



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

ENSEÑAR LA EXPLOTACIÓN DE LA TIERRA, NO LA DEL HOMBRE

**DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA
INSTITUTO DE HORTICULTURA**

**ESTUDIOS DE LA REACCIÓN DEL MAÍZ AL
HUITLACOCHÉ CON FINES DE PLANIFICACIÓN DE
LA COSECHA**

TESIS

COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

PRESENTA:

CUAUHTÉMOC ESCALANTE PÉREZ



DIRECCIÓN GENERAL ACADÉMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXÁMENES PROFESIONALES

CHAPINGO, MEXICO. MAYO DE 2013

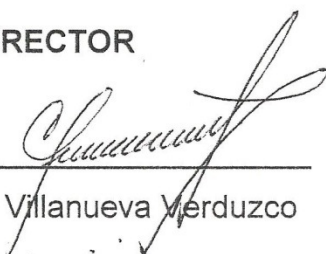


**ESTUDIOS DE LA REACCIÓN DEL MAÍZ AL HUITLACOCHÉ
CON FINES DE PLANIFICACIÓN DE LA COSECHA**

Tesis realizada por CUAUHTÉMOC ESCALANTE PÉREZ, bajo la
dirección del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y
aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

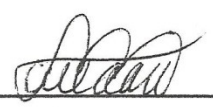
MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

DIRECTOR



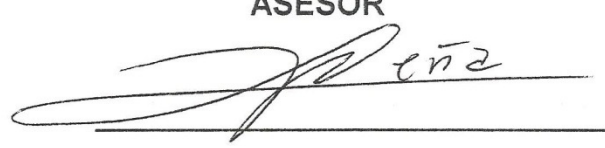
Dr. Clemente Villanueva Verduzco

ASESOR



Dr. Jaime Sahagún Castellanos

ASESOR



Dr. Aureliano Peña Lomelí

DATOS BIOGRÁFICOS

El autor de la presente tesis, Cuauhtémoc Escalante Pérez nació el 17 de enero de 1980 en la Ciudad de Pachuca, Estado de Hidalgo. Realizó los estudios de preparatoria en el Centro de Bachillerato Tecnológico industrial y de servicios No. 59, en Ciudad Sahagún, Hidalgo de 1995 a 1998 donde recibió el título de técnico Electromecánico. De 1998 a 2003 realizó los estudios de licenciatura en la Universidad Autónoma Chapingo, Estado de México donde escribió la tesis de “Inducción de variabilidad genética en *Poliantes* tuberosa L. mediante radiaciones gamma de ^{60}Co .” y obtuvo el título de ingeniero Agrónomo con especialidad en Fitotecnia. De 2003 a 2005 laboró como asesor independiente en cultivos en el Sur del Estado de Zacatecas. De 2006 a 2011 laboró como Prestador de Servicios Profesionales para proyectos productivos en el Estado de Hidalgo. En enero de 2011 ingresó a la maestría en Ciencias en Horticultura en el área de Olericultura con la investigación de “Estudios de la reacción del maíz al huitlacoche con fines de planificación de la cosecha”

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de a Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo económico otorgado para obtener este grado académico.

A la Universidad Autónoma Chapingo y al Instituto de Horticultura por todos los conocimientos que me brindaron para mi formación profesional en este nivel de Maestría.

Al Dr. Clemente Villanueva Verduzco, por la buena dirección en la presente investigación, apoyos brindados en cada etapa de elaboración del trabajo hasta su culminación.

Al Dr. Jaime Sahagún Castellanos y Dr. Aureliano Peña Lomelí por la minuciosa revisión de este trabajo.

Al Sr. Maximino Ramírez Ayala, por el apoyo brindado en la fase de campo.

A Samantha Vaca Viguera, que me brindó su apoyo para la realización de esta investigación.

A mis compañeros de maestría Gabriela, Thedy, Misael, Gerdiel, Erick que me brindaron su apoyo para la realización de esta investigación.

A todas las personas que de una u otra forma contribuyeron al desarrollo de este trabajo.

Dedicatoria

A mi madre

Margarita Pérez Melchor por el apoyo en todas las formas, el amor que me brindó y toda la confianza que tuvo en mí para el logro de esta fase de preparación profesional. Sin ti sería muy difícil el logro de mi objetivo en esta vida, gracias.

A mis hermanos

Roberto y Gabriel por la confianza que ha existido entre nosotros y apoyo incondicional que me brindaron, sobresaliendo en los momentos difíciles que nos tocó vivir juntos, agradezco todo lo que han hecho por mí.

ÍNDICE DE CONTENIDO

INDICE DE CONTENIDO.....	i
INDICE DE CUADROS.....	ii
INDICE DE FIGURAS.....	iv
RESUMEN GENERAL	v
GENERAL ABSTRACT	v
LITERATURA CITADA	viii

CAPÍTULO I

REACCIÓN DE HÍBRIDOS COMERCIALES DE MAÍZ A DIFERENTES FORMULACIONES DE INÓCULO DE HUITLACOCHÉ.....	1
RESUMEN.....	2
ABSTRACT	2
INTRODUCCIÓN.....	3
MATERIALES Y MÉTODOS	5
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	12
CONCLUSIONES.....	30

CAPÍTULO II

DINÁMICA DEL RENDIMIENTO A TRAVÉS DE LOS CORTES DE HUITLACOCHÉ EN NUEVE HÍBRIDOS COMERCIALES DE MAÍZ	33
RESUMEN.....	34
ABSTRACT	34
INTRODUCCIÓN.....	36
MATERIALES Y MÉTODOS	38
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	42
CONCLUSIONES.....	49
LITERATURA CITADA	50
DISCUSIÓN GENERAL	52
CONCLUSIONES GENERALES	54

