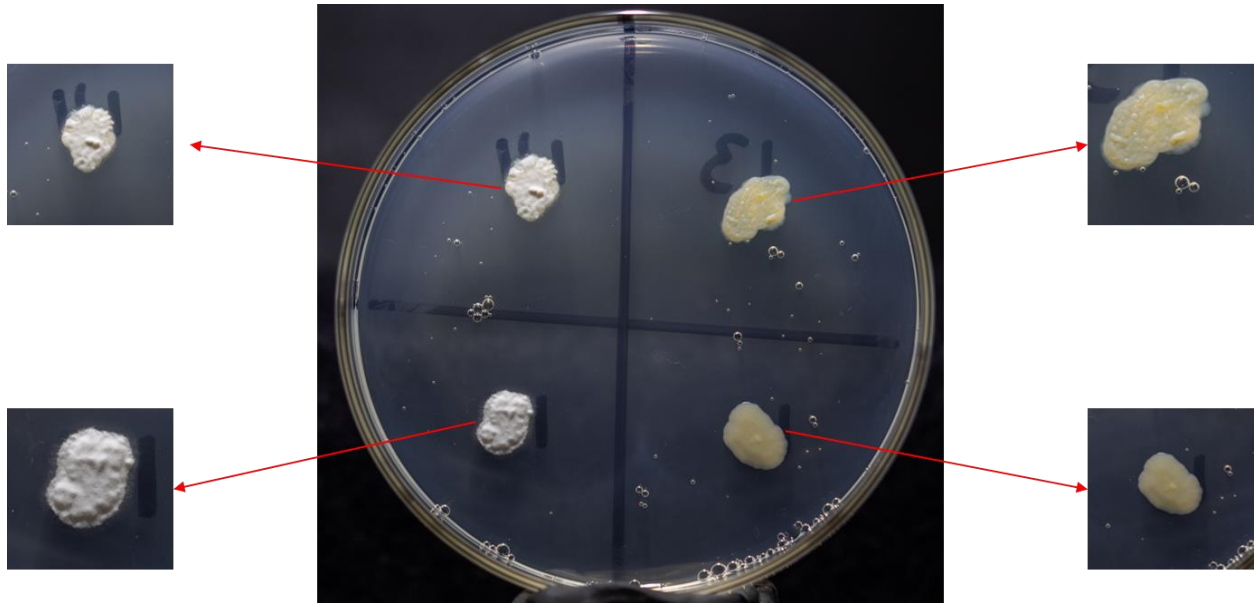
## 6.7 Análisis de los datos

Para manejo de los datos, se utilizó la prueba de análisis de varianza (ANOVA) completamente al azar de bloques ya que las pruebas fueron realizadas en distintos puntos del municipio. El porcentaje de error fue del 5% con un valor de  $\alpha$  de 0.5 utilizado en pruebas biológicas. Para distinguir las diferencias entre grupos se utilizó una prueba de medias con el criterio de Tukey.

## VII. RESULTADOS

### 7.1 Aislamiento de unidades formadoras de colonias de *Ustilago maydis* provenientes del estadio celular en la producción de teliosporas jóvenes

La aplicación de la metodología modificada para la obtención de Unidades formadoras de colonias provenientes de las agallas del huitlacoche mostró la obtención de colonias con aspectos morfológicos variados (figura 10) predominando el aspecto de colonias blanquecinas, algodonosas y con aparición de promicelio, logrando aislar un total de 206 colonias provenientes de diferentes agallas en estadio inmaduro (figura 11). Las colonias fueron caracterizadas por color, presencia y ausencia de promicelio y aspecto rugoso o liso. Como se muestra en la tabla 6.

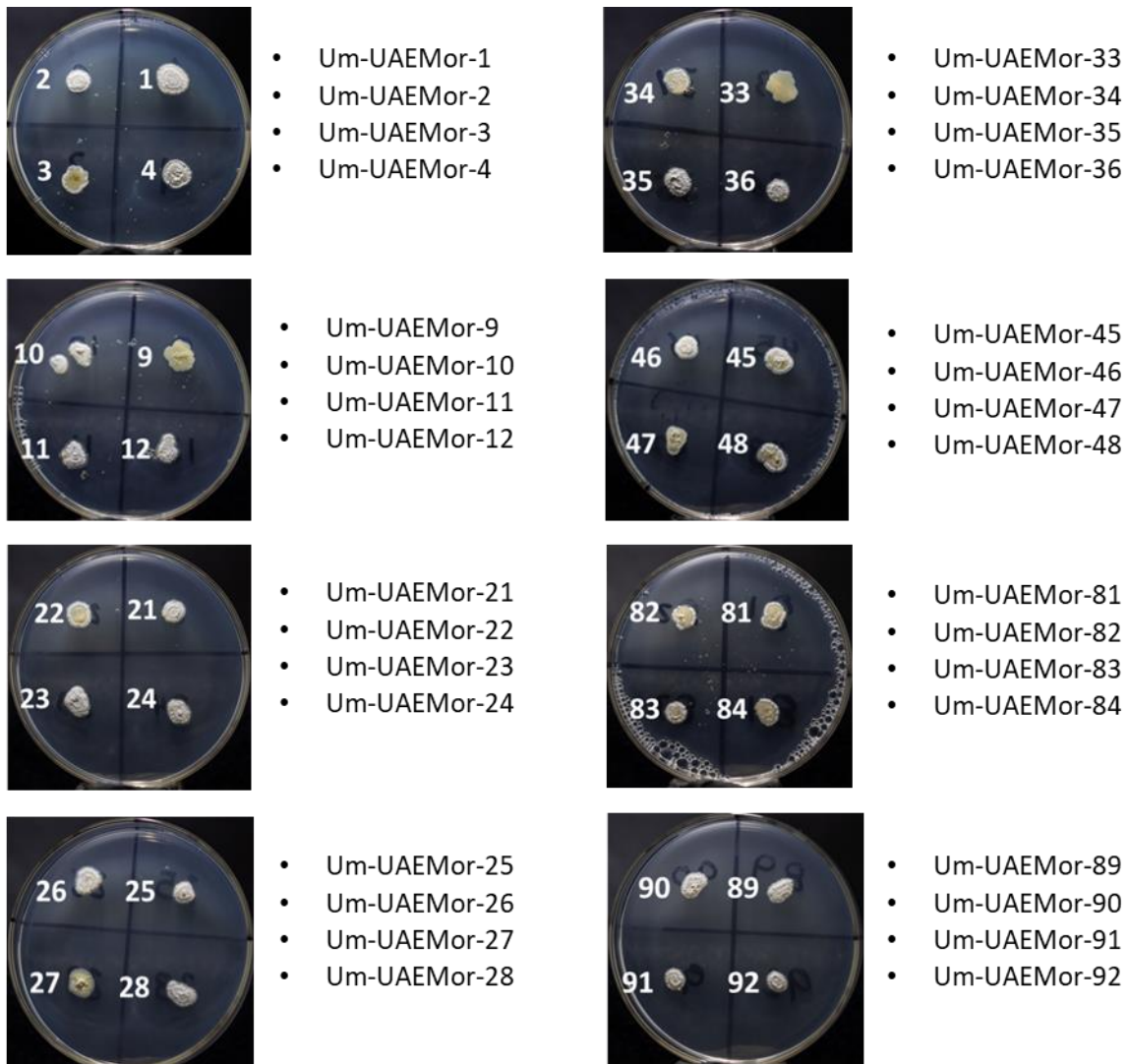


**Figura 10.** Aspectos morfológicos.

*Nota.* En la imagen se muestran distintas morfologías de *U. maydis*. A: presencia de promicelio y aspecto rugoso. B: ausencia de promicelio, aspecto rugoso y color crema. C: presencia de promicelio y aspecto rugoso. D: ausencia de promicelio, aspecto liso y color crema.

*Fotografía:* Cruz, L. (2022)





**Figura 11.** Identificación de promicelio en las cepas aisladas.

*Nota.* Representación fotográfica de las colonias aisladas. Cada imagen contiene cuatro cepas en su mayoría presentan promicelio, los números asignados en la imagen corresponden al número de cepa (Um= *Ustilago maydis*. UAEMor: Universidad Autónoma del Estado de Morelos.)

