BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS Y PECUARIAS

SUSCEPTIBILIDAD DE DOS MAÍCES HÍBRIDOS A LA INDUCCIÓN ARTIFICIAL DE HUITLACOCHE (*Ustilago maydis*)

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

LICENCIADO EN INGENIERIA AGROHIDRÁULICA

PRESENTA

ALFREDO BÁEZ GÓMEZ

DIRECTOR DE TESIS:

M.C. RAMIRO ESCOBAR HERNÁNDEZ

San Juan Acateno, Teziutlan, Puebla, Mexico, Diciembre 2023.

BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS Y PECUARIAS

SUSCEPTIBILIDAD DE DOS MAÍCES HÍBRIDOS A LA INDUCCIÓN ARTIFICIAL DE HUITLACOCHE (*Ustilago maydis*)

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

LICENCIADO EN INGENIERIA AGROHIDRÁULICA

PRESENTA

ALFREDO BÁEZ GÓMEZ

DIRECTOR DE TESIS:

M.C. RAMIRO ESCOBAR HERNÁNDEZ

ASESORES:

DR.RAÚL BERDEJA ARBEU

DRA. CARMELA HERNÁNDEZ DOMÍNGUEZ

M.C. FABIEL VÁZQUEZ CRUZ

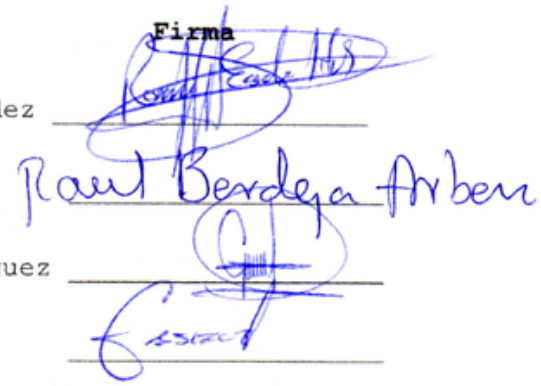
San Juan Acateno , Teziutlan, Puebla, Mexico, Diciembre 2023.

La presente tesis titulada: Susceptibilidad de dos maíces híbridos a la inducción artificial de huitlacoche (*Ustilago maydis*). Realizada por Alfredo Báez Gómez, ha sido revisada y aprobada por el siguiente consejo particular, para obtener el título de:

LICENCIADO EN INGENIERÍA AGROHIDRÁULICA

Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias

Consejo Particular integrado por:	**Firma**
Director: M.C. Ramiro Escobar Hernández	
Asesor: Dr. Raúl Berdeja Arbeu	
Asesor: Dra. Carmela Hernández Domínguez	
Asesor: M.C. Fabiel Vázquez Cruz	



San Juan Acateno, Teziutlan, Puebla, Mexico, Diciembre de 2023.

El presente trabajo forma parte del Cuerpo Académico denominado: Cuerpo Académico **BUAP-CA-34 Manejo de Recursos Fitogenéticos** de la Facultad de Ciencias Agrícolas Y Pecuarias y de la Línea de Investigación: **Manejo y Conservación de Recursos.** Dicho trabajo, fue financiado por: con recursos propios.

DEDICATORIA

Gracias Dios por estar conmigo y seguirme guiando por un buen camino en esta vida tan corta pero llena de experiencias que me han llenado de sabiduría que a pesar de los buenos y malos momentos siempre me has cuidado y protegido. Me siento bendecido por esta vida que me ofreciste y la gran familia que me has dado.

Este logro se lo dedico especialmente a mi madre Carmen Gómez por apoyarme y nunca haberme abandonado en mi travesía universitaria a pesar de la persona tan complicada que soy siempre estuvo al pendiente de mí. También a los Doctores Maleny Báez y David Quiroz por siempre estar conmigo en este trayecto de mi vida muchas gracias los amo.

A mi abuelito materno el Profesor Héctor Gómez† que a pesar de que ya no está entre nosotros siempre lo recordamos, me apoyo demasiado y me oriento en esta vida cuantas historias y aventuras tuve con el como si fuera mi mejor amigo el viejón.

También agradecerles a todas aquellas personas en general que conocí en mi faceta universitaria que la hicieron más amena, alegre y extrovertida. En especial con esos amigos como son Alin Pérez, Alejandro López, Gerardo Porras, Víctor Urrieta, Gonzalo Herrera, Alfredo Rojas, Alfredo Pérez, Oscar Bello muchas gracias por todo los momentos vividos y los que nos faltan como ingenieros, me los llevo en el corazón.

En si también un agradecimiento a todo el personal docente y administrativo que conocí en la Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias los recordare con mucho afecto.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla y la Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias por haberme dado la oportunidad, el apoyo y brindarme todo el conocimiento adquirido para crecer profesionalmente y metantalmente durante mi estadía universitaria. Me llevo grandez experiencias y buenos recuerdos de San Juan Acateno.

Agradecerle a mi director de tesis el Maestro en Ciencias; Ramiro Escobar Hernández por haber dado la confianza de trabajar con él para realizar mi trabajo de investigación durante este periodo y así poder concluir.

De la misma manera agradecerles a mis asesores Dr. Raúl Berdeja, Dra. Carmela Hernández y el Maestro Fabiel Vázquez, por haberme brindado su tiempo y dedicación en mi investigación.

ÍNDICE GENERAL

Contenido **Página**

ÍNDICE DE CUADROS iv

ÍNDICE DE FIGURAS v

RESUMEN vii

ABSTRACT vii

I. INTRODUCCIÓN 1

II. OBJETIVOS 3

2.1 Objetivo general 3

2.2 Objetivo específico 3

III. HIPÓTESIS 4

IV. REVISIÓN DE LITERATURA 5

4.1 Importancia de los hongos comestibles 5

4.2 El huitlacoche en México y el Estado de Puebla 5

4.3 Origen e historia 6

4.4 Descripción morfológica 7

4.5 Clasificación taxonómica 8

4.6 Ciclo biológico del huitlacoche 8

4.7 Composición nutricional del huitlacoche 9

4.8 Método de producción 10

4.8.1 Inoculación por inyección 11

4.9 Factores para la producción de *Ustilago maydis* 12

4.9.1 Tipos de variedades en maíz (*Zea Mays*) 12

4.9.2 Variabilidad genética del hospedante 13

4.9.3 Temperatura 13
4.9.4 Humedad Relativa 14
4.9.5 Aspectos adversos 15
4.10 Cosecha 15
4.11 Manejo postcosecha 16
4.12 Comercialización 16
V. MATERIALES Y MÉTODOS 17
5.1 Localización del sitio experimental.....17
5.2 Preparación del terreno.....18
5.3 Material Vegetativo.....18
5.4 Establecimiento y Siembra.....19
5.5 Fertilización.....19
5.6 Control de plagas y enfermedades.....20
5.7 Control de maleza.....21
5.8 Riego por gravedad.....21
5.11 Tratamiento 23
5.12 Variables 24
5.12.1 Porcentaje de infección (PI) 24
5.12.2 Grados de severidad 25
5.12.3 Rendimiento de huitlacoche en mazorca (RHM) 25
5.12.4 Rendimiento de huitlacoche limpio (RHL) 26
5.13 Análisis de varianza 26
VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 27
6.1 Porcentaje de infección (PI) 28
6.2 Grados de severidad (GSE).....29
6.3 Rendimientos de huitlacoche en mazorca (RHM).....31

6.4 Rendimiento de huitlacoche limpio (RHL).....31

VII. CONCLUSIONES 33

VIII. LITERATURA CITADA.....34

ÍNDICE DE CUADROS

Contenido **Página**

Cuadro 1. Composición nutricional del huitlacoche 10

Cuadro 2. Distribución de tratamientos.....22

Cuadro 3. Mililitros por tratamientos.....23

Cuadro 4. Proporción de porcentaje (%) de la mazorca Cubierta por agallas según la categoría de Severidad.....25