INDICE DE CUADROS

CAPITULO I

CUADRO 1. Características agronómicas de los híbridos evaluados 2012	6
CUADRO 2. Cuadrados medios de 10 caracteres de la reacción del maíz a la inoculación con esporidias de huitlacoche 2011.....	14
CUADRO 3. Comparación de medias para 10 caracteres evaluados en 40 híbridos comerciales de maíz por su reacción a la inoculación controlada de huitlacoche 2011	15
CUADRO 4. Correlaciones fenotípicas para 10 caracteres evaluados en 40 híbridos comerciales de maíz por su reacción a la inoculación controlada de huitlacoche 2011.	15
CUADRO 5. Cuadrados medios de 10 caracteres en la relación huésped- patógeno entre maíz (<i>Zea mays</i> L.) y la formulación con esporidias de huitlacoche (<i>Ustilago maydis</i> (D.C.) Cda). 2011	17
CUADRO 6. Comparación de medias de nueve híbridos de maíz para 10 caracteres evaluados por su reacción a la inoculación con formulación esporidias de huitlacoche (<i>Ustilago maydis</i> (D.C.) Cda) y Maíz. 2011	18
CUADRO 7. Cuadrados medios de 10 caracteres en la relación huésped- patógeno entre maíz (<i>Zea mays</i> L.) y la formulación con teliosporas de huitlacoche (<i>Ustilago maydis</i> (D.C.) Cda). 2012.	20
CUADRO 8. Comparación de medias de nueve híbridos de maíz para 10 caracteres evaluados por su reacción a la inoculación con formulación de teliosporas de huitlacoche (<i>Ustilago maydis</i> (D.C.) Cda) y Maíz. 2012.....	21
CUADRO 9. Correlaciones fenotípicas para 10 caracteres evaluados en nueve híbridos comerciales de maíz por su reacción a la inoculación con formulación de teliosporas de huitlacoche 2012.	21
CUADRO 10. Cuadrados medios de 10 caracteres en la relación huésped-patógeno entre maíz (<i>Zea mays</i> L.) y huitlacoche (<i>Ustilago maydis</i> (D.C.) Cda). Análisis combinado modelo no factorial.	23

CUADRO 11. Comparación de medias de nueve híbridos de maíz para 10 caracteres evaluados por su reacción a la inoculación con formulación de teliosporas y esporidias de huitlacoche (<i>Ustilago maydis</i> (D.C.) Cda) y Maíz. 2012. Análisis combinado no factorial.....	24
CUADRO 12. Cuadrados medios de 10 caracteres en la relación huésped-patógeno entre maíz (<i>Zea mays</i> L.) y huitlacoche (<i>Ustilago maydis</i> (D.C.) Cda). Análisis combinado modelo factorial.....	26
CUADRO 13. Comparación de medias en nueve híbridos de maíz con dos formulaciones para 10 caracteres evaluados en la relación huitlacoche (<i>Ustilago maydis</i> (D.C.) Cda) y Maíz. Análisis combinado factorial (2011 y 2012).....	28
CUADRO 14. Comparación de medias en nueve híbridos de maíz con dos formulaciones en cada uno de los 10 caracteres evaluados en la relación huitlacoche (<i>Ustilago maydis</i> (D.C.) Cda) y Maíz. Análisis combinado factorial (2011 y 2012)	29
CUADRO 15 Correlaciones fenotípicas entre 10 caracteres evaluados en la relación huitlacoche (<i>Ustilago maydis</i> (D.C.) Cda) y Maíz. Análisis combinado modelo factorial 2011 y 2012.	30

CAPITULO II

CUADRO 1. Distribución del rendimiento por corte en nueve híbridos comerciales de maíz inoculados con formulación basada en teliosporas de huitlacoche. 2012.	40
--	----

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPITULO I

- FIGURA 1. Rendimiento obtenido por híbridos de maíz en respuesta de la formulación aplicada. Cada punto es la media de 4 repeticiones $\pm$ error estándar. Valores con la misma letra de columnas son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$. Análisis combinado..... 27

CAPITULO I

- FIGURA 1. Producción de agallas de huitlacoche de primera y segunda calidad cosechadas en cuatro cortes en híbridos comerciales de maíz, cada punto es la media de 4 repeticiones $\pm$ error estándar. Valores con la misma letra de columnas son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$ 42

- FIGURA 2. Producción de agallas de huitlacoche de primera y segunda calidad en nueve híbridos comerciales de maíz, cada punto es la media de 4 repeticiones $\pm$ error estándar. Valores con la misma letra de columnas son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$ 42

- FIGURA 3. Representación gráfica de la dinámica de cosecha de huitlacoche obtenida mediante siembras semanales sucesivas de una hectárea, con el híbrido Cronos. (A): traslape de cosechas y (B): sumatoria de cosechas traslapadas. I: primer corte; II: segundo corte; III: tercer corte; IV: cuarto corte. 45

- FIGURA 4. Representación gráfica de la dinámica de cosecha de huitlacoche obtenida mediante siembras semanales sucesivas de una hectárea, con el híbrido Dk- 2042. (A): traslape de cosechas y (B): sumatoria de cosechas traslapadas. I: primer corte; II: segundo corte; III: tercer corte; IV: cuarto corte. 46

ESTUDIOS DE LA REACCIÓN DEL MAÍZ AL HUITLACOCHÉ CON FINES DE PLANIFICACIÓN DE LA COSECHA STUDIES OF THE REACTION OF CORN TO HUITLACOCHÉ FOR PLANNING PURPOSES OF THE HARVEST

Cuauhtémoc Escalante Pérez¹ y Clemente Villanueva Verduzco²

RESUMEN GENERAL

El huitlacoche (*Ustilago maydis* Cda.) es un nuevo cultivo con gran potencial productivo y económico en la región del Centro de México. Su consumo se incrementa y existe la necesidad de hacer más eficiente las técnicas de producción porque es un cultivo condicionado a la presencia de condiciones ambientales favorables, para que el inóculo actúe en el hospedero susceptible y ocurra una infección, desarrollo y crecimiento eficiente del hongo en el maíz cultivado. No existen antecedentes de la producción del hongo con diferentes formulaciones de inóculo. Por lo tanto, la presente tesis tuvo como objetivos: 1. Identificar híbridos comerciales susceptibles a la inoculación artificial de huitlacoche con formulaciones a base de teliosporas y de esporidias, a cielo abierto. 2. Evaluar eficiencia y tipos de formulación basadas en esporidias y teliosporas sobre el rendimiento y calidad del huitlacoche. 3. Analizar la dinámica de cosecha a través de los cortes de huitlacoche en los híbridos inoculados artificialmente en campo abierto y determinar un plan de siembra para obtener cosechas a nivel comercial durante todo el año en una unidad de producción intensiva de huitlacoche en un clima subtropical. El rendimiento de huitlacoche en los híbridos de maíz fue 46 % mayor con la formulación de teliosporas que con la formulación de esporidias. El rendimiento de huitlacoche en los híbridos Cronos y Dk-2042 fue de 1.47 t·ha⁻¹ y 1.17 t·ha⁻¹ respectivamente con la formulación de esporidias y con la formulación de teliosporas ambos híbridos produjeron 4.5 t·ha⁻¹. El corte dos es el punto de cosecha más alto (50 a 75% del rendimiento total) en nueve híbridos. Los híbridos Cronos y Dk-2042 fueron más sobresalientes con base en sus rendimientos y calidad de agallas por lo que pueden ser utilizados en un sistema de producción intensiva de huitlacoche

PALABRAS CLAVE ADICIONALES: *Ustilago maydis*, Formulaciones, susceptibilidad, Cosecha y Rendimiento.