*Fotografía:* Cruz, L. (2022)

**Tabla 6.**  
*Registro de los aspectos morfológicos de las 206 cepas.*

Cepa	Color	Promicelio	
		(presencia)	Aspecto (liso-rugoso)
UM-UAEM-1	cremoso	si	Rugoso
UM-UAEM-2	cremoso	si	Rugoso
UM-UAEM-3	cremoso	si	Rugoso
UM-UAEM-4	cremoso	si	Rugoso
UM-UAEM-5	cremoso	no	Liso
UM-UAEM-6	cremoso	si	rugoso
UM-UAEM-7	cremoso	no	liso
UM-UAEM-8	cremoso	si	rugoso
UM-UAEM-9	cremoso	no	liso
UM-UAEM-10	cremoso	si	rugoso
UM-UAEM-11	cremoso	si	rugoso
UM-UAEM-12	cremoso	si	rugoso
UM-UAEM-13	cremoso	no	liso
UM-UAEM-14	cremoso	si	rugoso
UM-UAEM-15	cremoso	si	rugoso
UM-UAEM-16	cremoso	no	liso
UM-UAEM-17	cremoso	si	rugoso
UM-UAEM-18	cremoso	si	rugoso
UM-UAEM-19	cremoso	si	liso
UM-UAEM-20	cremoso	si	rugoso
UM-UAEM-21	cremoso	si	rugoso
UM-UAEM-22	cremoso	si	liso
UM-UAEM-23	cremoso	si	rugoso
UM-UAEM-24	cremoso	si	rugoso
UM-UAEM-25	cremoso	si	rugoso
UM-UAEM-26	cremoso	si	rugoso
UM-UAEM-27	cremoso	si	rugoso
UM-UAEM-28	cremoso	si	rugoso
UM-UAEM-29	cremoso	no	liso
UM-UAEM-30	cremoso	si	rugoso
UM-UAEM-31	cremoso	si	rugoso
UM-UAEM-32	cremoso	si	rugoso
UM-UAEM-33	cremoso	no	liso
UM-UAEM-34	cremoso	si	rugoso
UM-UAEM-35	cremoso	si	rugoso
UM-UAEM-36	cremoso	si	rugoso
UM-UAEM-37	cremoso	no	rugoso
UM-UAEM-38	cremoso	si	rugoso
UM-UAEM-39	cremoso	si	rugoso
UM-UAEM-40	cremoso	no	rugoso
UM-UAEM-41	cremoso	no	liso
UM-UAEM-42	cremoso	si	rugoso
UM-UAEM-43	cremoso	si	rugoso
UM-UAEM-44	cremoso	no	liso
UM-UAEM-45	cremoso	si	rugoso
UM-UAEM-46	cremoso	si	rugoso
UM-UAEM-47	cremoso	si	rugoso
UM-UAEM-48	cremoso	si	rugoso
UM-UAEM-49	cremoso	no	liso
UM-UAEM-50	cremoso	si	rugoso
UM-UAEM-51	cremoso	si	rugoso
UM-UAEM-52	cremoso	no	liso
UM-UAEM-53	cremoso	si	rugoso

UM-UAEM-54	cremoso	no	rugoso
UM-UAEM-55	cremoso	si	rugoso
UM-UAEM-56	cremoso	no	rugoso
UM-UAEM-57	cremoso	no	liso
UM-UAEM-58	cremoso	si	rugoso
UM-UAEM-59	cremoso	si	rugoso
UM-UAEM-60	cremoso	no	liso
UM-UAEM-61	cremoso	si	rugoso
UM-UAEM-62	cremoso	no	liso
UM-UAEM-63	cremoso	no	liso
UM-UAEM-64	cremoso	no	liso
UM-UAEM-65	cremoso	no	liso
UM-UAEM-66	cremoso	no	liso
UM-UAEM-67	cremoso	no	liso
UM-UAEM-68	cremoso	si	rugoso
UM-UAEM-69	cremoso	no	liso
UM-UAEM-70	cremoso	si	rugoso
UM-UAEM-71	cremoso	no	liso
UM-UAEM-72	cremoso	no	liso
UM-UAEM-73	cremoso	no	liso
UM-UAEM-74	cremoso	si	rugoso
UM-UAEM-75	cremoso	no	liso
UM-UAEM-76	cremoso	no	rugoso
UM-UAEM-77	cremoso	si	rugoso
UM-UAEM-78	cremoso	si	liso
UM-UAEM-79	cremoso	si	rugoso
UM-UAEM-80	cremoso	si	rugoso
UM-UAEM-81	cremoso	si	rugoso
UM-UAEM-82	cremoso	si	rugoso
UM-UAEM-83	cremoso	si	rugoso
UM-UAEM-84	cremoso	si	rugoso
UM-UAEM-85	cremoso	si	rugoso
UM-UAEM-86	cremoso	si	rugoso
UM-UAEM-87	cremoso	no	liso
UM-UAEM-88	cremoso	no	liso
UM-UAEM-89	cremoso	si	rugoso
UM-UAEM-90	cremoso	si	rugoso
UM-UAEM-91	cremoso	si	rugoso
UM-UAEM-92	cremoso	si	rugoso
UM-UAEM-93	cremoso	si	rugoso
UM-UAEM-94	cremoso	si	liso
UM-UAEM-95	cremoso	si	rugoso
UM-UAEM-96	cremoso	si	rugoso
UM-UAEM-97	cremoso	no	rugoso
UM-UAEM-98	cremoso	no	liso
UM-UAEM-99	cremoso	no	rugoso
UM-UAEM-100	cremoso	no	rugoso
UM-UAEM-101	cremoso	no	liso
UM-UAEM-102	cremoso	no	rugoso
UM-UAEM-103	cremoso	no	rugoso
UM-UAEM-104	cremoso	no	liso
UM-UAEM-105	cremoso	si	rugoso
UM-UAEM-106	cremoso	si	rugoso
UM-UAEM-107	cremoso	no	rugoso
UM-UAEM-108	cremoso	no	rugoso
UM-UAEM-109	cremoso	si	rugoso
UM-UAEM-110	cremoso	si	rugoso
UM-UAEM-111	cremoso	si	rugoso
UM-UAEM-112	cremoso	si	rugoso
UM-UAEM-113	cremoso	si	rugoso
UM-UAEM-114	cremoso	no	liso
UM-UAEM-115	cremoso	no	liso
UM-UAEM-116	cremoso	si	rugoso

UM-UAEM-117	cremoso	si	liso
UM-UAEM-118	cremoso	si	liso
UM-UAEM-119	cremoso	si	rugoso
UM-UAEM-120	cremoso	si	liso
UM-UAEM-121	sin datos	-	
UM-UAEM-122	cremoso	si	rugoso
UM-UAEM-123	cremoso	si	rugoso
UM-UAEM-124	cremoso	si	rugoso
UM-UAEM-125	cremoso	no	liso
UM-UAEM-126	cremoso	si	rugoso
UM-UAEM-127	cremoso	no	liso
UM-UAEM-128	cremoso	si	rugoso
UM-UAEM-129	cremoso	no	liso
UM-UAEM-130	cremoso	si	rugoso
UM-UAEM-131	cremoso	si	rugoso
UM-UAEM-132	cremoso	si	rugoso
UM-UAEM-133	cremoso	si	rugoso
UM-UAEM-134	cremoso	si	rugoso
UM-UAEM-135	cremoso	si	rugoso
UM-UAEM-136	cremoso	si	rugoso
UM-UAEM-137	cremoso	si	rugoso
UM-UAEM-138	cremoso	si	rugoso
UM-UAEM-139	cremoso	si	rugoso
UM-UAEM-140	cremoso	si	rugoso
UM-UAEM-141	cremoso	si	rugoso
UM-UAEM-142	cremoso	si	rugoso
UM-UAEM-143	cremoso	no	rugoso
UM-UAEM-144	cremoso	no	liso
UM-UAEM-145	cremoso	no	rugoso
UM-UAEM-146	cremoso	no	rugoso
UM-UAEM-147	cremoso	si	rugoso
UM-UAEM-148	cremoso	si	rugoso
UM-UAEM-149	cremoso	si	rugoso
UM-UAEM-150	cremoso	no	rugoso
UM-UAEM-151	cremoso	si	rugoso
UM-UAEM-152	cremoso	si	rugoso
UM-UAEM-153	cremoso	no	rugoso
UM-UAEM-154	cremoso	si	rugoso
UM-UAEM-155	cremoso	si	rugoso
UM-UAEM-156	cremoso	si	rugoso
UM-UAEM-157	cremoso	si	rugoso
UM-UAEM-158	cremoso	si	rugoso
UM-UAEM-159	cremoso	si	rugoso
UM-UAEM-160	cremoso	si	rugoso
UM-UAEM-161	cremoso	si	rugoso
UM-UAEM-162	cremoso	si	rugoso
UM-UAEM-163	cremoso	si	rugoso
UM-UAEM-164	cremoso	si	rugoso
UM-UAEM-165	cremoso	si	rugoso
UM-UAEM-166	cremoso	no	rugoso
UM-UAEM-167	cremoso	si	rugoso
UM-UAEM-168	cremoso	no	rugoso
UM-UAEM-169	cremoso	no	rugoso
UM-UAEM-170	cremoso	si	rugoso
UM-UAEM-171	cremoso	no	liso
UM-UAEM-172	cremoso	si	rugoso
UM-UAEM-173	cremoso	no	rugoso
UM-UAEM-174	cremoso	no	rugoso
UM-UAEM-175	cremoso	si	rugoso
UM-UAEM-176	cremoso	si	rugoso
UM-UAEM-177	cremoso	si	rugoso
UM-UAEM-178	cremoso	si	rugoso
UM-UAEM-179	cremoso	si	rugoso

UM-UAEM-180	cremoso	si	rugoso
UM-UAEM-181	cremoso	si	rugoso
UM-UAEM-182	cremoso	si	rugoso
UM-UAEM-183	cremoso	si	rugoso
UM-UAEM-184	cremoso	si	rugoso
UM-UAEM-185	cremoso	si	rugoso
UM-UAEM-186	cremoso	si	rugoso
UM-UAEM-187	cremoso	no	liso
UM-UAEM-188	cremoso	no	rugoso
UM-UAEM-189	cremoso	no	rugoso
UM-UAEM-190	cremoso	no	liso
UM-UAEM-191	cremoso	si	rugoso
UM-UAEM-192	cremoso	si	rugoso
UM-UAEM-193	cremoso	si	rugoso
UM-UAEM-194	cremoso	si	rugoso
UM-UAEM-195	cremoso	no	rugoso
UM-UAEM-196	cremoso	si	rugoso
UM-UAEM-197	cremoso	si	rugoso
UM-UAEM-198	cremoso	si	rugoso
UM-UAEM-199	cremoso	si	rugoso
UM-UAEM-200	cremoso	si	rugoso
UM-UAEM-201	cremoso	si	rugoso
UM-UAEM-202	cremoso	si	rugoso
UM-UAEM-203	cremoso	no	rugoso
UM-UAEM-204	cremoso	no	rugoso
UM-UAEM-205	cremoso	no	Rugoso
UM-UAEM-206	cremoso	no	Rugoso

*Nota.* En la tabla se presentan los resultados de la identificación visual de las 206 cepas aisladas de agallas blancas (UM-UAEMor-N.= Um: *Ustilago maydis*, UAEMor: Universidad Autónoma del Estado de Morelos, N: número de cepa.)