Cuadro 5. Resultados del análisis de varianza.....29

ÍNDICE DE FIGURAS

Contenido **Página**

Figura 1. Localización del Municipio de Izúcar de Matamoros, Puebla.....17

Figura 2. Inoculación al jilote.....23

Figura 3. Interior del jilote inyectado.....24

Figura 4. Mazorca con presencia de agallas.....27

Figura 5. Recolección de mazorcas infectadas.....29

Figura 6. Mazorca con categoría 5.....30

Figura 7. Mazorca con categoría 4.....30

RESUMEN

El huitlacoche es un patógeno del maíz, muy apreciado como alimento humano en la región central de México que ha adquirido interés por parte de los productores de maíz por su potencial productivo y económico. Debido a lo anterior el objetivo de identificar cuál de los dos híbridos comerciales presentarían una mayor susceptibilidad en el desarrollo artificial inyectando mediante una jeringa una suspensión de esporidias (1 x 10^6 ufc/ml) de *Ustilago maydis* sobre 600 plantas para cada una de las variedades evaluadas. Para el modelo estadístico se utilizó un diseño completamente al azar mediante un análisis de varianza, donde el híbrido A7573 presentó los mejores resultados y la mayor adaptabilidad para el inoculo adquirido en el Centro de Biotecnología de Hongos Comestibles, Funcionales y Medicinales del Estado de Puebla, siendo esta variedad una buena opción para la producción de huitlacoche en condiciones a campo abierto en el Municipio de Izúcar de Matamoros ubicado en la región de la Mixteca Poblana.

Palabras Claves: Patógeno, esporidias, *Ustilago maydis*.

ABSTRACT

Huitlacoche is a maize pathogen, highly prized as a human food in the central region of Mexico, which has gained interest from maize producers due to its productive and economic potential. Due to the above, the objective was to identify which of the two commercial hybrids would present a greater susceptibility in artificial development by injecting a sporidia suspension (1 x 106 cfu/ml) of *Ustilago maydis* through a syringe on 600 plants for each of the varieties evaluated. For the statistical model, a completely randomized design was used through an analysis of variance, where the hybrid A7573 presented the best results and the greatest adaptability for the inoculum acquired at the Center for Biotechnology of Edible, Functional and Medicinal Mushrooms of the State of Puebla, this variety being a good option for the production of huitlacoche in open field conditions in the Municipality of Izúcar de Matamoros located in the region of the Mixteca Poblana.

Key Works: Pathogen, sporidia, *Ustilago maydis.*

I. INTRODUCCIÓN

Ustilago maydis es un hongo basidiomiceto y tiene una muy estrecha gama de huéspedes. Infecta sólo al maíz (*Zea mays*) y su planta progenitora teosinte o teocintle (*Zea perennis*). Siendo el agente etiológico de la enfermedad llamada carbón común o huitlacoche nombre proveniente del náhuatl por el cual se conoce en México (Méndez-Morán y Ruiz-Herrera, 2008).

En México, el huitlacoche (*Ustilago maydis*) se ha utilizado desde tiempos prehispánicos como un alimento exquisito; Sin embargo, la apariencia poco atractiva de *Ustilago maydis* sobre la mazorca ha llamado la atención de comensales nacionales e internacionales, dándole un valor agregado en el mercado (Bernal y Ramírez, 2011), ya que se puede preparar de diferentes formas en el ámbito gourmet (Pataky, 1991).

En la actualidad el huitlacoche (*Ustilago maydis*) es considerado un cultivo con gran potencial productivo y económico en la región del centro de México. Desde 2006 su producción artificial es una realidad en la república mexicana siendo considerado como un nuevo cultivo (Villanueva *et al*., 2007).

Durante mucho tiempo, algunos investigadores, se han encargado de desarrollar diferentes métodos de inoculación artificial para producir huitlacoche. El desarrollo de estos métodos ayuda a tener conocimiento de la interacción planta patógeno (Royer y Rytter, 1985), siendo el huitlacoche una de las pocas especies de hongos comestibles, que para su cultivo artificial requiere un hospedante vivo, que es el cultivo de maíz (*Zea mays*) (Agrios, 2005).

La gran mayoría de las variedades de maíz presentan algún grado de resistencia al ataque del *Ustilago maydis*, siendo las

variedades de maíz dulce las más susceptibles a esta enfermedad (Martínez *et al*., 2000). Utilizando como inoculo formulaciones con esporidios de cepas purificadas, en el campo también se presenta problemas principalmente en la aplicación de la formulación con esporidias, ya que el inoculo tiene una caducidad de cuatro días después de su elaboración en laboratorio (Villanueva, 1995).

La producción de hongos comestibles se ha incrementado a nivel mundial de manera exponencial en las últimas 3 décadas siendo este un cultivo de gran relevancia. Este incremento ha sido más notable en los últimos 15 años debido a cambios en el sistema de producción, que permitieron introducir al mercado otras especies comunes y exóticas de hongos comestibles (Tracy *et al*., 2007).

Los hongos comestibles han adquirido un papel importante en la vida de muchas personas y se pretende integrarlos (o reintegrarlos) en su alimentación, debido a que antes había un consumo más elevado de estos por el conocimiento sobre ellos en las diferentes culturas y pueblos mexicanos, presentan muchos beneficios como la composición nutricional y sus propiedades medicinales (Reshetnikov *et al*., 2001).

II. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

- Identificar la susceptibilidad de 2 maíces híbridos comerciales a *Ustilago maydis* mediante inoculación artificial a campo abierto.

2.2 Objetivo específico

- Calcular el porcentaje de infección de *Ustilago maydis* en las dos variedades hibridas.

- Valorar el rendimiento de *Ustilago maydis* a campo abierto.

III. HIPÓTESIS

Los híbridos de maíz DK2037 y A7573 tendrán susceptibilidad a la concentración de $1x10^6$ ufc/ml de *Ustilago maydis* inoculada artificialmente.

IV. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1 Importancia de los hongos comestibles

Es importante enfatizar que el suministro deficiente de proteínas es un problema vital en la nutrición, especialmente en los países en desarrollo, teniendo en cuenta que el suministro de proteínas es muy importante en la infancia porque tiene efectos directos e indirectos en la salud del adulto. Dados los problemas económicos, políticos, sociales y técnicos que enfrenta la humanidad para satisfacer los requisitos de una población creciente, la investigación y los descubrimientos se han centrado en la diversificación de fuentes de proteínas con especial atención a la proteína que pueden aportar los hongos comestibles (Vanegas, 1995).

La proteína es uno de los nutrientes más importantes en los alimentos. Los hongos tienen un contenido de proteína de 25 a 40%, el contenido de proteína es casi igual a las legumbres (Chang, 1999).

Los hongos también son ricos en aminoácidos esenciales, así como los aminoácidos no esenciales. Lisina, cuyo contenido es bajo en la mayoría de los cereales, es el aminoácido principal en los hongos (Feeney, 2006).

Actualmente se conocen alrededor de 2000 especies de hongos comestibles; Pero solo de 22 especies han crecido comercialmente y solo se producen 10 a escala industrial (Gámez, 2018).

4.2 El huitlacoche en México y el Estado de Puebla

En México, la temporada de huitlacoche alcanza su máximo esplendor entre julio y agosto los meses durante los cuales se

cosechan la mayoría de *Ustilago maydis* alcanzando una producción cercana a las 500 toneladas por año (SNIIM, 2019).

Las zonas productoras donde actualmente se sabe que se realiza esta producción de huitlacoche mediante inoculación artificial son los estados de México, Morelos, Querétaro, Puebla e Hidalgo. Puebla destaca por ser líder en la producción de huitlacoche a nivel nacional, desde 2015, agricultores de varias regiones de Puebla, como: Huaquechula, Acatlán de Osorio, Atlixco y ciudad Serdán están consiguiendo transformar el 90% de sus cultivos de maíz en huitlacoche para cubrir la demanda de este alimento (Jiménez, 2015).

4.3 Origen e historia

Se desconoce cuál es su centro de origen; sin embargo, dado que es un patógeno específico del maíz, puede considerarse que es originario del mismo lugar del maíz. En la actualidad prácticamente tiene una distribución universal ya que ocurre en casi todas las regiones productoras de maíz (Agrios, 1989; Alexopoulus y Mims, 1979).