1 Tesista.
2 Director.

GENERAL ABSTRACT

Huitlacoche (*Ustilago maydis* Cda.) is a new crop with high productive potential and economic in the central region of Mexico. Its consumption is increased, and there is need for more efficient production techniques as it is a culture conditioned to the presence of favorable environmental conditions inoculum virulent and susceptible host the infection to occur, development and efficient growth of the fungus in corn cultivated. There is not any research related to huitlacoche production using different inoculum formulations. Therefore, this research was performed with the following objectives: 1. Identify commercial hybrids susceptible to artificial inoculation with huitlacoche based formulations teliospores and sporidia, in the open. 2. Evaluate efficiency and formulation types sporidia and teliospores based on yield and quality of huitlacoche. 3. Analyze the dynamics of harvest through huitlacoche cuts in hybrids artificially inoculated in the open and determine a plan for planting a commercial crop throughout the year in intensive production unit huitlacoche in a subtropical climate. The hybrids yield of huitlacoche was 46 % higher in the formulation of teliospores than in the formulation of sporidia. The yield of huitlacoche in hybrids Cronos and Dk-2042 was 1.47 t · ha⁻¹ and 1.17 t · ha⁻¹, respectively with the formulation of sporidia and teliospores formulating both hybrids produced 4.5 t · ha⁻¹. The second harvest is the highest point of harvest (50-75% of total yield) in nine hybrids. Hybrids Cronos and Dk-2042 were outstanding based on yields and gall quality, so that, they can be used on an intensive cropping system of huitlacoche.

ADDITIONAL KEY WORDS: *Ustilago maydis*, formulation, Susceptibility, harvest y Yield.

INTRODUCCIÓN GENERAL

Actualmente el huitlacoche (*Ustilago maydis* Cda.) es un nuevo cultivo con gran potencial productivo y económico en la región del Centro de México. Desde 2006 su producción artificial es una realidad en México, donde ya es considerado un nuevo cultivo (Villanueva *et al.*, 2007).

Es un alimento con características nutrimentales muy atractivas y sabor único que se produce en plantas de maíz por la infección del hongo *Ustilago maydis* (Cda.) (Valverde y Paredes-López, 1993). En Valles Altos de México, donde más se consume, es considerado una delicadeza culinaria y es donde el hongo tiene su mayor mercado (Madrigal-Rodríguez *et al.*, 2010). En algunas regiones de México, Estados Unidos y Europa, se está incrementando notablemente su consumo.

La importancia antropocéntrica del huitlacoche se puede concebir desde dos puntos de vista: uno negativo como enfermedad, debido a las pérdidas significativas que puede ocasionar al cultivo del maíz para grano, llegando a ser cercanas a 100% en algunos campos de maíz dulce (Agrios, 2005); y el otro positivo, por la arraigada tradición de uso como alimento humano en la región central de México (Villanueva, 1995).

La tecnología mexicana que actualmente es utilizada para la producción comercial artificial de huitlacoche está basada en algunos híbridos comerciales para la producción de elote (Martínez, 1999), utilizando como inóculo formulaciones con esporidias de cepas purificadas, siendo esto último el mayor problema técnico ya que existe la dependencia de un laboratorio con excelentes características de asepsia y de personal capacitado para producir inóculo purificado, haciendo así una labor esclavizante y puntual en el laboratorio. En el campo también se tienen problemas principalmente en la aplicación de la formulación con esporidias, ya que ese inóculo tiene una caducidad de cuatro días después de su elaboración (Villanueva, 1995).

La sincronización de siembra y cosecha es una decisión crítica, que depende del equilibrio entre las posibles condiciones atmosféricas y el grado de madurez de la cosecha, así como también de las demandas de mercado. Las condiciones

atmosféricas tales como heladas o períodos fríos y calientes fuera de temporada pueden afectar a la producción y su calidad (Christensen, 1963). Una cosecha más temprana puede evitar las condiciones perjudiciales pero dar lugar a una producción más pobre en cantidad, calidad y precio (Villanueva *et al.*, 2007).

Considerando lo anterior, los objetivos de la presente investigación fueron:

1. Identificar híbridos comerciales susceptibles a la inoculación artificial de huitlacoche (*Ustilago maydis*) con formulaciones de inóculo a base de teliosporas y de esporidias, a cielo abierto.
2. Evaluar eficiencia y tipos de formulación basadas en esporidias y teliosporas sobre el rendimiento y calidad del huitlacoche.
3. Analizar la dinámica de cosecha a través de los cortes de huitlacoche en los híbridos inoculados artificialmente en campo abierto y determinar un plan de siembra para obtener cosechas a nivel comercial durante todo el año en una unidad de producción intensiva de huitlacoche en un clima subtropical.

Hipótesis

Entre los numerosos híbridos comerciales de maíz disponibles para la producción de grano, existen algunos más susceptibles a la inoculación artificial y por lo tanto útiles para la producción planificada de huitlacoche con diferentes tipos de formulación del inóculo.