### 7.1.2 Análisis preliminar de las cepas heterocarióticas de *Ustilago maydis*

Las 206 cepas fueron analizadas, evaluando su capacidad de infección y grado de infección, así como aspectos morfológicos de las agallas producidas. De las 206 cepas aisladas 147 cepas fueron capaces de producir agallas en la floración femenina, en la figura 12 se muestran imágenes de mazorcas infectadas con un grado de severidad del 100%, la coloración de las agallas va de blanco a gris claro.

Las características sobresalientes de las mazorcas infectadas al transcurrir el tiempo de maduración de las agallas posterior a los 21 días fueron: tamaño y coloración de la agalla producida, desarrollo de la mazorca infectada y firmeza de las agallas producidas, los resultados se muestran en la tabla 7.



• Um-UAEMor-62



• Um-UAEMor-5



• Um-UAEMor-85



• Um-UAEMor-128



• Um-UAEMor-91



• Um-UAEMor-120

**Figura 12.** Floración femenina infectada con cepas aisladas de agallas blancas.

*Nota.* Mazorcas infectadas con cepas aisladas de agallas blancas.

*Fotografía:* Hernández, D. (2022)

**Tabla 7.**

*Resultados de la infección en campo de las 206 cepas.*

Cepa	Muestra				Plantas inoculadas	Plantas infectadas	PI	GS	ISE	Agallas chicas (< a 1.5) o grandes (> a 1.5)	Color de las agallas
	1	2	3	4							
UM-UAEM-1	I	I	X	I	4	3	75	G4	75	Chicas	Gris
UM-UAEM-2	X	I	I	X	4	2	50	G2	50	Chicas	Gris
UM-UAEM-3	I	I	I	I	4	4	100	G1	100	Chicas	Blanco
UM-UAEM-4	I	I	X	I	4	3	75	G4	75	Chicas	Gris
UM-UAEM-5	X	X	I	I	4	2	50	G4	50	Grandes	Gris
UM-UAEM-6	I	I	X	I	4	3	75	G4	75	Grandes	Gris
UM-UAEM-7	X	I	X	X	4	1	25	G1	25	Chicas	Blanco
UM-UAEM-8	I	I	I	I	4	4	100	G4	100	Chicas	Gris
UM-UAEM-9	X	X	X	X	4	0	0	G0	0		
UM-UAEM-10	I	I	I	I	4	4	100	G4	100	Chicas	Blanco
UM-UAEM-11	I	I	I	I	4	4	100	G4	100	Chicas	Gris
UM-UAEM-12	I	I	I	I	4	4	100	G4	100	Chicas	Gris
UM-UAEM-13	I	I	I	I	4	4	100	G3	100	Chicas	Gris
UM-UAEM-14	I	I	I	X	4	3	75	G4	75	Chicas	Moteado
UM-UAEM-15	I	I	I	I	4	4	100	G4	100	Chicas	Gris
UM-UAEM-16	X	X	X	X	4	0	0	G0	0		
UM-UAEM-17	I	I	I	I	4	1	25	G1	25	Chicas	Gris
UM-UAEM-18	I	I	I	X	4	3	75	G4	75	Chicas	Moteado
UM-UAEM-19	I	I	X	X	4	2	50	G2	50	Chicas	Moteado
UM-UAEM-20	I	I	I	I	4	4	100	G3	100	Chicas	Gris
UM-UAEM-21	I	I	X	X	4	2	50	G4	50	Grandes	Gris
UM-UAEM-22	I	I	I	I	4	4	100	G4	100	Chicas	Moteado
UM-UAEM-23	I	I	I	X	4	3	75	G4	75	Chicas	Moteado
UM-UAEM-24	I	I	I	I	4	4	100	G4	100	Chicas	Gris
UM-UAEM-25	I	I	I	X	4	3	75	G3	75	Chicas	Gris
UM-UAEM-26	I	I	I	X	4	3	75	G3	75	Chicas	Gris
UM-UAEM-27	I	I	I	I	4	4	100	G1	100	Chicas	Gris
UM-UAEM-28	I	I	I	X	4	3	75	G3	75	Grandes	Gris
UM-UAEM-29	I	I	I	I	4	4	100	G4	100	Grandes	Gris
UM-UAEM-30	I	I	I	X	4	3	75	G3	75	Grandes	Gris
UM-UAEM-31	I	I	I	X	4	3	75	G4	75	Chicas	Gris
UM-UAEM-32	I	I	I	I	4	4	100	G3	100	Chicas	Moteado
UM-UAEM-33	I	I	I	I	4	4	100	G4	100	Grandes	Gris

UM-UAEM-34	I	I	I	I	4	4	100	G4	100	Chicas	Blanco
UM-UAEM-35	I	I	I	X	4	3	75	G3	75	Chicas	Gris
UM-UAEM-36	I	I	I	X	4	3	75	G2	75	Grandes	Gris
UM-UAEM-37	I	I	I	X	4	3	75	G3	75	Grandes	Gris
UM-UAEM-38	I	I	I	I	4	4	100	G2	100	Chicas	Moteado
UM-UAEM-39	I	I	I	X	4	3	75	G4	75	Chicas	Gris
UM-UAEM-40	I	I	I	X	4	3	75	G3	75	Chicas	Blanco
UM-UAEM-41	I	I	I	X	4	3	75	G4	75	Chicas	Blanco
UM-UAEM-42	I	I	I	X	4	3	75	G3	75	Grandes	Gris
UM-UAEM-43	I	I	I	X	4	3	75	G2	75	Grandes	Gris
UM-UAEM-44	X	X	X	X	4	0	0	G0	0		
UM-UAEM-45	I	I	I	X	4	3	75	G2	75	Grandes	Gris
UM-UAEM-46	I	I	I	I	4	4	100	G4	100	Chicas	Blanco
UM-UAEM-47	I	I	X	I	4	3	75	G1	75	Chicas	Gris
UM-UAEM-48	I	I	I	X	4	3	75	G2	75	Chicas	Gris
UM-UAEM-49	X	X	X	X	4	0	0	G0	0		
UM-UAEM-50	I	X	I	X	4	2	50	G4	50	Chicas	Gris
UM-UAEM-51	I	I	X	X	4	2	50	G4	50	Grandes	Gris
UM-UAEM-52	X	X	X	X	4	0	0	G0	0		
UM-UAEM-53	I	I	I	I	4	4	100	G2	100	Chicas	Gris
UM-UAEM-54	X	X	X	X	4	0	0	G0	0		
UM-UAEM-55	I	I	I	I	4	4	100	G4	100	Chicas	Gris
UM-UAEM-56	X	X	X	X	4	0	0	G0	0		
UM-UAEM-57	X	X	X	I	4	1	25	G3	25	Grandes	Gris
UM-UAEM-58	X	I	I	X	4	2	50	G2	50	Chicas	Gris
UM-UAEM-59	I	I	I	I	4	4	100	G4	100	Chicas	Gris
UM-UAEM-60	X	X	X	X	4	0	0	G0	0		
UM-UAEM-61	I	I	I	X	4	3	75	G4	75	Chicas	Gris
UM-UAEM-62	X	X	I	I	4	2	50	G4	50	Grandes	Gris
UM-UAEM-63	X	X	X	X	4	0	0	G0	0		
UM-UAEM-64	X	X	X	I	4	1	25	G4	25	Grandes	Gris
UM-UAEM-65	X	X	I	X	4	1	25	G4	25	Grandes	Gris
UM-UAEM-66	X	X	X	X	4	0	0	G0	0		
UM-UAEM-67	X	X	I	I	4	2	50	G4	50	Grandes	Gris
UM-UAEM-68	I	I	X	I	4	3	75	G4	75	Chicas	Gris
UM-UAEM-69	X	X	I	X	4	1	25	G4	25	Grandes	Gris
UM-UAEM-70	I	I	X	I	4	3	75	G4	75	Chicas	Gris
UM-UAEM-71	X	X	X	X	4	0	0	G0	0		
UM-UAEM-72	X	X	X	I	4	1	25	G4	25	Grandes	Gris
UM-UAEM-73	X	X	I	X	4	1	25	G4	25	Grandes	Gris
UM-UAEM-74	I	I	I	X	4	3	75	G3	75	Chicas	Gris
UM-UAEM-75	X	X	X	I	4	1	25	G4	25	Grandes	Gris
UM-UAEM-76	I	I	I	X	4	3	75	G4	75	Chicas	Moteado