La mención más antigua del cuitlacoche se encuentra en una obra del siglo XVI: "Historia general de las cosas en la Nueva España", escrita por Fray Bernardino de Sahagún, con el objetivo de salvaguardar los saberes indígenas frente a la llegada de la cultura europea y solo se hace una mención muy breve indicando que es una anomalía del maíz que hace que la mazorca se vuelva negra y se convierta en algo parecido al barro negro (Azúa, 2012).

Ustilago maydis, es la causante de la enfermedad conocida como huitlacoche o cuitlacoche; En México su consumo como

alimento humano se remonta a tiempos prehispánicos, los aztecas lo llamaban “cuitlacochtli”, (suciedad, basura o excremento) y cochtli (dormido) o cuitlacochitli (suciedad dormida) (López, 1988).

La herencia dejada por estas culturas indígenas, quienes conocían las propiedades culinarias, farmacológicas y psicoterapéuticas de 1os hongos (Guzmán, 1984), muestran que el huitlacoche es un alimentó muy apreciado cuyos orígenes gastronómicos se remontan a la época de los aztecas (Pope y McCárter, 1992).

4.4 Descripción morfológica

Actualmente se han identificado aproximadamente 300 especies de Ustilago, siendo las más importantes económicamente son las que causan pérdidas en maíz (*U. maydis*), avena (*U. avenae*), cebada (*U. nuda*) y trigo (*U. tritici*) (Ville, 1991).

Los síntomas del huitlacoche (*Ustilago maydis)* son la formación de grandes protuberancias o agallas, que pueden desarrollarse en varias partes de la planta, incluidos tallos, hojas, espigas y principalmente mazorcas (Bolker, 2001).

Inicialmente están cubiertas por una membrana blanca encerrando a las células hipertrofiadas del hospedero y el micelio del hongo. Conforme maduran, la membrana se torna gris plateado o plomizo, alcanzando dimensiones de hasta 15 cm de diámetro; al final, el micelio que ha invadido a las células del hospedero se transforma en teliosporas, misas que son 1iberadas al romper se la membrana de la agalla (Agrios, 1989; De la Garza, 1974).

Esta enfermedad está presente en todas las regiones dedicadas a la producción del maíz (Reyes, 1990), aparece con mayor frecuencia en las áreas cálidas y moderadamente secas, aunque su presencia es más común en las regiones templadas del centro de México (Estado de México, Hidalgo, Tlaxcala, Puebla y Querétaro), donde ocasiona daños graves en variedades susceptibles en particular al maíz dulce (Salazar *et al*., 2015).

4.5 Clasificación taxonómica

Esta especie de hongo fitopatógeno produce las enfermedades llamadas carbones, las cuales se caracterizan por no tener cuerpo fructífero y vivir como parásitos en las plantas superiores hospederas en las cuales se desarrollan; sus esporas tienen pared celular gruesa y en su madurez tienen aspecto de carbón; la clasificación taxonómica del huitlacoche es la siguiente (Ville, 1991):

Reino: Fungi; Subreino: Eumycota; Rama: Amastigomycota; Phylum: Basidiomycota; Clase: Basidiomicetes; Subclase: Heterobasidiomycetydae; Orden: Ustilaginales; Familia: Ustilaginaceae; Género: *Ustilago*; Especie: *maydis* [(D.C.) Corda].

4.6 Ciclo biológico del huitlacoche

El huitlacoche es un hongo dimórfico, por lo que su ciclo de vida se desarrolla en dos fases: la primera es saprofita, donde el hongo crece en forma de esporas haploides alargadas (esporidios) que se reproducen en la flor; El segundo es micelial y patógeno, donde el hongo crece en forma de hifas dicarióticas que solo crecen en el interior del huésped (Ruiz, 2008).

El ciclo de vida de *Ustilago maydis* comienza con teliosporas binucleadas (n+n) jóvenes, producidas por hifas en agallas desarrolladas en mazorcas de maíz infectadas con *U. maydis*. Los dos núcleos de teliosporas jóvenes se fusionan por cariogamia para dar teliosporas maduras (2n), convirtiéndose en uninucleadas y diploides (Banuett y Herskowitz, 1996).

Durante la germinación, estas esporas forman un tubo germinal, hacia el cual migra el núcleo diploide; el tubo crece formando un promicelio y el núcleo se divide por meiosis para originar cuatro núcleos haploides (Garrido, 2004).

Durante el proceso de infección, *Ustilago maydis* crea células especializadas llamadas apresorios responsables de la penetración y la infestación (Brachmann *et al*., 2003; Snetselaar y Mins, 1992). Estas células especializadas se multiplican entre las células, provocando hiperplasia e hipertrofia, lo que lleva a la formación de tumores, generalmente en los tejidos meristemáticos del maíz (Banuett, 1996; Patiño, 2009); Asimismo, el hongo produce una cubierta protectora llamada peridio para evitar la deshidratación del micelio dicariótico (Guerra, 2010).

Las esporas (teliosporas) son de color negro, debido al alto contenido de melanina, lo que hace que gane el nombre de carbón de maíz a esta enfermedad. La espora tiene forma esférica y están rodeadas por una pared celular gruesa, bien estructurada y pigmentada con ornamentación de protuberancias cónicas (Banuett, 1994).

4.7 Composición nutricional del huitlacoche

En huitlacoche *U. maydis* predomina la glucosa y fructuosa, también contiene carbohidratos, proteínas, grasas, minerales. En

cuanto a vitaminas que se encuentran en el huitlacoche son: riboflavina, niacina, biotina, y ácido fólico (Kealey y Kosikowski, 1981), Actualmente ya se conoce una considerable aproximación a su contenido nutricional (Cuadro 1), (Valverde *et al*., 1993).

Cuadro 1. Composición nutricional del huitlacoche

Componente	100 gramos de porción comestible
Energía/kJ/Kcal	123.0/29.0
Humedad (g)	89.20
Cenizas (g)	0.70
Proteínas (g)	1.62
Hidratos de C. (g)	6.24
Fibra cruda (g)	1.81
Calcio (mg)	6.0
Fósforo (mg)	39.0
Tiamina (mg)	0.07
Riboflavina (mg)	0.26
Niacina (mg)	0.69
Ácido Ascórbico (mg)	3.70

Fuente: Valverde *et al*., 1993.

4.8 Método de producción

La infección natural algunas veces no es muy confiable, ya que la aparición del hongo en el maíz depende de las condiciones ambientales que conducen a la infección del carbón y a la asociación entre la etapa en el desarrollo del hospedero durante el período de infección y el tejido de la planta en el cual se forman las agallas (Pataky, 1991).

Para los años 70’s el “inoculo en grano” o “semilla” desplaza por completo al estiércol inoculado de la mayoría de los países productores de hongos (Fernández, 2009).

En el proceso de exploración de las técnicas de producción de huitlacoche han intervenido diferentes investigadores e instituciones del país realizando numerosos experimentos, los cuales llevaron a la estandarización de la técnica utilizada actualmente para inducir artificialmente la infección del huitlacoche en diversas variedades criollas e híbridos de maíz durante diferentes épocas del año (Salazar *et al*., 2015).

4.8.1 Inoculación por inyección

Este procedimiento considera el aislamiento del hongo, la preparación del inoculante y la inoculación de los jilotes con una jeringa semiautomática, técnica que ha dado buenos resultados consolidando a diversos productores de huitlacoche y aumentando la superficie destinada a este cultivo (Salazar *et al*., 2015).

La inoculación artificial de las basidiósporas en los tejidos de las plantas, las cuales se suministran mediante una inyección que puede realizarse a través del canal de los estigmas; una inyección transversal al jilote en dos o tres puntos equidistantes o mediante una sola inyección transversal en la mitad del jilote (Villanueva, 2007)

Actualmente los mejores resultados en lo referente a la producción de agallas en el elote se han obtenido inyectando una solución de esporidias de U. maydis suspendidas en agua destilada estéril directamente a través del canal de los estigmas del jilote (Thakur, 1989).

4.9 Factores para la producción de *Ustilago maydis*

Para el desarrollo del huitlacoche se requiere del tejido tierno de una variedad de maíz susceptible, la cepa virulenta específica y condiciones ambientales favorables, este último factor es primordial para el progreso o no de esta enfermedad en el hospedero (Villanueva, 2007).