LITERATURA CITADA

- Agrios, G. N. 2005. Plant pathology. 5th ed. Academic Press. USA. 922 p
- Christensen, J. J. 1963. Corn smut caused by *Ustilago maydis*. Published by the American Phytopathological Society. Department of Plant Pathology and Botany. Institute of Agriculture, University of Minnesota, St. Paul. 41 p.
- Martínez M., L. 1999. Mejoramiento de la virulencia del hongo y la susceptibilidad y resistencia del maíz al huitlacoche (*Ustilago maydis* Cda.). Tesis de Maestría en Horticultura. Departamento de Fitotecnia. UACH. Chapingo, México. 101 p.
- Madrigal-Rodríguez, J., Villanueva-Verduzco, C., Sahagún-Castellanos, J., Acosta-Ramos, M., Martínez-Martínez, L., and Espinosa-Solares, T. 2010. Production test of greenhouse hydroponic huitlacoche (*Ustilago maydis* Cda.). Revista Chapingo Serie Horticultura 16 (3): 177 – 182.
- Valverde, M. E. and Paredes-López, O. 1993. Production and evaluation of some food properties of huitlacoche (*Ustilago maydis* Cda.). Journal Article 7(3): 207-219.
- Villanueva V., C. 1995. Estudios de la reacción del maíz al huitlacoche (*Ustilago maydis*). Tesis de Doctorado en Ciencias. Programa de Genética. Colegio de posgraduados. Montecillos México. 133 p.
- Villanueva V., C.; R. E. Sánchez y E. Villanueva S. 2007. El huitlacoche y su cultivo. Editorial Mundi Prensa. Distrito Federal, México. 96 p.

CAPÍTULO I

REACCIÓN DE HÍBRIDOS COMERCIALES DE MAÍZ A DIFERENTES FORMULACIONES DE INÓCULO DE HUITLACOCHÉ

REACCIÓN DE HÍBRIDOS COMERCIALES DE MAÍZ A DIFERENTES FORMULACIONES DE INÓCULO DE HUITLACOCHÉ REACTION OF COMMERCIAL CORN HYBRIDS TO DIFFERENT FORMULATIONS OF HUITLACOCHÉ INOCULUM

C. Escalante-Perez¹; C. Villanueva-Verduzco^{2¶}; J. Sahagún-Castellanos²; A. Peña-Lomelí²

¹Maestro en Ciencias en Horticultura, Universidad Autónoma Chapingo, km 38.5 Carretera México – Texcoco Chapingo, Estado de México, C. P. 56230 MÉXICO. Correo-e:cuauhtemoc@live.com.mx.

²Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo, km 38.5 Carretera México-Texcoco. Chapingo, Estado de México, C. P. 56230 MÉXICO. Correo-e:clemente@correo.chapingo.mx, (¶ Autor responsable), jsahagun@correo.chapingo.mx.

RESUMEN

Para identificar híbridos comerciales de maíz y formulaciones de inóculo más eficientes para la producción de huitlacoche a cielo abierto, se realizaron dos experimentos. En el primero se inocularon nueve híbridos con una formulación de 10^6 esporidias·ml⁻¹ y el segundo nueve híbridos con una formulación de 10^6 teliosporas·ml⁻¹. Los híbridos se inocularon en el "jilote" cuando los estigmas presentaron una longitud expuesta de 5 cm, colocando 1 cm³ de inóculo en tres sitios equidistantes del "jilote" en el centro de cada tercio de los mismos. En ambos ensayos individuales y en el análisis combinado (promedio) de los dos experimentos, los mejores híbridos fueron Cronos y Dk-2042. Ambos con una producción en campo abierto de 4.5 t·ha⁻¹ con la formulación de teliosporas, y con la formulación de esporidias se obtuvieron 1.47 t·ha⁻¹ y 1.17 t·ha⁻¹, respectivamente.

PALABRAS CLAVE ADICIONALES: *Zea mays*, *Ustilago maydis*, Cuitlacoche, Susceptibilidad, Rendimiento.

ABSTRACT

In order to identify the most efficient commercial corn hybrids and inoculum formulation for the production of huitlacoche in open field, two experiments were conducted. In the first experiment, nine corn hybrids were inoculated with a formulation of 10^6 sporidia · ml⁻¹. In the second nine hybrids with a formulation of 10^6 teliospores · ml⁻¹. Young ears were inoculated when stigmas were 5 cm long. One cm³ of inoculum was injected at three equidistant points along the ear in the middle of each third of the ear. In both individual assays and the combined analysis of the two experiments, the best hybrids were Cronos and Dk-2042. Both hybrids yielded 4.5 t·ha⁻¹ with teliospore formulation in open field. Moreover the hybrids 1.47 t·ha⁻¹ and 1.17 t·ha⁻¹ with sporidia formulation yielded.

ADDITIONAL KEY WORDS: *Zea mays*, *Ustilago maydis*, Cuitlacoche, Susceptibility, Yield.

INTRODUCCIÓN

La producción de hongos comestibles es una alternativa importante para satisfacer las necesidades alimenticias de la población y generar fuentes de empleo (Bermúdez *et al.*, 2003). Actualmente es tema de investigación por numerosos especialistas preocupados para desarrollar nuevos conocimientos como aspectos taxonómicos, ecológicos, genéticos y recientemente, en los temas farmacológicos y bioquímicos (Bolker, 2001). Uno de los aspectos más explotados es su utilización como alimento humano, por su fácil y masiva propagación en sustratos naturales y sus características organolépticas, nutricionales y medicinales (Guzmán, 1994 y Lee *et al.*, 2006)

El huitlacoche (*Ustilago maydis* Cda.) es una de las pocas especies de hongos comestibles, que para su cultivo artificial requiere un hospedante vivo, que es el cultivo de maíz (Agrios, 2005). En México desde épocas prehispánicas la cultura Azteca lo consideraba un ingrediente básico en la preparación de platillos (Ruiz-Herrera y Martínez-Espinoza, 1998)

En ensayos experimentales y comerciales se obtiene mayor rendimiento de huitlacoche cuando se inocula la mazorca en etapa de jilote (Pataky y Chandler, 2003); llegando a rendimientos experimentales de hasta $12 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ de hongo fresco limpio a cielo abierto (Martínez- Martínez *et al.*, 2000) y $29.8 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ en invernadero (Madrigal-Rodríguez *et al.*, 2010). Para producir huitlacoche se requiere que el genotipo de maíz (hospedero) sea susceptible al hongo, que el patógeno sea virulento y que el ambiente sea favorable con 80- 85% de humedad relativa y una temperatura de 16-32 °C (Walbot y Skibbe, 2010).