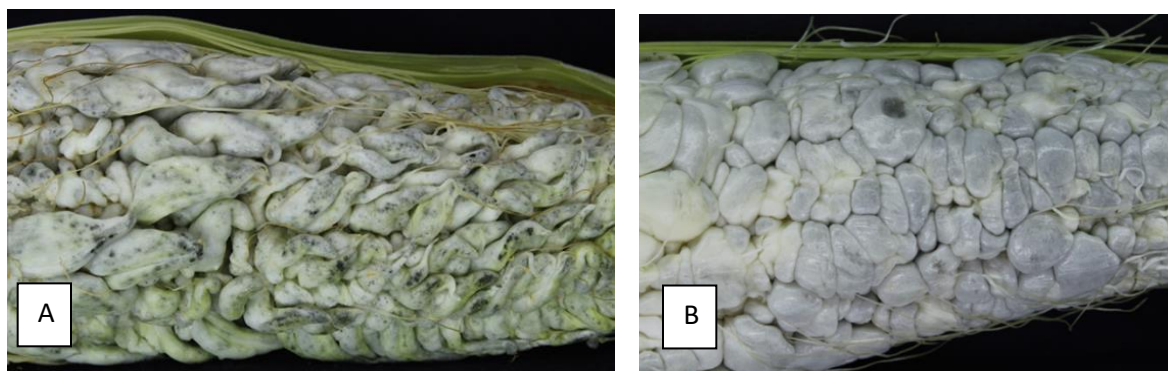
UM-UAEM-77	I	I	I	X	4	3	75	G4	75	Chicas	Moteado
UM-UAEM-78	I	I	I	I	4	4	100	G4	100	Grandes	Gris
UM-UAEM-79	I	I	I	I	4	4	100	G4	100	Chicas	Gris
UM-UAEM-80	I	I	I	X	4	3	75	G1	75	Chicas	Blanco
UM-UAEM-81	I	I	I	I	4	4	100	G4	100	Chicas	Gris
UM-UAEM-82	X	X	X	X	4	0	0	G0	0		
UM-UAEM-83	X	X	I	I	4	2	50	G4	50	Grandes	Gris
UM-UAEM-84	I	I	I	I	4	4	100	G4	100	Chicas	Moteado
UM-UAEM-85	I	I	I	I	4	4	100	G4	100	Chicas	Moteado
UM-UAEM-86	I	I	X	X	4	2	50	G4	50	Grandes	Blanco
UM-UAEM-87	X	X	X	X	4	0	0	G0	0		
UM-UAEM-88	X	X	X	X	4	0	0	G0	0		
UM-UAEM-89	I	X	I	I	4	3	75	G3	75	Grandes	Gris
UM-UAEM-90	I	I	I	I	4	4	100	G4	100	Chicas	Gris
UM-UAEM-91	I	X	I	I	4	3	75	G4	75	Grandes	Gris
UM-UAEM-92	I	I	I	I	4	4	100	G4	100	Grandes	Gris
UM-UAEM-93	I	I	I	I	4	4	100	G4	100	Chicas	Gris
UM-UAEM-94	I	I	I	X	4	3	75	G4	75	Grandes	Gris
UM-UAEM-95	I	X	I	I	4	3	75	G2	75	Grandes	Gris
UM-UAEM-96	I	I	I	I	4	4	100	G2	100	Grandes	Gris
UM-UAEM-97	X	X	X	X	4	0	0	G0	0		
UM-UAEM-98	X	X	X	X	4	0	0	G0	0		
UM-UAEM-99	X	X	X	I	4	1	25	G4	25	Grandes	Gris
UM-UAEM-100	I	I	I	X	4	3	75	G4	75	Grandes	Gris
UM-UAEM-101	X	X	X	X	4	0	0	G0	0		
UM-UAEM-102	I	I	I	I	4	4	100	G4	100	Chicas	Gris
UM-UAEM-103	I	I	I	I	4	4	100	G3	100	Chicas	Moteado
UM-UAEM-104	I	I	I	I	4	4	100	G3	100	Grandes	Gris
UM-UAEM-105	I	I	I	I	4	4	100	G4	100	Grandes	Gris
UM-UAEM-106	I	I	I	I	4	4	100	G4	100	Grandes	Gris
UM-UAEM-107	X	X	X	X	4	0	0	G0	0		
UM-UAEM-108	I	I	I	I	4	4	100	G4	100	Grandes	Gris
UM-UAEM-109	I	I	I	I	4	4	100	G4	100	Grandes	Gris
UM-UAEM-110	I	I	I	I	4	4	100	G3	100	Grandes	Gris
UM-UAEM-111	I	I	I	I	4	4	100	G3	100	Grandes	Gris
UM-UAEM-112	I	I	I	I	4	4	100	G4	100	Grandes	Gris
UM-UAEM-113	I	I	I	I	4	4	100	G4	100	Grandes	Gris
UM-UAEM-114	I	X	I	X	4	2	50	G4	50	Grandes	Gris
UM-UAEM-115	X	X	X	X	4	0	0	G0	0		
UM-UAEM-116	I	I	I	I	4	4	100	G3	100	Chicas	Moteado
UM-UAEM-117	I	I	I	I	4	4	100	G4	100	Grandes	Gris
UM-UAEM-118	I	I	I	I	4	4	100	G4	100	Grandes	Moteado
UM-UAEM-119	I	I	I	I	4	4	100	G4	100	Grandes	Gris

UM-UAEM-120	I	I	I	I	4	4	100	G4	100	Grandes	Gris
UM-UAEM-121	X	X	X	X	4	0	0	G0	0		
UM-UAEM-122	X	X	X	X	4	0	0	G0	0		
UM-UAEM-123	I	I	I	I	4	4	100	G4	100	Grandes	Gris
UM-UAEM-124	I	I	I	I	4	4	100	G4	100	Grandes	Gris
UM-UAEM-125	X	X	X	X	4	0	0	G0	0		
UM-UAEM-126	I	I	I	I	4	4	100	G4	100	Grandes	Gris
UM-UAEM-127	X	X	X	X	4	0	0	G0	0		
UM-UAEM-128	I	I	I	I	4	4	100	G4	100	Grandes	Gris
UM-UAEM-129	X	X	X	X	4	0	0	G0	0		
UM-UAEM-130	I	I	I	I	4	4	100	G4	100	Grandes	Gris
UM-UAEM-131	I	I	I	I	4	4	100	G4	100	Grandes	Gris
UM-UAEM-132	I	X	I	X	4	2	50	G4	50	Grandes	Gris
UM-UAEM-133	I	I	I	I	4	4	100	G4	100	Grandes	Blanco
UM-UAEM-134	I	I	I	I	4	4	100	G4	100	Chicas	Blanco
UM-UAEM-135	I	I	I	I	4	4	100	G4	100	Chicas	Blanco
UM-UAEM-136	X	X	X	X	4	0	0	G0	0		
UM-UAEM-137	I	I	I	I	4	4	100	G4	100	Grandes	Gris
UM-UAEM-138	I	I	I	I	4	4	100	G4	100	Grandes	Gris
UM-UAEM-139	I	I	I	I	4	4	100	G4	100	Grandes	Gris
UM-UAEM-140	X	X	X	X	4	0	0	G0	0		
UM-UAEM-141	I	I	I	I	4	4	100	G4	100	Grandes	Moteado
UM-UAEM-142	I	I	I	I	4	4	100	G4	100	Grandes	Gris
UM-UAEM-143	X	X	X	X	4	0	0	G0	0		
UM-UAEM-144	X	X	X	X	4	0	0	G0	0		
UM-UAEM-145	X	X	X	X	4	0	0	G0	0		
UM-UAEM-146	X	X	X	X	4	0	0	G0	0		
UM-UAEM-147	I	I	I	I	4	4	100	G4	100	Grandes	Gris
UM-UAEM-148	X	X	X	X	4	0	0	G0	0		
UM-UAEM-149	X	X	X	X	4	0	0	G0	0		
UM-UAEM-150	X	X	X	X	4	0	0	G0	0		
UM-UAEM-151	I	I	I	I	4	4	100	G3	100	Grandes	Gris
UM-UAEM-152	I	I	I	I	4	4	100	G4	100	Grandes	Gris
UM-UAEM-153	X	X	X	X	4	0	0	G0	0		
UM-UAEM-154	X	X	X	X	4	0	0	G0	0		
UM-UAEM-155	X	I	X	I	4	2	50	G4	50	Grandes	Gris
UM-UAEM-156	I	I	I	I	4	4	100	G4	100	Grandes	Gris
UM-UAEM-157	I	I	I	I	4	4	100	G1	100	Chicas	Blanco
UM-UAEM-158	I	I	I	I	4	4	100	G4	100	Chicas	Gris
UM-UAEM-159	I	I	I	I	4	4	100	G4	100	Grandes	Gris
UM-UAEM-160	I	X	I	X	4	2	50	G4	50	Chicas	Gris
UM-UAEM-161	I	I	I	I	4	4	100	G4	100	Chicas	Blanco
UM-UAEM-162	I	I	I	I	4	4	100	G4	100	Grandes	Gris