La evaluación de genotipos de maíz para fines de producción de huitlacoche permite conocer su nivel de susceptibilidad genética (Pan *et al*., 2008).

4.9.1 Tipos de variedades en maíz (*Zea Mays*)

El maíz es un cereal que presenta gran cantidad de variedades, clasificadas en las siguientes categorías de acuerdo con la estructura de sus granos:

Maíz azucarado

Maíz harinoso

Maíz palomero

El sistema radicular de esta planta es fasciculado, con gran potencia y rápido desarrollo. El tallo puede llegar a tener una altura de 4 m, o incluso más depende de la variedad. La cantidad de hojas varía de 8 a 48. La cantidad de mazorcas es una por planta, pero algunas veces pueden ser dos o tres. El tamaño de la mazorca es diferente y el tamaño de los granos es variado, que depende de las diferentes variedades (Guerrero, 1987).

4.9.2 Variabilidad genética del hospedante

La reacción del maíz al hongo *Ustilago maydis* es un fenómeno complejo condicionado por varias características morfológicas y fisiológicas del hospedero (Sosa, 1997). El número de agallas de huitlacoche se reduce cuando las plantas cuentan con poco vigor pues disminuye el desarrollo de las yemas en los nudos (López, 1988).

La ausencia de lígula en las hojas del maíz se asocia con una mejor susceptibilidad al huitlacoche, el número de granos en la mazorca presenta una relación inversa con la resistencia a la infección del hongo (Villanueva, 1995; Villanueva, 2007), mientras que la cobertura y compactación de las hojas (brácteas) de la mazorca es un atributo que favorece la resistencia (Villanueva, 2007; Hirschhorn, 1986).

Cada variedad de maíz puede responder de manera diferente a la fecha de siembra, concentración del inóculo aplicado y tamaño del maíz inoculado. Esto deduce que, para cada variedad susceptible y localidad con clima favorable para el desarrollo del huitlacoche, se debe definir específicamente la edad óptima para la inoculación del maíz y la mejor fecha de siembra (Villanueva, 2007).

4.9.3 Temperatura

Diferentes estudios han abordado el tema de las condiciones climáticas favorables al desarrollo del huitlacoche; sin embargo, los resultados no son determinantes aun cuando la mayoría de los autores concluyen que un rango de temperatura de entre 22 a 30°C detona la evolución de esta enfermedad (Hirschhorn, 1939; Valverde, 1992; Valverde, 1995).

Mientras que temperaturas superiores a 30°C, con un porcentaje intermedio de humedad relativa, generan una mayor incidencia del hongo, mientras que en temperaturas inferiores a 22°C el ataque de *U. maydis* es menor y el desarrollo de agallas es más lento. De hecho, los ambientes con bajas temperaturas retrasan el proceso de patogénesis, el período de latencia y en consecuencia el desarrollo de los síntomas (Hirschhorn, 1939).

El ataque es más frecuente y de mayor incidencia se da en áreas cálidas y moderadamente secas, con temperaturas de 26 a 34°C siendo estas las óptimas condiciones para *Ustilago maydis* (Bolaños, 1998), 78 a 95°F (Davis, 1997).

4.9.4 Humedad Relativa

La humedad es necesaria para la germinación de las esporas, así como para el crecimiento y desarrollo del tubo germinativo (Christensen, 1963).

Las condiciones de humedad son muy variadas, algunos autores afirman que el ataque de este patógeno puede ser más severo en ambientes con humedad relativa de 72 - 80% (Villanueva *et al*., 1999; Martínez *et al*., 2005).

En este sentido, en algunas investigaciones se verificó que el hongo tiene un buen desarrollo con HR de 80 a 85% (Martínez, 2000).

En la región de los Valles Altos de México, las humedades relativas mayores a 80% fueron favorables para la producción inducida por huitlacoche, obteniendo una productividad neta mayor a 12 t·ha (Villanueva, 2007).

4.9.5 Aspectos adversos

La enfermedad es mayor en suelos fertilizados con nitrógeno o con fuerte aplicación de estiércol (Flores, 1991).

El daño por caída de granizo y el paso de las cultivadoras, permiten al hongo penetrar rápidamente a la planta por las heridas que esta causa (Duncan *et al*., 1995; Gotlieb, 1999).

Existiendo también cierta tendencia a incrementar la cantidad de agallas conforme aumenta la precipitación pluvial siendo no mayor de 48 a 53 mm (López, 1988).

4.10 Cosecha

El momento para la cosecha del huitlacoche, dependerá de las condiciones ambientales del sitio donde se desarrolle la producción; por ejemplo, en lugares cálidos el periodo de la inoculación a la cosecha requiere de 14 a 18 días mientras que en zonas templadas este periodo se amplía de 25 a 35 días hasta iniciar la cosecha. Los criterios para decidir cuál o cuáles huitlacoches se deben cosechar son los siguientes:

- La mazorca se debe ver completamente abultada por el crecimiento de las agallas del huitlacoche aún sin emerger.
- Las brácteas o totomoxtle que cubren a la mazorca de huitlacoche deben presentar una coloración verde pálido.

La cosecha se debe realizar por las mañanas para sortear las horas de mayor incidencia solar a fin de evitar que el producto se deshidrate y pierda calidad (Salazar *et al*., 2015).

4.11 Manejo postcosecha

El embalaje del huitlacoche se hace en cajas tipo tomatera de madera, plástico o cartón, en las que se coloca el producto en mazorca, en este caso se pone de forma ordenada cada pieza dentro de la caja con capacidad de 12 a 15 kg como máximo, quedando así listas para su transporte (Salazar *et al*., 2015).

4.12 Comercialización

El huitlacoche que se comercializa es recolectado en campos de donde se presentan inoculación artificial y en algunos casos infecciones naturales (Ruiz, 1999). Los costos adicionales no incluidos en el estándar de producción de maíz dulce incluirán el costo de despigamiento, mantenimiento y preparación de inóculos y la inoculación (Tracy, 2007).

Existe una demanda creciente para los mercados de U.S.A, Unión Europea y Japón, llegando alcanzar precios superiores a los 20 USD$/Kg como producto congelado, por otro lado, en fresco limpio se comercializa en 11.16 USD$/kg y 3.5 USD$/mazorca (Salazar, 2013).

En nuestro pais de acuerdo con un boletín emitido por la Central de Abastos de Iztapalapa en la Ciudad de México, en la temporada de lluvias la oferta de huitlacoche se incrementa en este mercado, llegando a comercializarse diariamente 3 500 kg de este producto, el cual proviene principalmente de los estados de Puebla, México, Morelos e Hidalgo. El precio al consumidor oscila entre 40 y 55 pesos por kg, dependiendo de la calidad; mientras que fuera de la temporada de lluvias, el precio se eleva hasta 140 pesos por kg, (Jiménez, 2015).

V. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 Localización del sitio experimental

La presente investigación se realizó en suelo a campo abierto en una parcela ubicada en el municipio de Izúcar de Matamoros, localizado en la parte suroeste del Estado de Puebla (Figura 1). Sus coordenadas geográficas son: 18° 36' 46'' de latitud norte y 98° 27' 31'' de longitud occidental. Cuenta con una altura de 1300 msnm. El clima es cálido subhúmedo con una temperatura promedio anual de 32° centígrados y cuenta con una precipitación promedio anual de 900 mm (INEGI, 2009).