La tecnología utilizada en México para la producción comercial de huitlacoche está basada en algunos híbridos comerciales para la producción de elote y grano, utilizando como inóculo formulaciones con esporidias de cepas purificadas las que una vez formulados son de corta duración (Villanueva, *et al.*,

2007). Esto último es el mayor problema técnico ya que existe la dependencia de un laboratorio con excelentes características de asepsia de personal capacitado para una labor perseverante, continuada y precisa en el laboratorio (Martínez-Martínez *et al.*, 2000). En el campo también se tienen problemas principalmente con esporidias que se aplican al jilote, ya que ese inóculo tiene una caducidad de cuatro días después de su elaboración (Villanueva *et al.*, 2007).

La búsqueda de híbridos comerciales susceptibles al huitlacoche es una actividad permanente, debido a que periódicamente aparecen en el mercado nuevos materiales y se retiran otros con características deseables para ser utilizados como cultivo hospedero (León-Ramírez *et al.*, 2004). Estas características pueden ir desde la altura de la mazorca, precocidad en días a cosecha y potencial de rendimiento de huitlacoche (Madrigal-Rodríguez *et al.*, 2010). Esto a su vez marca la necesidad de retomar los principios para el desarrollo de formulaciones con mayor longevidad y capacidad infectiva, para obtener producción de huitlacoche planificada y programada, con técnicas más flexibles en tiempo y actividades operativas.

Objetivos

1. Identificar híbridos comerciales susceptibles a la inoculación artificial de huitlacoche (*Ustilago maydis*) con formulaciones de inóculo a base de teliosporas y de esporidias.
2. Evaluar el efecto de los factores variedades híbridas y tipo de formulación sobre el rendimiento y calidad de huitlacoche.

Hipótesis

Entre los numerosos híbridos comerciales de maíz para la producción de grano, existen algunos más susceptibles a la inoculación artificial y por lo tanto útiles para la producción de huitlacoche con diferentes tipos de formulación del inóculo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del sitio experimental

El experimento se estableció en el Campo Agrícola Experimental “San Martín” de la Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo México, el cual se encuentra ubicado entre los paralelos 19° 29' LN y 98° 53' LW a una altura de 2250 msnm. El tipo climático es Cb (wo) (i')g, es decir, templado subhúmedo con verano fresco y largo, con una temperatura promedio anual 15 °C en promedio, con lluvias en verano y una precipitación invernal menor de 5%. La temperatura media del mes más frío es 11.8 °C en enero y la del mes más caliente de 17.9 °C en mayo, por lo que existe poca oscilación térmica; la precipitación media anual es de 636.5 mm García (1998).

Variedades híbridas

En el primer experimento (2011) se evaluaron 40 híbridos comerciales utilizados principalmente para la producción maíz para grano, estos fueron: (1) Anaconda, (2) Aries, (3) A-7573, (4) AS-820, (5) AS-900, (6) BD-33, (7) Bucanero, (8) Bisonte, (9) BD-22, (10) BD-55, (11) Campanero, (12) Caimán, (13) Cronos, (14) Cóndor, (15) Cebú 1, (16) Cebú 2, (17) Colorado, (18) Coyote1, (19) Cazador, (20) DK-2042, (21) DK-2022, (22) DK-2002, (23) Gladiador, (24) Gatillero, (25) H-159, (26) H-155, (27) H-319, (28) HD-313, (29) H-161, (30) H-40, (31) Jabalí, (32) Matador, (33) Milenio, (34) Sultán 1, (35) Sultán 2, (36) SB-308, (37) SB-101, (38) SB-102, (39) Z-60 y (40) Zorro 2010.

En el segundo experimento (2012) sólo se incluyeron los nueve mejores híbridos comerciales del primer experimento (Cuadro 1), según su rendimiento de huitlacoche, incidencia, y severidad.

CUADRO 1. Características agronómicas de los híbridos evaluados 2012

Híbridos evaluados	Casa comercial	Ciclo vegetativo	Días a floración (masculina)	Altura de planta (cm)	Altura de mazorca (cm)
1. Anaconda	Sem. Garcia 2011	Intermedio	70	200	110
2. A – 7573	Asgrow 2011	Precoz	68	210	120
3. Caimán	Asgrow 2011	intermedio	74	210	120
4. Campanero	Power seed – 2010	Precoz	72	230	130
5. Cronos	Unisem 2010	intermedio	70	220	120
6. Dk- 2042	Dekalb 2011	Intermedio	73	260	155
7. Gatillero	Power seed – 2010	Precoz	75	230	120
8. Gladiador	Power seed – 2010	Tardío	85	260	140
9. Sultán 1	Filmex 2010	Precoz	75	260	140

Fuente: ficha técnica de los híbridos

El primer experimento se estableció el 16 de mayo de 2011 y el segundo, el 04 de abril de 2012 ambos en el sistema de punta de riego.

Diseño y unidad experimental

Ambos experimentos se establecieron en un diseño completamente al azar con cuatro repeticiones. Para los dos experimentos la unidad experimental fueron parcelas con 10 surcos de 32 metros de longitud con 75 plantas por surco a una densidad de 62,500 plantas por hectárea.

Obtención del inóculo

El inóculo usado en el primer experimento (2011) fueron esporidias de cepas derivadas de experimentos anteriores ubicadas en un cepario con esporidias aletargadas en aceite mineral estéril. Las cepas se reactivaron e incrementaron en cajas de Petri con medio de cultivo PDA (Papa Dextrosa Agar), incubadas a 30 °C durante cuatro días con 500 mg de cloranfenicol por litro de medio de cultivo, para después ajustar en agua destilada estéril a una densidad de 10^6 esporidias·ml⁻¹, previamente a la inoculación (Villanueva *et al.*, 2007).

En el segundo experimento el inóculo se formuló con base en teliosporas de *Ustilago maydis*, proveniente de mazorcas agalladas con “totomoxtle”, frescas para lo cual fueron preparadas seleccionando visualmente agallas limpias, integras en su peridio, sin maltrato y que no presentaran coloraciones atípicas. Después se procedió a hacer la mezcla física de las teliosporas incluido el peridio para después filtrar y ajustar en agua destilada estéril a una densidad de 10^6 teliosporas·ml⁻¹. Se agregaron 500 mg de cloranfenicol por litro de inóculo.