UM-UAEM-163	I I I I	4	4	100	G4	100	Chicas	Gris
UM-UAEM-164	X X X X	4	0	0	G0	0		
UM-UAEM-165	I I I I	4	4	100	G4	100	Chicas	Moteado
UM-UAEM-166	X X X X	4	0	0	G0	0		
UM-UAEM-167	I I I I	4	4	100	G4	100	Grandes	Gris
UM-UAEM-168	X X X X	4	0	0	G0	0		
UM-UAEM-169	X I X I	4	2	50	G1	50	Chicas	Gris
UM-UAEM-170	I X I X	4	2	50	G4	50	Grandes	Gris
UM-UAEM-171	X X X X	4	0	0	G0	0		
UM-UAEM-172	X X X X	4	0	0	G0	0		
UM-UAEM-173	X X X X	4	0	0	G0	0		
UM-UAEM-174	X X X X	4	0	0	G0	0		
UM-UAEM-175	X I X I	4	2	50	G4	50	Grandes	Gris
UM-UAEM-176	I I I I	4	4	100	G4	100	Grandes	Gris
UM-UAEM-177	I I I I	4	4	100	G4	100	Grandes	Gris
UM-UAEM-178	X X X X	4	0	0	G0	0		
UM-UAEM-179	X X X X	4	0	0	G0	0		
UM-UAEM-180	X X X X	4	0	0	G0	0		
UM-UAEM-181	X X X X	4	0	0	G0	0		
UM-UAEM-182	I I I I	4	4	100	G4	100	Grandes	Gris
UM-UAEM-183	I I I I	4	4	100	G4	100	Grandes	Gris
UM-UAEM-184	I I I I	4	4	100	G4	100	Grandes	Gris
UM-UAEM-185	I I I I	4	4	100	G4	100	Grandes	Gris
UM-UAEM-186	I X I X	4	2	50	G4	50	Grandes	Moteado
UM-UAEM-187	I X I X	4	2	50	G4	50	Grandes	Blanco
UM-UAEM-188	X X X X	4	0	0	G0	0		
UM-UAEM-189	X X X X	4	0	0	G0	0		
UM-UAEM-190	X X X X	4	0	0	G0	0		
UM-UAEM-191	I I I I	4	4	100	G4	100	Grandes	Gris
UM-UAEM-192	X X X X	4	0	0	G0	0		
UM-UAEM-193	X X X X	4	0	0	G0	0		
UM-UAEM-194	X X X X	4	0	0	G0	0		
UM-UAEM-195	X X X X	4	0	0	G0	0		
UM-UAEM-196	X X X X	4	0	0	G0	0		
UM-UAEM-197	X X X X	4	0	0	G0	0		
UM-UAEM-198	X I X I	4	2	50	G3	50	Chicas	Gris
UM-UAEM-199	I I I I	4	4	100	G3	100	Chicas	Gris
UM-UAEM-200	I I I I	4	4	100	G4	100	Chicas	Gris
UM-UAEM-201	I I I I	4	4	100	G2	100	Chicas	Gris
UM-UAEM-202	I I I I	4	4	100	G2	100	Grandes	Gris
UM-UAEM-203	X X X X	4	0	0	G0	0		
UM-UAEM-204	X X X X	4	0	0	G0	0		
UM-UAEM-205	X X X X	4	0	0	G0	0		

*Nota.* En la tabla se presentan la descripción de las mazorcas infectadas con las 206 cepas obtenidas. PI= porcentaje de infección,  $PI = \frac{(\text{No. Elotes con SEV2}) + \dots + (\text{No. Elotes con SEV5})}{\text{Total de elotes inoculados}} \times 100$ . GS= grado de severidad. ISE= Índice de severidad,  $ISE = \frac{(\text{NESEV1} \times 0) + (\text{NESEV2} \times 0.25) + (\text{NESEV3} \times 0.50) + (\text{NESEV4} \times 0.75) + (\text{NESEV5} \times 1.0)}{\text{Total de elotes infectados}} \times 100$ . (Um- UAEMor-N.= Um: *Ustilago maydis*, UAEMor: Universidad Autónoma del Estado de Morelos, N: número de cepa.

Del análisis preliminar, 67 de las 206 cepas presentaron agallas chicas (< a 1.5cm) y solo 80 presentaron agallas grandes (> a 1.5cm). La coloración de las agallas pequeñas fue en todo momento gris claro con puntos más oscuros con consistencia firme a dura, esa firmeza es provocada principalmente por el escaso desarrollo de la agalla, predominando el tejido filamentososo del hongo y poco desarrollo de teliosporas maduras, provocando una dureza excesiva en la agalla (figura 13A), Por otro lado, la coloración de las agallas grandes fue gris claro sin presencia de puntos oscuros y la firmeza regular, presencia abundante de teliosporas maduras y un desarrollo completo de las agallas, con características típicas a las comerciales (figura 13B).



**Figura 13.** Muestra representativa de la morfología de las agallas producidas de las 206 cepas aisladas.

*Nota.* En las imágenes se logra apreciar el tamaño y la coloración de las agallas. **A)** Floración femenina con agallas chicas (< a 1.5cm) de color gris moteado. **B).** Floración femenina con agallas grandes (> a 1.5cm) y de color gris.

*Fotografía: Hernández, D. (2022)*

En la prueba se observó alta incidencia de infección de los jilotes inoculados, registrando la capacidad de infección de las cepas aisladas y su capacidad de producir agallas, las características de los jilotes producidos y las agallas fue diferente, logrando una calidad de primera clase en 23 cepas de las 206 estudiadas mostrando las siguientes características: presentando un grado de severidad G4, desarrollo voluminoso del jilote infectado, agallas grandes, rigidez media de las agallas y color gris oscuro. Los resultados obtenidos muestran un alto índice de infección

en las 206 cepas con un valor de 71.3, el porcentaje de infección fue de 71% y el promedio del grado de severidad fue de G4 (tabla 8). Todos los recursos biológicos aislados (cepas) fueron conservados, debido a que estos representan recursos importantes para el desarrollo de novedosos productos y características para el mercado (figura 14), lo que resulta en la obtención de recursos genéticos con potencial de cultivo en las 147 cepas capaces de producir agallas y llegar a la madurez.

**Tabla 8.**

*Resultados de las 206 cepas probadas en campo con 4 repeticiones.*

Mazorcas inoculadas	Repeticiones	Mazorcas infectadas	índice de infección	Porcentaje de infección	Grado de severidad
206	4	147	71,3592233	71.3%	G4

*Nota.* En la tabla se presentan los resultados de las 206 cepas inoculadas con cuatro repeticiones y se muestran los promedios de índice de infección, porcentaje de infección y grado de severidad.







D



E







**Figura 14.** *Diversidad morfológica de mazorcas y agallas infectadas con las cepas aisladas.*

*Nota:* Se muestran las mazorcas infectadas con las cepas aisladas de *U. maydis*; en la imagen **A**: se presenta una mazorca con agallas grandes, su color es de gris claro a blanco; en la imagen **B**: las agallas chicas de color gris; en la imagen **C**: las agallas son chicas y de color gris moteado; en la **D**: las agallas chicas y grandes en una sola muestra, con un color gris oscuro moteado; **E**: las agallas chicas de color gris oscuro moteado; **F**: las agallas que se muestran en la imagen son grandes en la parte basal y chicas en la parte superior, de color gris; **G**: las agallas que se presentan en la imagen son agallas alargadas, color blanco moteado; **H**: presenta agallas chicas y grandes de color gris. Las agallas tienen en común la firmeza, es lo que las diferencias de la cepa control.

*Fotografía: Hernández, D. (2022)*

### 7.1.3 Evaluación de las 23 cepas heterocarióticas (n+n) de *Ustilago maydis* seleccionadas capaces de producir agallas en el jilote del maíz

Las 23 cepas que presentaron tamaño de agallas grandes, con un grado de severidad alto y con rendimientos altos, fueron probadas nuevamente en campo, realizando la inoculación de 25 plantas por cepa y con tres repeticiones. Las cepas seleccionadas se enlistan en la siguiente tabla 9.

**Tabla 9.***Resultados de 23 cepas seleccionadas y de la cepa comercial CP 436 X 437.*



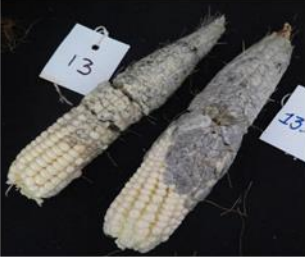





Cepas seleccionadas	Promedio peso desgranado (g)	Incidencia de infección (%)	Grado de infección	Rendimiento por planta inoculada	RPH (th-1)
Um-UAEMor-6	119.73 ± 44.11 HFGE	100	G4	5.98	7.18
Um-UAEMor-8	137.18 ± 59.21 DFE	100	G4	8.06	8.23
Um-UAEMor-11	151.07 ± 54.18 DCE	100	G4	10.79	9.06
Um-UAEMor-23	157.5 ± 40.04 DCE	100	G4	9.84	9.45
Um-UAEMor-24	125.78 ± 37.00 DFGE	100	G4	6.62	7.54
Um-UAEMor-28	145 ± 70.54 DFCE	100	G4	9.06	8.70
Um-UAEMor-31	156.5 ± 40.33 DCE	100	G4	7.82	9.39
Um-UAEMor-34	145.29 ± 56.65 DFCE	100	G4	8.07	8.71
Um-UAEMor-39	175.55 ± 75.03 DC	100	G4	9.75	10.53
Um-UAEMor-59	153.52 ± 49.31 DCE	100	G4	9.03	9.21
Um-UAEMor-61	78.46 ± 34.32 HGI	100	G4	6.03	4.70
Um-UAEMor-68	73.57 ± 30.02 HI	100	G4	5.25	4.41
Um-UAEMor-78*	360.83 ± 107.49 A	100	G4	20.04	21.65
Um-UAEMor-79	85.78 ± 50.00 HGI	100	G4	4.28	5.14
Um-UAEMor-91	75.16 ± 35.46 HGI	75	G3	3.75	4.51
Um-UAEMor-92	100 ± 20.25 HFGI	100	G4	7.14	4.20
Um-UAEMor-93	189.73 ± 72.66 C	100	G4	9.98	11.38
Um-UAEMor-94	73.57 ± 46.15 I	100	G4	5.25	4.41
Um-UAEMor-120*	371.86 ± 119.03 A	100	G4	18.59	22.31
Um-UAEMor-138	121.25 ± 69.02 HFGE	100	G4	6.06	7.27
Um-UAEMor-155	85.78 ± 50.28 HGI	100	G4	4.51	5.14
Um-UAEMor-185	85 ± 57.17 HGI	100	G4	5.00	5.10
Um-UAEMor-187*	383.25 ± 137.17 A	100	G4	19.16	22.99
CP-436 X CP-437*	296.75 ± 107.49 B	100	G4	14.83	17.80