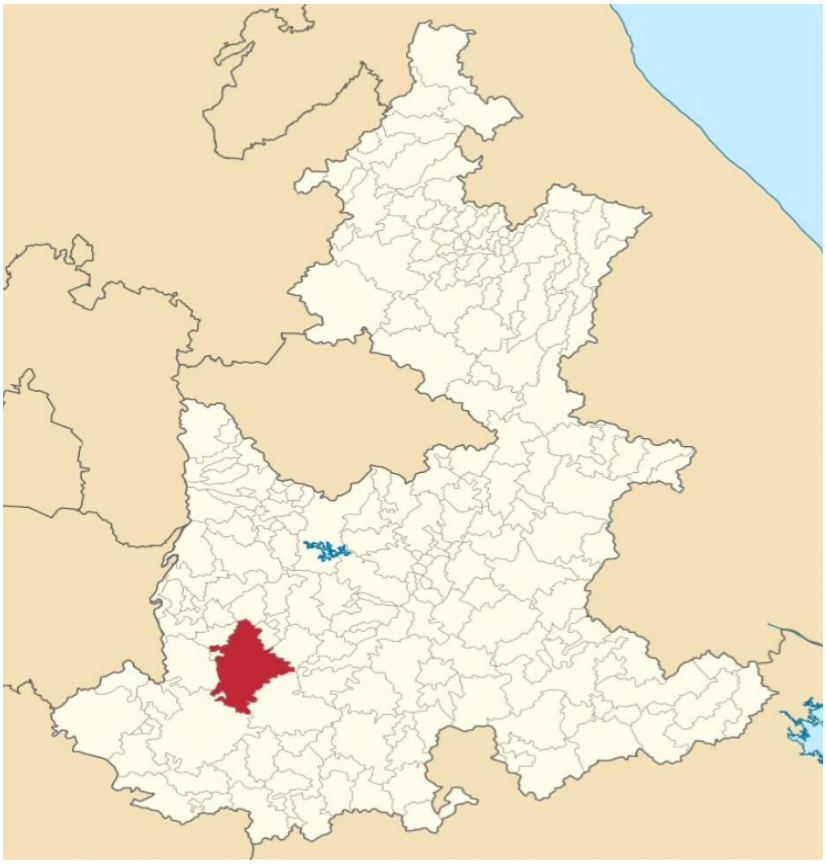


Figura 1. Localización del Municipio de Izúcar de Matamoros, Puebla.

5.2 Preparación del terreno

La preparación se llevó a cabo el día 10 de marzo del 2023 del terreno se realizó utilizando maquinaria agrícola empezando por un pase arado de la marca Kimball para voltear el suelo del terreno posteriormente se utilizó una rastra New Holland de 24 discos para roturar o desmoronar los terrones y así obtener un suelo más homogéneo.

Posteriormente una vez realizado el pase de arado y rastra en el terreno. Se utilizo una surcadora John Deere alineando cada gancho a una medida de 80 cm entre surcos.

Ya surcado se procedió a llevar el terreno a capacidad de campo mediante riego por gravedad.

5.3 Material Vegetativo

El inoculo o suspensión de esporidias de *Ustilago maydis* se obtuvo del Centro de Biotecnología de Hongos Comestibles, Funcionales y Medicinales.

Las variedades hibridas de maíz que fueron utilizadas en el presente trabajo de investigación son las siguientes:

Variedad 1: DK-2037

Variedad 2: A-7573

Ambas variedades producidas por las empresas semilleras comerciales de la marca Dekalb y Asgrow, siendo estas las variedades hibridas que se comercializan en la región para la producción de elote y grano de maíz. Estas dos marcas y variedades son utilizadas por los productores en Izúcar de Matamoros, Puebla.

5.4 Establecimiento y Siembra

Se estableció una unidad experimental con 8 parcelas con dimensiones de 5 metros de largo por 5 metros de ancho teniendo una separación de 1 metro entre parcelas para delimitar cada una de ellas.

La siembra de las semillas fue a los 8 días del primer riego que se aplicó para llevar el terreno a capacidad de campo.

Se partió el bordo por la parte media de cada surco con la cultivadora para obtener la humedad necesaria del suelo.

Utilizando los materiales vegetativos DK-2037 Y A-7573 se procedió a sembrar a pie el día 21 de marzo del 2023 quedando una siembra con distancias entre surcos y plantas de 80 cm y 30 cm respectivamente utilizando 1200 semillas lo cual fueron 600 semillas por tratamiento.

5.5 Fertilización

El día 20 de marzo del mismo año se aplicó manualmente un abonado edáfico de fondo en el terreno utilizando abono de procedencia avícola (Gallinaza tratada) comercialmente conocido como Biobono aportando 50 kg este abono orgánico es producido por ARG-Palmar agronegocios ubicada en el mismo municipio de Izúcar de Matamoros.

20 días después de la emergencia de los materiales vegetativos se aplicó Bayfolan es un fertilizante foliar multipropósito que aporta macro y micronutrientes a las plantas corrigiendo alguna carencia nutricional y así tener plantas más vigorosas desde un inicio.

Para la labranza de las unidades experiméntales se utilizó una yunta para caballo y al mismo tiempo se realizó manualmente la segunda fertilización química y el aporque de las parcelas de investigación fue el día 24 abril del presente año. Se aplicó un fertilizante donde el macronutriente principal fuera nitrógeno como es la Urea 46, 0, 0 aplicando a las milpas 100 kg de urea por las 8 unidades experimentales cuando las milpas presentaban una altura promedio de 50 a 60 cm.

5.6 Control de plagas y enfermedades

Para llevar el control fitosanitario del cultivo se hicieron 3 aplicaciones foliares contra gusano cogollero que es la principal plaga del maíz en la región de Izúcar de Matamoros (*Spodoptera frugiperda*) utilizando los productos Palgus de Corteva Agriscince y Malation de Grupo Tridente.

La primera aplicación y segunda foliar se llevaron a cabo los días 3 de abril y 24 de abril del mismo año aplicando un insecticida comercialmente conocido como Palgus cuyo ingrediente activo es Spinetoram.

La tercera aplicación foliar se llevó a cabo 12 de mayo del presente año empleando un nuevo insecticida de nombre Malatión 1000 donde el ingrediente activo es Dietil (dimetoxifosfinotioiltio) succinato.

Para complementar un buen manejo fitosanitario se continuó monitoreando las plantas para identificar si había incidencia de alguna enfermedad o presencia de Gusano elotero (*Helicoverpa zea*).

5.7 Control de maleza

Después de la siembra se realizaron dos aplicaciones el día 15 de abril y 20 de mayo del 2023 empleando un producto químico comercial de la marca Bayer cuyo nombre es Maister donde el ingrediente activo Foramsulfuron + Iodosulfuron metil sodio combinado con un coadyuvante agrícola Dyne-Amic este producto funciona en post emergencia temprana e intermedia para garantizar la eliminación de maleza de hoja ancha y gramíneas anuales o perennes para así asegurar un óptimo desarrollo sin que haya competencia por nutrientes, agua y luz desde la emergencia de nuestro cultivo.

5.8 Riego por gravedad

En total se aplicaron 9 riegos de auxilio mediante riego por gravedad a lo largo del ciclo del cultivo que duro 95 días para satisfacer las necesidades hídricas del mismo y también crear un microclima que fuera óptimo para el desarrollo de las agallas de huitlacoche (*Ustilago maydis*).

5.9 Diseño experimental

Se utilizo un diseño completamente al azar (DCA), con 4 repeticiones para cada uno de los tratamiento 1 y 2 (cuadro 2).

Cuadro 2. Distribución de los tratamientos en campo.

Tratamientos	Repeticiones			
	Unidades experimentales			
T1 DK-2037	I	II	III	IV
	TIR1	T2R2	T1R3	T2R4
T2 A-7573				
	T2R1	T1R2	T2R3	T1R4

5.10 Modelo estadístico

Se utilizo un diseño estadístico completamente al azar con dos tratamientos y cuatro repeticiones por cada tratamiento.

El modelo estadístico que se empleara es el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + E_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = Valor de la variable respuesta correspondiente al i-esimo tratamiento en la j-esima repetición.

$_i$=1,2,3,4.

$_J$=1,2,3,4.

μ =media general estadística.

T_i =efecto del i-esimo tratamiento donde i=1,2,3,4.

E_{ij} =Error experimental de i-esimo tratamiento en la j-iesima repetición.

5.11 Tratamiento

Se aplico mediante una jeringa hipodérmica semi automática (Figura 2 y 3), 1 ml de *Ustilago maydis* en 2 puntos equidistantes cuando la mayoría de las plantas presentaron un 50% en tamaño de jilotes de 5, 10 o hasta 15 cm de longitud el día 31 de mayo del actual año (Cuadro 3).

Cuadro 3. Mililitros por tratamientos.