Manejo del experimento

Labores culturales

Se aplicó al terreno en presiembra 400 g. de Hortic plus[®]. ha⁻¹ (micorriza). Se le aplicaron cinco riegos, el primero y el segundo uno y ocho días después de la siembra respectivamente; y los últimos tres riegos después del segundo en intervalos aproximados a 15 días, procurando mantener el suelo a ± 75 % de capacidad de campo considerando el abasto de humedad por las lluvias.

Se realizó un paso con la cultivadora 20 días después de la siembra, y a los 10 días después se aporcó. Una mezcla de herbicida (1L de Hierbamina[®] + 1 kg de Gesaprim[®] calibre 90 ·ha⁻¹) se aplicó en preemergencia en húmedo con un asperjet montado al tractor. Después del aporque se aplicó la misma dosis de la mezcla de herbicidas con bomba de mochila aspersora manual. La fertilización fue con la fórmula 138-68-00 en dos aplicaciones, la primera al 50 % del nitrógeno y 100 % fosforo; y la aplicación del resto de nitrógeno se realizó 30 días después de la germinación, lo cual correspondió al momento del aporque.

Inoculación

Las aplicaciones fueron divididas en dos momentos debido a que algunos de los híbridos presentaron dos jilotes por planta. Tres inyecciones de 1 ml fueron

aplicadas por jilote, cada una en el punto medio de los tres tercios en que se puede dividir al jilote. La densidad en la suspensión fue de 10^6 esporas·ml⁻¹ (Villanueva *et al.*, 2007). En el experimento uno se usaron esporidias y en el dos teliosporas. Cada cierto periodo de uso de la jeringa, se lavaba con alcohol al 96 % para evitar contaminaciones y la propagación de otros hongos y bacterias.

Cosecha y registro de datos

La cosecha se realizó en dos fechas. La primera fue los días 9 y 10 de septiembre del 2011 en el primer experimento, a los 35 y 36 días después de la inoculación; y los días 20, 27 de agosto del 2012 en el segundo experimento (a los 36 y 37 días después de la inoculación). La segunda cosecha en ambos experimentos se hizo 15 días después de la primera, esto debido a que el desarrollo de las agallas en las mazorcas no fue uniforme. El indicador de la cosecha fue el abultamiento de las mazorcas (elotes) por agallas aun sin eclosionar por completo y sin emerger del totomoxtle, aunque en algunas mazorcas las agallas ya habían emergido de ellas, aproximadamente a los 25 días después de la inoculación.

Variables de estudio

Grados de severidad (SEV)

Se definieron cinco grados de severidad de desarrollo de las agallas en el elote: SEV1, SEV2, SEV3, SEV4 y SEV5, que corresponden a 0, 25, 50, 75 y 100% de cubrimiento de la mazorca por las agallas del huitlacoche, respectivamente. En el análisis de datos sólo se incluyeron los grados SEV2 al SEV5 debido a que SEV1 eran mazorcas donde no ocurrió el desarrollo de agallas (Villanueva, 1999).

Dentro de cada grupo de severidad se realizó un conteo del número de jilotes y se determinó el peso promedio del hongo libre de la mazorca (solo agallas), con lo

que se calculó el porcentaje de las mazorcas infectadas por categoría respecto al total de las mazorcas inoculadas.

Porcentaje de incidencia (PI)

El porcentaje de incidencia se determinó cuantificando el número total de plantas infectadas sobre el total de las plantas inoculadas en cada uno de los tratamientos, expresado en porcentaje, utilizando la siguiente fórmula (Villanueva *et al.*, 1999):

$$PI (\%) = \left[\frac{(No. Elotes SEV2) + No. Elotes SEV3 + No. Elotes SEV4 + (No. Elotes SEV5)}{total de elotes inoculados} \right] \times 100$$

Dónde: **PI**: porcentaje de incidencia; **SEV2**: cubrimiento de la mazorca en 25 %, con agallas de huitlacoche; **SEV3**: cubrimiento de la mazorca en 50 %, con agallas de huitlacoche; **SEV4**: cubrimiento de la mazorca en 75 %, con agallas de huitlacoche; **SEV5**: cubrimiento de la mazorca en 100 %, con agallas de huitlacoche.

Índice de severidad (ISE)

Se definió como la media ponderada de los grados de severidad, tomando como factor de ponderación al número de plantas en cada grado (categoría) (Villanueva, 1995; Martínez, 1999).

$$ISE (\%) = \left(\frac{(No. pl. SEV2) (0.25) + (No. pl. SEV3) (0.5) + (No. pl. SEV4) (0.75) + (No. pl. SEV5) (1.0)}{Total de elotes inoculados} \right) \times 100$$

Dónde: **ISE**: porcentaje promedio de la mazorca cubierta por agallas; **SEV2**: cubrimiento de la mazorca en 25 %, con agallas de huitlacoche; **SEV3**: cubrimiento de la mazorca en 50 %, con agallas de huitlacoche; **SEV4**:

cubrimiento de la mazorca con 75 %, con agallas de huitlacoche; **SEV5**: cubrimiento de la mazorca en 100 %, con agallas de huitlacoche.

Rendimiento de huitlacoche (kg) por planta infectada (RPLIF)

La estimación del rendimiento de huitlacoche para una hectárea de plantas infectadas se realizó mediante la siguiente fórmula:

$$RPLIF (kg) = \frac{(Peso SEV2 + Peso SEV3 + Peso SEV4 + Peso SEV5)}{Total\ de\ elotes\ infectados}$$

Dónde: **RPLIF**: rendimiento de huitlacoche (kg) por planta infectada; **Peso SEV2**: rendimiento (kg) de huitlacoche de mazorcas con 25 % cubierto por agallas; **Peso SEV3**: rendimiento (kg) de huitlacoche de mazorcas con 50 % cubierto por agallas; **Peso SEV4**: rendimiento (kg) de huitlacoche de mazorcas con 75 % cubierto por agallas; **Peso SEV5**: rendimiento (kg) de huitlacoche de mazorcas con 100 % cubierto por agallas.