*Nota.* De las 24 cepas estudiadas se registró el promedio de peso desgranado, incidencia de infección, grado de infección, rendimiento por planta inoculada y rendimiento por hectárea. RPH= Rendimiento por hectárea, RPH= [(PI x Densidad de siembra) x (GMI)]/ 1000. \* Medias con la misma letra no indican diferencias estadísticamente significativas  $\alpha=0.05$ .  $n=25$ .  $P=0001$

Los resultados obtenidos en cuanto al rendimiento de peso fresco de agallas desgranadas muestran diferencias estadísticamente significativas entre las cepas estudiadas, obteniendo para la cepa Um-UAEMor-187 una media de 383.25±137.17g de peso fresco (PF), para la cepa Um-UAEMor-78 un rendimiento de 360.83±107.49g y para la cepa Um-UAEMor-120 de

371.86±119.03g, mientras tanto para la cepa control (CP-436 X CP-437) el rendimiento fue de 296.75±107.49g PF de las agallas cosechadas. El análisis estadístico muestra que existen diferencias significativas de las cepas estudiadas respecto al control, observando las mejores medias en las cepas Um-UAEMor-187, Um-UAEMor-78, Um-UAEMor-120.

El grado de severidad obtenido en las 23 cepas fue predominantemente G4 (figura 15), mostrando un porcentaje del 100% para 22 cepas, un 75% para 1 cepa.

<ul style="list-style-type: none"> <li>G4: Grado de severidad 100%</li> </ul> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>G4: Grado de severidad 100%</li> </ul> 
<ul style="list-style-type: none"> <li>G3: Grado de severidad 75%</li> </ul> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>G3: Grado de severidad 75%</li> </ul> 
<ul style="list-style-type: none"> <li>G2: Grado de severidad 50%</li> </ul> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>G2: Grado de severidad 50%</li> </ul> 
<ul style="list-style-type: none"> <li>G1: Grado de severidad 25%</li> </ul> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>G1: Grado de severidad 25%</li> </ul> 

**Figura 15.** Grado de severidad en las mazorcas infectadas.

*Nota.* La figura representa cada uno de los grados de infección en las mazorcas. G4 equivale al 100% de infección en la mazorca, G3 corresponde al 75% del recubrimiento en la mazorca, G2 es igual al 25% de infección y G0 su porcentaje es del 0% debido a la ausencia de agallas en las mazorcas infectadas.

*Fotografía:* Hernández, D. (2022)

El porcentaje de infección fue del 100% para las cepas Um-UAEMor-6, Um-UAEMor-8, Um-UAEMor-11, Um-UAEMor-23, Um-UAEMor-24, Um-UAEMor-28, Um-UAEMor-31, Um-UAEMor-34, Um-UAEMor-39, Um-UAEMor-59, Um-UAEMor-61, Um-UAEMor-68, Um-UAEMor-78, Um-UAEMor-79, Um-UAEMor-92, Um-UAEMor-93, Um-UAEMor-94, Um-UAEMor-138, Um-UAEMor-155, Um-UAEMor-185, Um-UAEMor-187, Um-UAEMor-78, Um-UAEMor-120 y CP-436 X CP-437. Por lo tanto, la cepa Um-UAEMor-91 presento un grado de severidad de G3 el cual corresponde al 75%. Registrándose mayor presencia de infección en la mayoría de las mazorcas inoculadas (tabla 9).

Los resultados obtenidos con respecto a la observación visual muestran diferencias importantes repetitivas en tres de las 23 cepas estudiadas, observando características favorables para el cultivo en gran escala (Um-UAEMor-187, Um-UAEMor-78 y Um-UAEMor-120; figura 16) presentando uniformidad en las agallas cosechadas, tamaño predominantemente grande, color gris oscuro. Con respecto a las agallas utilizando las cepas comerciales CP-436 X CP-437 (figura 17), se aprecian características similares. Por lo tanto, se consideran que las cepas estudiadas y las características obtenidas en las agallas tienen un posible uso comercial a gran escala.

- Um-UAEMor-78



- Um-UAEMor-120



- Um-UAEMor-187



**Figura 16.** Mazorcas infectadas con las cepas que presentaron mayor rendimiento.

*Nota.* Mazorca infectada con la cepa Um-UAEMor-78, presenta agallas uniformes y de color gris, con la presencia de agallas blancas. Mazorca infectada con la cepa Um-UAEMor-120, presenta un grado de severidad del 100% con agallas pequeñas de color gris oscuro. Mazorca infectada con la cepa Um-UAEMor-187, presenta agallas color gris, con agallas de distintos tamaños.

*Fotografía:* Hernández, D. (2022)



**Figura 17.** *Mazorca infectada con la cepa comercial CP-436 X CP-437.*

*Fotografía: Hernández, D. (2022)*

## VIII. DISCUSIÓN

De acuerdo a la metodología de Banuett y Herskowitz (1989) al colocar cepas compatibles sobre el medio de cultivo PDA adicionado con carbón activado se logró apreciar la presencia de promicelio, fenotipo (Fuz+), en 138 cepas de las 206 aisladas, lo que nos podría estar indicando la presencia de cepas heterocarióticas (n+n) capaces de lograr la infección del jilote de maíz, puesto que, la expresión de este carácter solo se da si existen los loci *a* y *b* que gobiernan el ciclo de vida de *Ustilago maydis*, demostrando que el fenotipo (Fuz+), induce tumores y producen teliosporas capaces de sufrir meiosis. Esta metodología hace posible la obtención de cepas con capacidad de producción del hongo huitlacoche, lo que representa una herramienta potencial para la obtención de recursos genéticos, los cuales muestran características de poder ser manipulados genéticamente, ya que son susceptibles a la domesticación y tienen una aplicación para producción masiva.

La producción del huitlacoche depende de factores bióticos como la etapa del desarrollo de la planta de maíz, la susceptibilidad genética de la semilla y patogenicidad del hongo (Pataky, 1991; Valverde *et al.*, 1995; Pan *et al.*, 2008). Es por ello, por lo que estos factores fueron tomados en cuenta para realizar el presente experimento y atestiguando en un cultivo previo de carácter comercial, logrando realizar el cultivo en una variedad actualmente utilizada por los productores de huitlacoche, con producciones durante todo el año.

Los rendimientos obtenidos variaron de acuerdo con la cepa utilizada, sobresaliendo los resultados de tres cepas Um-UAEMor-187, Um-UAEMor-78 y Um-UAEMor-120, con valores de 22.99, 21.65 y 22.31 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente, en una densidad de 60,000 plantas por hectárea, y para la cepa control de 17.80 t ha<sup>-1</sup>, observando diferencias significativas con respecto a las cepas heterocarióticas, obteniendo mejores resultados en las cepas resultado de esta investigación (cepas heterocarióticas). Al ser novedoso el método para la obtención de cepas capaces de infectar la planta de maíz, se estandarizó la metodología para obtener valores de G4 en el grado de severidad, con la finalidad de obtener los mejores resultados al momento de comparar con las cepas estudiadas, de esta manera los resultados obtenidos en los rendimientos no estarían variando por factores como el método de inoculación. Valdez *et al.* (2009), así como Salazar *et al.* (2013) mencionan que utilizando el método de inoculación artificial y bajo condiciones controladas en la producción, llegaron a obtener rendimientos de hasta 14.1 t ha<sup>-1</sup> con maíces criollos, resultados similares fueron reportados por Aguayo *et al.* (2016). Así mismo, Martínez *et al.* (2000) obtuvieron



rendimientos de 9.11, 8.42, 8.20 y 8.00 T·ha<sup>-1</sup>, respectivamente de las 300 familias evaluadas con base en una muestra de 19 plantas inoculadas a una densidad de 60,000 plantas por hectárea, por otra parte, Pataky y Chandler (2003) obtuvieron un rendimiento de 7.86 T·ha<sup>-1</sup>.