Tratamientos	Hibrido	Mililitros
1	Dekalb 2037	1 ml/ jilote a c/u
2	Asgrow 7573	1 ml/ jilote a c/u

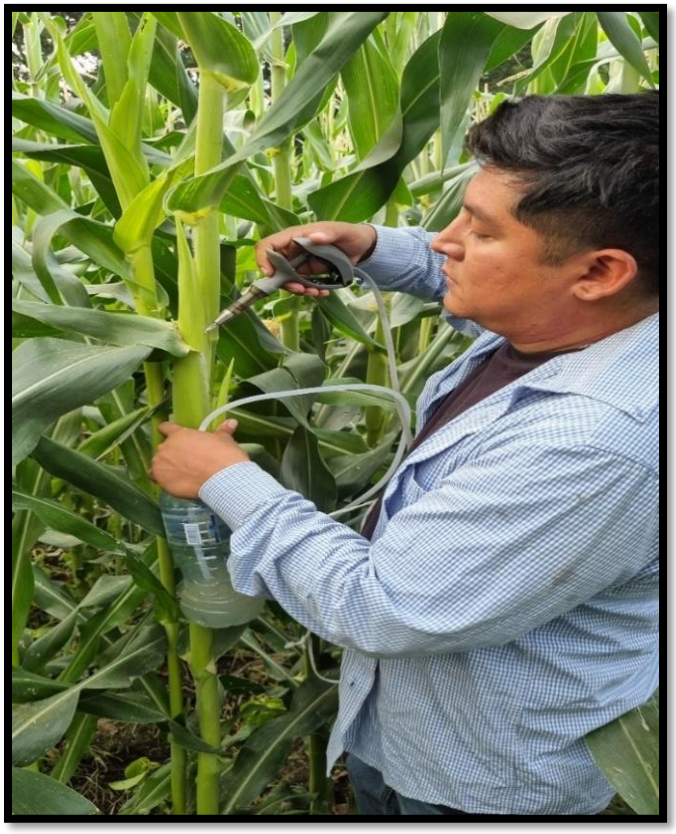


Figura 2. Inoculación al jilote.

Figura 3. Interior del jilote inyectado.

5.12 Variables

5.12.1 Porcentaje de infección (PI)

Para medir esta variable se contabilizaron las plantas de maíz inoculadas con la suspensión de *Ustilago maydis*, después se separaron las mazorcas infectadas en cada tratamiento y se empleó la siguiente formula (Villanueva *et al.*, 1999).

$$PI = \frac{\text{Numero de plantas infectadas}}{\text{Numero de plantas inoculadas}} \times 100$$

Donde:

PI: porcentaje de infección

5.12.2 Grados de severidad

Villanueva (1999) definió cinco grados de severidad al cubrimiento de mazorcas por agallas de huitlacoche (Cuadro 4).

Cuadro 4. Proporción de porcentaje (%) de la mazorca cubierta por agallas según la categoría de severidad.

Categoría	mazorca cubierta por agallas (%)
SEV 1	0
SEV 2	(>0) - 25
SEV 3	(>25) – 50
SEV 4	(>50) - 75
SEV 5	(>75) – 100

Fuente: Villanueva (1999).

5.12.3 Rendimiento de huitlacoche en mazorca (RHM)

Para obtener este parámetro de RHM se tomaron las mazorcas infectadas por cada tratamiento y se calculara de la siguiente manera el peso total de la mazorca más huitlacoche (Vanegas, 1995).

$$RHM = \frac{\text{Peso de mazorcas infectadas (kg)}}{\text{Plantas inoculadas por tratamiento}} \times \sigma\rho$$

Donde:

RHM = kg/h

σp = Densidad de plantas$\cdot ha^{-1}$

5.12.4 Rendimiento de huitlacoche limpio (RHL)

Para calcular RHL se tomaron las mazorcas infectadas de cada tratamiento, donde se procedió a separar las agallas de la mazorca manualmente (Vanegas, 1995).

$$RHL = \frac{\text{Peso de agallas por tratamiento (kg)}}{\text{Plantas inoculadas por tratamiento}} \times \sigma\rho$$

Donde:

RHL = kg/h

σp = Densidad de plantas·ha^{-1}

5.13 Análisis de varianza

Se llevo a cabo un análisis de varianza para cada una de las variables evaluadas y en caso de que el modelo sea significativo se hará un comparación múltiple de medias utilizando Tukey con una (P=0.05), mediante el programa estadístico SAS versión 9.0 (Valdez, 2009).

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El estudio realizado en campo se desarrolló de manera favorable iniciando la inoculación de la esporidias de *Ustilago maydis* el día 31 de mayo y los síntomas considerados para validar una adecuada inoculación fueron esencialmente la formación de agallas o protuberancias de *Ustilago maydis*, tal cual se aprecia en la imagen (Figura 4) las cuales se presentaron a los 25 (DDI) días después de la inoculación en las 1200 plantas estudiadas.

Figura 4. Mazorca con presencia de agallas.

Como seguimiento de esta actividad, se realizó un Análisis de varianza para las respectivas variables evaluadas y dentro de este marco cuál de los dos materiales vegetativos evaluados mostraba mejores resultados. En el (Cuadro 5) se puede observar los resultados obtenidos en el estudio realizado.

CUADRO 5. Resultados del análisis de varianza.

Tratamientos	PM	GSE	%
T1 Asgrow 7573	326 a	4	68.1
T2 Dekalb 2037	280 b	3.45	56.58
CV	26.71	30.01	48.08
DMHS	22.86	0.31	8.48

C V: Coeficiente de variación; DMSH: Diferencia Mínima Significativa Honesta; PM: Peso en Mazorca; GSE: Grado de Severidad; %: Porcentaje.

6.1 Porcentaje de infección (PI)

De los resultados obtenidos en el experimento se puede definir que las variedades, hibrido Asgrow 7573 y el hibrido Dekalb 2037, manifestaron un porcentaje de infección (PI) del 42.53% y 16.21% en la región de Izúcar de Matamoros, Puebla (Cuadro 5).

Comparando los resultados envase a lo reportado por Aguayo (2016), quien obtuvo el 100% de PI en una variedad criolla 3 y un 93.3% en el hibrido A7573, inoculados con 2 ml de esporidias por el canal de los estilos; Salazar (2013) reporta un menor PI en un hibrido de 78.52% y en la criolla de 85.00%, inoculando 1.5 ml en dos puntos equidistantes, como lo fue en nuestro caso 1 ml en dos puntos equidistantes, dicho resultado comparado con nuestro estudio, no es similar ya que nuestros híbridos A7573 y DK2037 no representaron el 100% PI y aunque las técnicas de inoculación fueron diferentes.

Donde algunos autores comentan que hay factores que pueden afectar el desarrollo o propagación del U. maydis siendo un problema la temperatura según (Valdez, 2010) el hongo necesita una temperatura ambiente de 25°C a 30°C, aunque esto también

puede depender de la humedad relativa que se tenga en el sitio de investigación.

Figura 5. Recolección de mazorcas infectadas.

6.2 Grados de severidad (GSE)

Se realizó la prueba tukey (P≤0.05) para GSE o el recubrimiento de las agallas del hongo se muestra diferencia significativa entre las variedades como se muestra en el (Cuadro 5) observando que en nuestro hibrido A7573 (ASGROW), obtuvo el mayor grado con un 68.10% seguido de nuestro segundo hibrido evaluado DK2037 (DEKALB)con el 56.58%.

De esta manera menciona Valdez (2010) que para las variedades hibridas obtuvo el 90 a 95% de cubrimiento en los maíces criollos del norte de Guanajuato y el criollo de la Biznaga utilizando una escala arbitraria de 1 al 100% en comparación a nuestra investigación los resultados obtenidos son mucho menores. Pero a pesar de tener valores medianamente bajos, podrían considerase que los resultados obtenidos los porcentajes de cubrimiento de las agallas de huitlacoche en nuestras mazorcas son aceptables (Figura 6 y 7).

Figura 6. Mazorca con categoría 5.

Figura 7. Mazorca con categoría 4.

6.3 Rendimientos de huitlacoche en mazorca (RHM)

De acuerdo con los datos registrados durante los pesos de cada una de las mazorcas cosechadas de huitlacoche en campo y al realizar el ANOVA ($P \leq 0.05$) para la variable (RHM) se encontró diferencia significativas entre tratamientos como se muestra en el (Cuadro 5), la variedad hibrida Asgrow 7573 fue quien obtuvo el mayor rendimiento en esta variable con 326 mientras que el hibrido Dekalb 2037 obtuvo 280.