Rendimiento de huitlacoche (kg) por planta inoculada (RPLINC)

El rendimiento de huitlacoche por hectárea de las plantas infectadas se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$RPLINC (kg) = \frac{(Peso SEV2 + Peso SEV3 + Peso SEV4 + Peso SEV5)}{Total\ de\ elotes\ inoculados}$$

Dónde: **RPLINC**: rendimiento de huitlacoche (kg) por planta inoculada; **Peso SEV2**: rendimiento (kg) de huitlacoche de mazorcas con 25 % cubierto por agallas; **Peso SEV3**: rendimiento (kg) de huitlacoche de mazorcas con 50 % cubierto por agallas; **Peso SEV4**: rendimiento (kg) de huitlacoche de mazorcas con 75 %

cubierto por agallas; **Peso SEV5**: rendimiento (kg) de huitlacoche de mazorcas con 100 % cubierto por agallas.

Rendimiento de huitlacoche por hectárea (RHA)

El rendimiento en toneladas por hectárea fue calculado mediante la siguiente fórmula:

$$RHA \text{ (ton)} = \frac{62500 (RPLINC)(PI)}{1,000}$$

Dónde: **RHA**: rendimiento de huitlacoche por hectárea (t); **RPLINC**: rendimiento de huitlacoche (kg) por planta inoculada; **PI**: porcentaje de incidencia de 0 a 1; 62,500: densidad de planta por hectárea; 1 000: factor de conversión de $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ a $\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$

Análisis estadístico

Se realizaron análisis de varianza utilizando el paquete estadístico de SAS para cada uno de los experimentos, con el siguiente modelo para un diseño completamente al azar: $Y_{ij} = u + T_i + e_{ij}$; donde $i = 1, \dots, t$ (híbridos comerciales); $j = 1, \dots, r$ (repeticiones); Y_{ij} = valor observado del i -ésimo tratamiento (híbrido de maíz), en la j -ésima repetición; u = media general del experimento; T_i = efecto del i -ésimo tratamiento (híbrido); e_{ij} = error experimental asociado a la observación ij .

Adicionalmente, se efectuó un análisis de varianza combinado, en promedio de los dos experimentos, usando la información proporcionada por los dos experimentos, con los datos de los nueve híbridos comunes (A – 7573, Anaconda, Dk – 2042, Caimán, Campanero, Cronos, Gatillero, Gladiador y Sultán 1), de tal manera que se pudo analizar como un factorial de 9 (híbridos) x 2 (formulaciones), bajo el modelo lineal $Y_{ijk} = u + T_i + D_k + TD_{ik} + e_{ijk}$, donde $i = 1, \dots, t$ (híbridos comerciales); $k = 1, \dots,$

d (formulaciones); $j = 1, \dots, r$ (repeticiones); Y_{ijk} = valor observado del i -ésimo tratamiento (híbrido de maíz), en la k -ésima formulación y en la j -ésima repetición; u = media general del experimento; T_i = efecto del i -ésimo (híbrido); D_k = efecto de la k – ésima formulación; $TD_{(ik)}$ = efecto de la interacción del i -ésimo híbrido con la k – ésima formulación; y e_{ijk} = efecto aleatorio del error experimental asociado a la observación ijk .

Las comparaciones múltiples de medias se hicieron mediante la prueba de Tukey con un nivel de significancia de 5%.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Experimento 1. Reacción de 40 híbridos comerciales de maíz (2011) a la formulación con esporidias de huitlacoche

El Cuadro 2 muestra los cuadrados medios del análisis de varianza para 10 variables evaluadas. Sólo fueron analizados 32 de los 40 híbridos ya que en los 8 híbridos faltantes no fue posible obtener datos de ellos debido a que las plantas de maíz murieron rápidamente después de las heladas ocurridas los días 5 y 7 de septiembre 2011.

Hubo diferencias estadísticas significativas (Cuadro 2) entre híbridos de maíz para todos los caracteres evaluados.

La comparación de medias mostró los mejores rendimientos en los híbridos: Gladiador ($1.88 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$), Sultán 1 ($1.79 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$) Cóndor ($1.67 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$), Campanero ($1.61 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$), y Caimán ($1.57 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$) (Cuadro 3).

En un estudio realizado por Martínez (1999) en la evaluación de familias de medios hermanos a cielo abierto obtuvo un rendimiento de huitlacoche de $12 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$

y Madrigal (2008) encontró un rendimiento de $29.8 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ con variedades híbridas en invernadero, ambos experimentos con formulaciones a base de esporidias; sin embargo, en el presente estudio no se vieron reflejados estos altos rendimientos debido a que hubo daños severos por granizo (24 de agosto del 2011) y heladas (5 y 7 de septiembre 2011) después de la inoculación, influyendo negativamente en la patogénesis y en el tiempo de cosecha. Se sabe que en lugares con clima subtropical los rendimientos a nivel comercial pueden ser no menores de $6 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ a cielo abierto (datos no publicados)

El rendimiento de huitlacoche por hectárea (RHA) se correlacionó alta y positivamente con el porcentaje de incidencia (PI; 0.81^{**}), el índice de severidad (ISE; 0.76^{**}) y el rendimiento por planta infectada (RPINF; 0.82^{**}). por lo que estos caracteres pueden considerarse como componentes del rendimiento por hectárea (Cuadro 4). Los resultados anteriores concuerdan con los encontrados por Madrigal (2008).

La inducción artificial del hongo depende de las condiciones ambientales favorables que conducen a la infección del carbón (Pataky, 1991). El bajo rendimiento observado en los grados de severidad SEV4 y SEV5 (cubrimiento de mazorca por agallas 75 y 100 %) en todos los híbridos fue debido al efecto de granizadas y heladas fenómenos climatológicos que afectaron negativamente al cultivo, 24 de agosto; 5 y 7 de septiembre 2011 respectivamente. La granizada provocó una baja capacidad fotosintética por el rompimiento de las hojas atrasando drásticamente el desarrollo de los híbridos. Las heladas provocaron principalmente la muerte del follaje y de muchas plantas inoculadas, aumentando el valor de la SEV1 y SEV2 (0 y 25 % de cubrimiento de mazorca por agallas) (Cuadro 3).

CUADRO 2. Cuadrados medios de 10 caracteres de la reacción del maíz a la inoculación con esporidias de huitlacoche 2011.