Con respecto al índice de severidad, Madrigal *et al.* (2010) reporta un índice de severidad (ISE) del 90% en el híbrido H-58 utilizando una densidad de 62, 500 plantas·ha<sup>-1</sup>, Garcilazo (2020), reporta índices del 75% en variedades híbridas y eloteras. En el presente estudio se alcanzaron ISE en un rango de 75% hasta 100%, con valores significativos respecto a la cepa control, en una densidad de 60, 000 plantas por hectárea, resultando altamente infectivo este proceso con las cepas estudiadas. Por otro lado, Calderón (2010), reporta que el valor de ISE generado por cada cepa no está totalmente relacionado con la variedad ni el color del maíz, argumentando que esta se debe a la virulencia de la cepa utilizada. En este trabajo, se propone que además de la virulencia de la cepa utilizada, el dominio de la técnica empleada para la inoculación juega un papel importante, ya que es un parámetro que no está mecanizado y no es controlado en su totalidad, causando variaciones en el índice de severidad provocado a la planta.

Los valores de PI, para las tres cepas Um-UAEMor-187, Um-UAEMor-78 y Um-UAEMor-120, al igual que para la cepa control fue del 100% no observando diferencias significativas, mostrando resultados positivos en las cepas estudiadas en su potencial infectivo (cepas heterocarióticas). Garcilazo (2020) obtuvo valores de (PI) entre el 79 y 88.70%. Salazar *et al.* (2013) obtuvieron PI más altos con los híbridos Cobra (85.83%), Oso (84.50%), A7573 (78.52%) y en los criollos R12 (85.00%), B7 (83.37%) y B3 (73.05%), Valdez *et al.* (2009) evaluaron la producción de huitlacoche en 15 variedades criollas, y reportaron valores de PI que variaron de 30.90 a 92%, valores similares a los obtenidos en la presente investigación.

Las cepas heterocarióticas han sido utilizadas dentro de la industria farmacéutica, agrícola y remediación ambiental, con el fin de mejorar el rendimiento de la producción debido a que presentan tasas de crecimiento más rápidas en comparación con las cepas parentales, estas cepas son capaces de mejorar las cualidades fenotípicas, Strom y Bushley (2016).

## IX. CONCLUSIONES

1. En el presente trabajo se logró obtener cepas capaces de formar agallas en las mazorcas de maíz sin recurrir al apareamiento de cepas homocarióticas.
2. Se generó una metodología para aislar cepas con doble carga genética (n + n) capaces de producir agallas en la mazorca del maíz, interrumpiendo el ciclo de vida de *Ustilago maydis*.
3. Se obtuvo un porcentaje elevado de cepas capaces de generar agallas en la planta de maíz al interrumpir el ciclo de vida de *Ustilago maydis*, lo que representa una metodología estratégica para generar recursos genéticos valiosos para investigaciones científicas y generar un impacto en los productores de huitlacoche, logrando un importante impacto social.
4. Se seleccionaron más de 20 cepas con las mejores características de agalla, rendimiento, grado de severidad e índice de infección, obteniendo los mejores resultados en tres cepas de las 206 estudiadas.
5. Tres cepas mostraron resultados prometedores como cepas para uso comercial y producción masiva en campo, mostrando características importantes en el aspecto de la agalla como: tamaño, color, textura, además de altos rendimientos y gran capacidad infectiva.
6. Se obtuvieron cepas mejoradas para el cultivo de huitlacoche, las cuales agregan mejores características a las cepas control.

## X. PERSPECTIVAS

- Comprobar por métodos moleculares la presencia de la doble carga genética en las cepas que presentaron agallas.
- Revisar la estabilidad de las cepas con doble carga genética.
- Realizar producción masiva de las cepas estudiadas.

## XI. REFERENCIAS

- Agrios, G. N. (2002). *Fitopatología* (pp. 839-p). Noriega Editores.
- Aguayo-González, D. J., Acosta-Ramos, M., Pérez-Cabrera, L. E., Guevara-Lara, F., y García Munguía, 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.
- Aguirre, G. J. A., & García, L. D. L. (2012). Selección para el mejoramiento de maíz criollo. *INIFAP. CIRCE. Campo Experimental Bajío. Celaya, Guanajuato, México. Folleto para productores*, (4), 39.
- AYDOĞDU, M., y GÖLÜKÇÜ, M. (2017). Nutritional value of huitlacoche, maize mushroom caused by *Ustilago maydis*. *Food Science and Technology*, 37(4): 531-535.
- Banuett, F., y Herskowitz, I. (1989). Different alleles of *Ustilago maydis* are necessary for maintenance of filamentous growth but not for meiosis. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 86(15): 5878-5882.
- Beas, R., Loarca, G., Guzmán, S. H., Rodríguez, M. G., Vasco, N. L., y Guevara, F. (2011). Potencial nutraceutico de componentes bioactivos presentes en huitlacoche de la zona centro de México. *Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas*, 42(2): 36-44. Disponible en: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0187-73802013000500004](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73802013000500004)
- Bölker, M., Urban, M., y Kahmann, R. (1992). The a mating type locus of *U. maydis* specifies cell signaling components. *Cell*, 68(3): 441-450.
- Calderón, F. (2010). Caracterización clásica y molecular del *Ustilago maydis* D.C. (Corda), hongo de importancia social y económica en la Región Central de México. Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas.
- Castañeda-de León, V. T. y H. Leal-Lara (2012). Logros y desafíos de la producción masiva de "cuitlacoche" *Ustilago maydis* en México. pp. 193-206. In: Hongos Comestibles en Iberoamérica. J. E. Sánchez y G. Mata (eds.). El Colegio de la Frontera Sur, México, D.F.
- Castro, E. L., y Ruiz, H. I. (2003). *Huitlacoche: Una delicadeza alimenticia que se puede producir en el Valle del Yaqui*. Universidad y Sociedad: Interacción para el Desarrollo, 27-28.
- Coto, G. R. (1999). *Conceptos introductorios a la fitopatología*. Euned.
- Espinoza, A. D. M., Herrera, J. R., y Gold, S. E. (2000). Las vías de transducción de señales en la patogénesis y la morfogénesis de hongos: los casos de *Ustilago maydis* y *Magnaporthe grisea*. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 18(1), 55-60.

- Garcilazo Rahme, O., (2020). *Susceptibilidad de ocho variedades de maíz para el cultivo comercial de huitlacoche (Ustilago maydis) en Nopalucan de la Granja, Puebla-México* (Master's thesis).
- INTAGRI. (2017). *El Huitlacoche en el Maíz: Organismo Patógeno o Benéfico*. Serie Fitosanidad. Núm. 77. Artículos Técnicos de INTAGRI. México. 3.
- James, T. Y., Kauff, F., Schoch, C. L., Matheny, P. B., Hofstetter, V., Cox, C. J. y Vilgalys, R. (2006). Reconstructing the early evolution of Fungi using a six-gene phylogeny. *Nature*, 443(7113), 818-822.
- Madrigal-Rodríguez, J., Villanueva-Verduzco, C., Sahagún-Castellanos, J., Acosta Ramos, M., Martínez Martínez, L., y Espinosa Solares, T. (2010). *Ensayos de producción de huitlacoche (Ustilago maydis Cda.) hidropónico en invernadero*. *Revista Chapingo. Serie horticultura*, 16(3), 177-182.
- Méndez-López, A., Sánchez-Vega, M., Torres, J. C. S., Yudith, S., y Martínez-Amador, A. I. L. R. (2019) *El cultivo de huitlacoche: alimento nutritivo y sustentable*.
- Méndez, R. M., Ruan-Soto, F., y Cano-Contreras, E. J. (2008). *Conocimiento tradicional de Ustilago maydis en cuatro grupos mayenses del sureste de México*. *Etnobiología*, 6(1), 9-23.
- Martínez, L., Villanueva, C., y Sahagún, J. (2000). *Susceptibilidad y resistencia del maíz al hongo comestible huitlacoche (Ustilago maydis Cda.) mejorando su virulencia*. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 6(2), 241-248.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO]. (1993). *El maíz en la nutrición humana*. Roma.
- Pan, J., Baumgarten, M., y May, G. (2008). *Effects of host plant environment and Ustilago maydis infection of the fungal endophyte community of maize (Zea mays)*. *New Phytologist*, 178:147-156.
- Paredes-Lopez, O. y Valverde, M. E. 1999. *Los Alimentos Mágicos de las Culturas Indígenas de México-El Caso del Huitlacoche*. Culiacán, Sinaloa, 50.
- Paredes, L. O., y Valverde, M. E. (2006). *Los recursos nutraceuticos y medicinales que Mesoamérica le ha dado al mundo*. CINVESTAV. Irapuato. Guanajuato.
- Paredes, L. O, Lara, F. G., y Pérez, L. A. B. (2013). *Los alimentos mágicos de las culturas indígenas mesoamericanas* (Vol. 197). Fondo de cultura económica.
- Parera, C. A. (2017). *Producción de maíz dulce*. INTA Ediciones. Disponible en: [https://inta.gov.ar/sites/default/files/libesu8734\\_inta\\_asaho\\_web\\_maiz\\_dulce\\_v1.pdf](https://inta.gov.ar/sites/default/files/libesu8734_inta_asaho_web_maiz_dulce_v1.pdf)