Al realizar nuestra proyección de rendimiento por hectárea de huitlacoche en mazorca se obtiene que el híbrido A7573 produciría 5,100 kg/ha con una densidad de población de 60 mil plantas/ha, por lo tanto para nuestra variedad DK2037 con la misma densidad de población en plantas se produciría 2250 kg/ha; Valdéz *et al* (2009) reportaron rendimiento de huitlacoche de 15 ton/ha por lo que nuestros resultados obtenidos se consideran relativamente bajos, quizá debería evaluarse otro método de inoculación o cambiar el ciclo de siembra a otoño - invierno ya nuestra investigación se realizó en primavera – verano.

6.4 Rendimiento de huitlacoche limpio (RHL)

Al realizar ANOVA para la variable (RHL) muestra diferencia significativa entre los tratamientos, dando como resultado que nuestra variedad A7573 es quien mejor rendimiento en RHL. De acuerdo con los pesos obtenidos ya rebanado y al experimento de la misma manera se realizó una proyección de una hectárea donde podemos obtener un rendimiento de 784.50 kg/ha, con una densidad de plantación de 60,000 plantas/ha; comparado con Ulloa (2000), obtuvo un rendimiento por hectárea de 784.95 kg, pero con una densidad de 45,200 plantas solo inoculando en el centro del jilote; para nuestra variedad DK2037 el rendimiento fue de 427.60 kg/ha la densidad de población de 60,000 plantas.

Garibaldi (2003) obtuvo un rendimiento de 3,735 kg ha con el Hibrido PNS-4019 al inocular 1 ml de solución en el centro del jilote y al fertilizar con 300 kg/ha de nitrógeno a una densidad de 62, 000 plantas; comparado con los autores mencionados el rendimiento en el hibrido A7573 y DK 2037 seria relativamente intermedio debido a la alta densidad de población de plantas pero podría incrementarse el rendimiento con un mejor manejo agronómico aumentado la cantidad de nitrógeno en el suelo para así favorecer aún más del desarrollo de *Ustilago maydis.*

VII. CONCLUSIONES

Al inocular artificialmente $1x10^6$ esporidias/1ml de *Ustilago maydis* con apoyo de una jeringa automática en dos puntos equidistantes cuando los jilotes de ambas variedades hibridas evaluadas presentaron una homogeneidad de 5 a 10 cm de longitud.

La variedad A7573 (Asgrow) fue la mejor para las variables evaluadas obtenido como resultado un porcentaje de infección del 42.53 %, un 68% en grados de severidad y en cuanto su rendimiento de huitlacoche en mazorca y limpio, también mencionado que la presentación que tenían la agallas de huitlacoche sobre esta variedad se miraban más hidratas y de mejor tamaño comparadas con la agallas de la variedad DK2037 (Dekalb) que se miraban más deshidratadas y de menor tamaño a pesar de que ambas tuvieron el mismo manejo agronómico al mismo tiempo.

Cabe mencionar que al utilizar maíces Híbridos como lo es A7573 de ciclo intermedio resulta ser ventajoso para los productores ya que son semillas adaptadas a las condiciones climáticas de valles altos, tiene un buen nivel de precocidad porque solo son de 68 a 72 días a floración y de 85 a 90 días para su cosecha lo que les permite tener hasta 3 ciclos de siembra en 1 solo año.

VIII. LITERATURA CITADA

Agrios G. N. 2005. Fitopatología. Editorial Limusa. México. 856 p. Banuett F. 1992. *Ustilago maydis*, the delightful blight. USA. Trends in Genetics 8(5):174-180.

Agrios G. N. 1989. Fitopatología. 3ra Reimp. Ed. Limusa. México. 756p.

Alexopoulus C. J. and C. H. Mims. 1979. Introductory mycology. 3er. ed. John Wiley & Sons, Inc. USA. Pp: 521-528.

Azúa R. V. 2012. El cuitlacoche, un recurso alimentario mexicano no tan milenario. *Antropológicas Boletín 1*, 1-9.

Banuett F. y Herskowitz I. 1994. Morphological Transitions in the lite cicle of *Ustilago maydis* and their genetic control by the and b locy. Experimental mycology 18: 247-266.

Banuett F., I. Herskowitz. 1996. Discrete developmental stages during teliospore formation in the corn smut fungus, *Ustilago maydis*. Development 122: 2965-2976.

Bernal M. H. y Ramírez V. B. 2011. Investigación interdisciplinaria para el desarrollo rural en Puebla y Tlaxcala. Editorial LETRAS. Estado de México, México. 433 p.

Bolaños J. T. 1998. Guía fitosanitaria para el cultivo del maíz. Obtenido de Publicaciones Sanidad Vegetal: e-consulta periódica. En línea: http://www.iicasaninet.net/publsoft /fotorep / maiz /indice.htm. consultado marzo de 2023.

Bolker M. 2001. *Ustilago maydis* a valuable model system. For the study of fungal dimorphism and virulence. Microbiology 147: 1396-1401.

Brachmann A., J. Schirawski, P. Müller, and R. Kahmann 2003. An unusual map kinase is required for efficient penetration of the plant surface by *Ustilago maydis*. EMBO-European Molecular Biology Organization Journal 22(9): 2199-2210.

Chang S. T. 1999. Global impact of edible and medicinal mushrooms on human welfare in the 21st century: nongreen revolution. Int. Journal of Medicinal Mushrooms 1: 1-7.

Christensen J. J. 1963. Corn smut caused by *Ustilago maydis*. Monograph No. 2. Minnesota Agricultural Experimental Station; paper no. 1119. The American Phytopathological Society. Worcester, Mass. 41 p.

Davis R.M. 1997. Common Smut. University of California. Statewide Integrated Pest Management Project. En línea http: //www. ipm. ucdavis. edu /PMG /r113100311.html. Consultado: 10 de marzo 2023.

De la Garza G., J.L. 1974. Curso de Fitopatología. UANL. México. 192 p.p.

Duncan H.E. Leonard K.J. Payne G. 1995. Major corn disease in North Carolina. En Línea http: //ipmwww.ncsu.edu /corn /diseases /corn_diseases.html. Consultado: Marzo de 2023.

Fernández M.F. 2009. En línea http://www.zoetecnocampo.com/Documentos/champi/champi.htm. Consultado: 20 de mayo 2023.

Feeney M. J. 2006. Optimizing vitamin D2 in mushooms: Pilot study to expose mushorooms to ultraviolet lingt. Mushroom News 54(5): 2-24.

Flores del Campo R. J. 1991. Producción de huitlacoche. *Ustilago maydis* (DC) Cda. probando tres métodos de inoculación en

tres variedades de maíz (*Zea mayz L*). Tesis profesional, ITESM. Monterrey, México. 40p.

Gámez Domínguez V. 2018. Evaluación de inóculos de Ustilago maydis en maíces de la región de Acatzingo, Puebla para la producción de huitlacoche (Bachelor's thesis, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla).

Garibaldi CJM. 2003.Fertilización nitrogenada y densidad de plantas de maíz *Zea mays L.* con fatigación y acolchado plástico en la producción de huitlacoche *Ustilago maydis* (d.c.) Corda, en el valle del yaqui, sonora. Tesis de maestría en ciencias en Recursos Naturales. Dirección de recursos naturales. Instituto Tecnológico de Sonora. 60 p.

Garrido P. E. 2004. Análisis de la proteína Crk1, una quinasa integradora de señales ambientales en el hongo del carbón del maíz, *Ustilago maydis*. Tesis de Doctorado. Facultad de Ciencias. Universidad Autónoma de Madrid. Madrid, España. 110 p.

Gotlieb A. 1999. Corn smut—Garden Disease control leaflet 3. En línea http://ctr.uvm.edu /logos /extlogo1.gif. Consultado: 3 de marzo 2023.

Guzmán G. 1984. El uso de los hongos en Mesoamérica. Ciencia y Desarrollo 59:17-27.

Guerrero A. 1987. Cultivos herbáceos extensivos. Cuarta edición revisada y amplificada. Mundi prensa. España.

Guerra S. M. G. 2010. Huitlacoche: Productor de polisacáridos nutracéuticos. Artículo de alimentos. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. Instituto Politécnico Nacional. México. En

línea:http://www.contactoquimico.com/htm/Articulos/Inneditos/Ineditos2.htm. Consultado: marzo del 2023.

Hirschhorn E. 1986. Los Ustilaginales de la Flora Argentina. Comisión de Investigaciones Científicas. Publicación especial. La Plata, Argentina. 530 p.

Hirschhorn E. 1939. Formas Fisiológicas de *Ustilago zea* de Diversas Localidades de Argentina. SIDALC. 129 p.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía) 2009. Consulta los indicadores de tu área geográfica. En línea: https://www.inegi.org.mx/. Consultado: marzo de 2023.

Jiménez M. (2015). SAGARPA. Tecnifican producción de huitlacoche en Puebla. En línea: http://intoleranciadiario.com/detalle_noticia/133158/especiales/sagarpa-tecnica-produccion-de-huitlacoche-en-puebla Consultado: marzo de 2023.

Kealey K. S. and F. V. Kosikowski. 1981. Corn smut as a food source: perspective on biology, composition and nutrition. CRC Critical Reviews in Food Science and Nutrition 15(4): 321-351.

López A. G. F. 1988. Factores que determinan el desarrollo de *Ustilago maydis* (D. C.) Cda; agente causal del huitlacoche del maíz. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Posgraduados. Fitopatología. Montecillos, México. pp.84.

Martínez M. L. Villanueva V. C. y Sahagún C. J. 2000. Susceptibilidad y resistencia del maíz al hongo comestible huitlacoche (*Ustilago maydis* Cda.) mejorando su virulencia. Rev. Chapingo. Ser. Hortic. 6(2):241-255.

Martínez-Carrera D. 2002. Current development of mushroom biotechnology in Latin America. Micol. Apl. Int. 14: 61-74.

Martínez M. L. Muñoz O. A. Mejía C. J. Molina G. J. Zavaleta M. E. Sandoval I. J. y Villanueva V. C. 2005. Efectos genéticos e interacciones entre familias de maíz y aislados de huitlacoche (*Ustilago maydis* D. C. Corda). Rev. Chapingo. Ser. Hortic. 11(1):121-128.

Méndez-Morán L. y Ruiz-Herrera J. 2008. Estudio de genes diferenciales durante el proceso patogénico de *Ustilago maydis* en Arabidopsis thaliana un huésped no natural. Avances en la investigación científica en el CUCBA. In: XIX Semana Nacional de la Investigación Científica. Zapopan, Jalisco. México. pp: 407-414.

Pan J. J. y Baumgarten A. M. May G. 2008. Effects of host plant environment and *Ustilago maydis* Cda. infection on the fungal endophyte community of maize (*Zea mays* L.) New Phytologist 178: 147–156.

Patiño R. P. 2009. Inoculación de huitlacoche (*Ustilago maydis*) en híbridos de maíz de Valles Altos y su mercado en Toluca, México. Tesis Profesional. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 50 p.

Pataky J. K. 1991. Production of cuitlacoche [*Ustilago maydis* (DC) Corda] on sweetcorn. HortScience 26(11):1374-1377.

Pope D. D. and S. M. McCarter. 1992. Evaluation of inoculation methods for inducing common smut on corn ears. Phytopathology 82: 950-955.

Ruiz-Herrera J., C. León-Ramírez, J. L. Cabrera-Ponce, A. D. Martínez Espinoza and L. Herrera-Estrella 1999. Completion of the sexual cycle and demonstration of genetic recombination in *Ustilago maydis* in vitro. Molecular and General Genetics 262: 468-472.

Ruiz H. J. 2008. *Ustilago maydis*: ascenso de un hongo mexicano de la gastronomía local al mundo científico. Nova Scientia 1(1): 118-135.

Reshetnikov S. V., Wasser S.P. y Tan K.K. 2001. Higher basdiomycota as a source of Antinumour and immunostimulating polysaccharides. A review. International Joournal of Medicinal Musbrooms (3): 361-394.

Reyes P. 1990. El maíz y su cultivo. Editorial AGT Editor, S. A. México, D.F. pp. 1-2, 66- 67, 103-121.

Royer M. H. y Rytter. J. 1985. Artificial inoculation of wheat with Tilletia indica from México and India. Plant Disease 69:317-319.

Salazar T. J. C., Méndez López A. 2015. El huitlacoche alimento prehispánico vigente en México historia, aprovechamiento y técnicas de producción.

Salazar T.J.C., Martínez T.E., Álvarez H. R. y Méndez L.A. 2013. Susceptibilidad de maíces y criollos de huitlacoche (*Ustilago maydis* (D. C.) CDA.); y rentabilidad de la producción, en Chapingo, México. Ciencias Agronómicas y ambientales. In: 1er. Congreso Internacional de Ciencias Aplicadas. Universidad Autónoma de Chapingo. pp. 84-93.

Sosa M. M. E. 1997. Producción de agallas en plántulas de maíz por cepas mutantes de *Ustilago maydis* (huitlacoche) que muestran defectos en la producción de ácido indol-3-acético. Tesis de Licenciatura. Instituto de Ciencias Agrícolas. Universidad de Guanajuato. Irapuato, Gto. 67 p.

Snetselaar K. M., and C. W. Mims. 1992. Sporidial fusion and infection of maize seedlings by the smut fungus *Ustilago maydis*. Mycologia. 84(2): 193–203.

SNIIM (Sistema Nacional de Información de Mercados). 2019. Comercialización de Huitlacoche en México. En línea: http://www.economia-sniim.gob.mx/. Consultado: marzo de 2023.

Thakur R. P. Leonard K. J. and Pataky K. J. 1989. Smut gall development in adult corn plants inoculated with *Ustilago maydis*. USA. Plant Dis. 73(11):921-925.

Tracy W., Vargas C., Zepeda L., Pataky J., Chandler, M. 2007. Production and marketing of huitlacoche. Issues in new corps and new uses. (J. a. (eds.), Ed.) ASHS Press, Alexandría, VA. pp: 233 – 236.

Valdez M. M., M. E. Valverde G., P. P. Vanegas E., y O. Paredes L. 2009. Procedimiento Tecnológico para la Producción Masiva de Huitlacoche. CINVESTAV-Irapuato. Sinnco. pp: 1-16.

Valdez M. M. 2010. Producción y evaluación de la calidad de huitlacoche en diferentes tipos de maíz, e identificación de compuestos con actividad nutraceuticos. Tesis de doctorado en Ciencias de los alimentos. Facultad de Química. Universidad Autónoma de Quere taro. Santiago de Querétaro, Qro. 198 p.

Valverde G. M. E. 1992. Estudios sobre la infección de *Ustilago maydis* (huitlacoche) y sus características alimentarias. Tesis de Maestría. Irapuato: CINVESTAV (Centro de Investigación y de Estudios Avanzados), Instituto Politécnico Nacional. 109 p.

Valverde G. M. E., P. M. Fallah, M. S. Zavala-Gallardo, J. K. Pataky, O. Paredes-López, and W. L. Pedersen. 1993. Yield and quality of huitlacoche on sweet corn inoculated with *Ustilago maydis*. Horticultural Science 28(8): 782–785.

Valverde G. M. E., O. Paredes-López J. K. Pataky and F. Guevara Lara. 1995. Huitlacoche (*Ustilago maydis*) as a food source. Biology, composition, and production." Critical Reviews in Food Science and Nutrition 35(3): 191-229.

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

Villanueva V. C., D. Cruz, D. Molina J., F. Castillo and E. Zavaleta. 1999. Artificial induction of "Huitlacoche" (*Ustilago maydis*): influence of different conditions in the field. Micología Neotropical Aplicada 12: 41-57.

Villanueva V. C. 1995. Estudios de la reacción del maíz al carbón común o huitlacoche (*Ustilago maydis*). Tesis de Doctor en Ciencias. Programa de Genética. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 133 p.

Ville C. A. 1991. Biología. Traducida, al español por R. Espinosa Zarza. 7a. ed. McGraw-Hill. México. pp llO, 151-159, 754-755.