- Pataky, J. K. (1991). *Production of huitlacoche* [*Ustilago maydis* (DS) Corda] on sweet corn. *HortScience*, 26(11), 1374-1377.
- Pataky, J. K., y Chandler, M. A. (2003). *Production of huitlacoche, Ustilago maydis: timing inoculation and controlling pollination*. *Mycologia*, 95(6), 1261-1270.
- Ruiz-Herrera, J., Leon-Ramirez, C., Cabrera-Ponce, J. L., Martínez-Espinoza, A. D., y Herrera-Estrella, L. (1999). Completion of the sexual cycle and demonstration of genetic recombination in *Ustilago maydis* in vitro. *Molecular and General Genetics MGG*, 262(3), 468-472.
- Ruiz Herrera, José (2008). *Ustilago maydis: ascenso de un hongo mexicano de la gastronomía local al mundo científico*. *Nova Scientia*, 1(1), 118-135. [fecha de Consulta 5 de Mayo de 2021]. ISSN: Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=203315665007>
- Salazar-López, J.M., Martínez-Saldaña, M.C., Reynoso-Camacho, R., Chávez-Morales, R.M., Sandoval-Cardoso, M.L., Guevara-Lara, F. (2017). *Capacidad antioxidante y caracterización fitoquímica de extractos etanólicos de huitlacoche (Ustilago maydis Zea mays) crudo y cocido*. *Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas*, 48(3): 37-47
- 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 (DC) CDA.), y rentabilidad de la producción. In Chapingo, México. Ciencias Agronómicas y ambientales. 1er Congreso Internacional de Ciencias Aplicadas. Universidad Autónoma de Chapingo. Texcoco, Estado de México (pp. 84-93).*
- Siméon, R. (1977). *Diccionario de la lengua náhuatl o mexicana* (Vol. 1). Siglo XXI.
- Tracy, W. F., Vargas, C., Zepeda, L., Pataky, J. K., y Chandler, M. A. (2007). *Production and marketing of huitlacoche*. *Issues in new crops and new uses*, 233-236.
- Urango, L. A. (2018). *Componentes del maíz en la nutrición humana*. Fondo Editorial Biogénesis, 185-209.
- Valdez, M. M., Valverde, M. E., y Paredes, L. O. (2009). *Procedimiento tecnológico para la producción masiva de huitlacoche*. CINVESTAV-Irapuato. Sincco, 10-37.
- Valadez Azúa, R., Moreno Fuentes, A., y Gómez Álvarez, G. (2015). *Cujtlacochi. El huitlacoche*. Disponible en: <http://ru.ia.unam.mx:8080/handle/10684/49>
- Valverde, M. E., y Paredes-López, O. (1993). *Production and evaluation of some food properties of huitlacoche (Ustilago maydis)*. *Food Biotechnology*, 7(3), 207-219.
- Valverde, M. E., Paredes-López, O., Pataky, J. K., Guevara-Lara, F., y Pineda, T. S. (1995). *Huitlacoche (Ustilago maydis) as a food source—biology, composition, and production*. *Critical Reviews in Food Science & Nutrition*, 35(3), 191-229

Strom, N. B., y Bushley, K. E. (2016). Two genomes are better than one: history, genetics, and biotechnological applications of fungal heterokaryons. *Fungal biology and biotechnology*, 3, 4. <https://doi.org/10.1186/s40694-016-0022-x>



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE MORELOS



FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

Licenciatura en Biología

Programa Educativo de Calidad *Acreditado* por el CACEB 2018-2023

Cuernavaca, Morelos a 22 de marzo de 2023

**DRA. DULCE MARÍA ARIAS ATAIDE**  
**DIRECTORA GENERAL DE SERVICIOS ESCOLARES**  
**P R E S E N T E.**

Por este conducto, los catedráticos suscritos comunicamos a Usted, que hemos revisado el documento que presenta la Pasante de Biólogo: **DULCE TERESA HERNÁNDEZ CASTAÑEDA**, con el título del trabajo: **Análisis del cultivo de cepas heterocarióticas de *Ustilago maydis* (Cuitlacoche)**.

En calidad de miembros de la comisión revisora, consideramos que el trabajo reúne los requisitos para optar por la Modalidad de Titulación por Tesis como lo marca el artículo 6° del Reglamento de Titulación Profesional vigente de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos.

**A T E N T A M E N T E**  
*Por una humanidad culta*

**JURADO REVISOR**

**FIRMA**

PRESIDENTE: M. EN C. ELIZUR MONTIEL ARCOS

\_\_\_\_\_

SECRETARIO: DRA. ELIZABETH NAVA GARCIA

\_\_\_\_\_

VOCAL: DR. ISAAC TELLO SALGADO

\_\_\_\_\_

SUPLENTE: M. EN C. MARIA IDALIA CUEVAS SALGADO

\_\_\_\_\_

SUPLENTE: DR. RAMON SUAREZ RODRIGUEZ

\_\_\_\_\_



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE MORELOS

Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

### Sello electrónico

**MARIA IDALIA CUEVAS SALGADO** | Fecha:2023-03-23 18:32:20 | Firmante

h7YX4XieY7P/k8BWF15OO+J9NMnKEquT02CerXrSJQp14JzITkXPbDDsx/9Pxp3Rm6DWiJC15yIjP9r8EYy58ZFK4FGgRedJiNE1nRNQZ4jGBqT45ta8yOFsruYFksclJ+CuuL+tsOIWfMywV+ECG1BThHMZAc+ulPgC1ZCfkxcUGWwUcKzhKBqEUKgJLt7Mu7VsxftXN1iFe+a/3UGWgHq1jnw9MpKXZP9HdqEgs0DWtCfOC/hAfttWQCelQrhYQJCRQLXnn8ZsjmMNCNher+CqW2kuV+b7uoK/le2BwLGOlGLaQe3Xt+rcTceyKAIzRfBAWLLfoeJ33X514!NoHw==

**ISAAC TELLO SALGADO** | Fecha:2023-03-30 00:14:17 | Firmante

AXGx5cKSeRW/ymxqJr0zjGvHe1iFWg7Tj0wslr7TxJiymDnyuwLZkcphOWx4l9xqNSK0c2/YH1T6haN5QyDru8+DqSsl1sVKtrl9ysW7bOXCPWVYRQYbzcS5ataHJ1VHM+k6Q/3K FYllpBWLWP8m8ErBB92xw2xjlgM7pFoYZQ9Uys4/4DFil88Bo1WnszwulEU/36gHT+OI7bFcQNNN6D2YKdKZDHmSZIRhht5cgvYPacKm0CZVz8OZ4ciBYmJZFU5bSuDNxSeLCO863dmaBbBJfGmVzEMXU6JEnO3/INtTbpYPGCOj+GaQT/Uwpx1WKA0J1gMeuJz7iSomw==

**ELIZUR MONTIEL ARCOS** | Fecha:2023-03-30 00:15:14 | Firmante

wWxAHM6HZt9dqktMAw7CfvcRVuo2gBtYYtgd4rU3wwK4FgZdkNQI1Rq8JX+3UyW/82JWpQUwafg+Xxy/SFUHJAM1CnZmGEU0JxhXjZ0RW25/GFqvbQdek2F8sWtWa4Xvjwp81/QHTk1EBhV4x+HrLgVYfjr9STDdaVg23Fg7iA8kkhWdsj0FR6yWJXxqGGTij/affZN0w4FDgBOzXIPKNW3Kjkh/tlzDy6dVu231M3P3WkIqPyh5nQO5Nh8J7Wu3TaeNovNTUIKvhiNYMy6+FomSJxn3MAEJAKjfkuaOBK0EpOvZ/FDhq2dPm+gfscUMJj6DwsLmdlLeszaxSfg==

**ELIZABETH NAVA GARCIA** | Fecha:2023-03-31 15:54:43 | Firmante

cyrFp0N725aJryYWCWKqIFqo2iKdz1EzplIihP5zKEVM6cTeOLOVWUFFNqjbq3A4EPZcPhnyRZLmZanQZ7zTifLssQ3bGkKv2hGPNnxUdKle2TFhqzMAmwillUxSrv4vJnl4rfMA0MnVij/Ep4fK0ua3I9TRbTgnAH337/CwMtQbqpoSSa1rp/08prIFVOe0gOr0Jm9JsdF/2jWgHb9mzrLm7nFO+7635jMz6gVxa3XJ9ou15/eOm8Q2RDdbuetBcrVQatD0YmMiGsoS1W+aGJZ0gMrdyDQTI4EGJ0BlidQPVELQCAgD6AV7nxRa1xPRIjkyjvrY28iDuXMYzEVOA==

**RAMON SUAREZ RODRIGUEZ** | Fecha:2023-04-20 17:05:14 | Firmante

RZbLeeccwlt0f3ovxstY9JzZCHT3qEaAS0tsJpJbYInsl0rOnweVR2Szn24NESPOcNnsVhXjqnM1O7Jl6F4V/1wQ56fJLwedVv1D5oUhU0ikGQmvJmvxxbBAI94Bhctwh7xyfSNXQnXxYjhGfzy9lpB1RnVTFBUSbAOgOWIV4WFvMWALWif9W6L0DkuKCsIx4ZLnM95fIAjsV7BGuaoS7+oFCrReKUYeWc1R6/6liETaULVIRqX2FYs+H4/zfAxePSekmhlGR27nbzFMGYcJr0k26T9hQqjBqFqy88S5W0BTOlaZvPxJtlo+jBbyAM21AKH+lwZts2ydtE5CCmJ/qc==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



SV7bI2RUf

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/SsyTJmTqQPbdcO7SBI7N0lgxocXkYif>