FV	GL	SEV1	SEV2	SEV3	SEV4	SEV5
Tra	31	1144.5**	231.5**	77.2**	42.7**	12.4**
Error	96	8.22	3.61	2.0	0.8	0.28
Total	127	36269.9	7525.9	2591.6	1404.8	413.4
C. V.		9.4	14.1	20.6	26.9	39.0
Media		30.4	13.4	6.8	3.4	1.35

...Continuación

RPLINC	RPLINF	PI	ISE	RHA1
0.0008**	0.0017**	2603.9**	298.1**	1.65**
0.00001	0.00015	15.2	20.34	0.017
0.027	0.068	82189.7	11194.1	53.02
20.9	42.8	8.35	38.5	19.96
0.01	0.029	46.7	11.7	0.67

** : Diferencia significativa ($P \leq 0.05$). Tra: (híbrido), Media: media fenotípica del carácter evaluado; GL: grados de libertad; SEV1, SE2, SEV3, SEV4 y SEV5 grados de severidad de cubrimiento de mazorca por agallas (0, 25, 50, 75 y 100%); RPLINC: rendimiento por planta inoculada (Kg); RPLINF: rendimiento por planta infectada (Kg); PI: porcentaje de incidencia (%); ISE: índice de severidad (%); RHA: rendimiento ($t \cdot ha^{-1}$) de hongo.

El Cuadro 3 también contiene la información obtenida de 4 híbridos (BD – 22, BD – 55, SB – 101 y SB – 102), que si bien fueron muy precoces presentaron muy baja incidencia, severidad y rendimiento. Por lo que estos híbridos no son buenos para producir huitlacoche.

Los 23 híbridos restantes (datos no presentados) por ser muy tardíos generaron rendimientos pobres debido a los severos daños de la granizada y las heladas lo que impidió evaluar la productividad de huitlacoche de estos materiales; pero evidencia la posibilidad de evaluarlos por su reacción al huitlacoche sembrándolos en lugares con clima subtropical.

En promedio general de este experimento el porcentaje de incidencia (PI) fue de 37.4 % (Cuadro 2). Los primeros cuatro híbridos presentados en el Cuadro 3, sin embargo, tienen porcentajes que están muy por arriba de este valor, El híbrido Gladiador muestra un 81 %, seguido de los híbridos Dk- 2042 (76.2 %), Sultán 1 (72.2 %) y Cóndor (70.7%) (Cuadro 3). Estos porcentajes de incidencia indican que existe un alto grado de susceptibilidad al *Ustilago maydis* en estos híbridos.

Martínez (1999) menciona algo equivalente a lo observado aquí, quien obtuvo 92.85 % con el híbrido H – 135 como valor máximo. La diferencia puede ser explicada por los daños causados por los efectos de la granizada que provocó una baja capacidad fotosintética por el rompimiento de las hojas atrasando drásticamente el desarrollo de estos híbridos y las heladas provocaron el desecamiento del follaje de muchas plantas influyendo negativamente en la incidencia.

La media general del índice de severidad (ISE) obtenida en este experimento (2011) fue de 9.3 % (Cuadro 2), valor que es superado con el híbrido Cóndor (43.0 %) siendo superior a todos los demás (Cuadro 3). Contrario a lo esperado este valor es muy similar al obtenido por Martínez (1999), 44.6 % y del de Cruz (2006) 53.12 %, seguramente el efecto nocivo de las heladas y la granizada ocurridas después de la inoculación, influyó negativamente en la patogénesis de los híbridos de estudiados.

CUADRO 3. Comparación de medias para 10 caracteres evaluados en 40 híbridos comerciales de maíz por su reacción a la inoculación controlada de huitlacoche 2011.

Híbrido	SEV1 (Plantas)	SEV2 (Plantas)	SEV3 (Plantas)	SEV4 (Plantas)	SEV5 (Plantas)	RPLINC (kg)	RPLINF (kg)	PI (%)	ISE (%)	RHA (t·ha ⁻¹)
1. Anaconda	15.2 jklmn	13.3 ghijk	9.5 cde	8.5 ab	3.7 bc	0.03 bcd	0.043 abcdefghi	69.2 bcde	17.9 bc	1.29 def
2. Caimán	18.2 ijklm	14.1 fghij	9.2 cde	6.0 cdef	2.0 de	0.039 a	0.062 a	63.7 cdefgh	14.1 bcde	1.57 abcd
3. Campanero	15.4 jklmn	16.4 fghi	10.2 cd	6.0 cdef	3.2 cd	0.037 abc	0.053 abcde	69.27 bcde	16.3 bc	1.61 abcd
4. Cronos	18.0 ijklm	12.2 hijkl	11.2 abcd	7.0 bcd	2.0 de	0.036 abc	0.057 abcd	64.3 cdefg	16.7 bc	1.47 bcde
5. Dk – 2042	13.5 lmn	13.7 ghijk	14.2 a	8.7 ab	5.0 ab	0.024 de	0.032 abcdefghij	76.25 ab	18.1 bc	1.17 efg
6. Gladiador	11.1 mn	16.0 efghi	14.0 ab	10.5 a	6.0 a	0.037 abc	0.045 abcdefghi	81.2 a	19.4 bc	1.88 a
7. Gatillero	20.5 hijklm	11.5 ijklm	10.5 bcd	6.5 bcde	2.2 de	0.037 abc	0.061 ab	60.9 defghij	13.3 bcdef	1.42 cde
8. Sultan 1	15.2 klmn	12.5 hijk	12.5 abc	8.2 abc	4.5 bc	0.04 a	0.055 abcd	72.2 abc	34.4 b	1.79 ab
9. Condor	6.0 j	2.7 no	4.0 hij	3.0 fghi	3.7 bc	0.038 abc	0.05 ab	70.7 abcd	43.0 a	1.67 abcd
10. Sultan 2	22.0 defg	17.5 cdefg	9.7 cd	6.5 bcde	5.0 fg	0.03 bcd	0.04 abcde	60.8 defg	15.2 bcde	1.13 efg
11. Bd – 33	22.3 hijkl	14.2 fghijk	9.5 cde	5.2 defg	1.25 efg	0.029 cd	0.05 abcdefg	58.1 fghijk	12.2 bcdef	1.06 fgh
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
37. BD – 22	69.2 a	0.0 p	0.0 l	0.0 k	0.0 g	0.0 l	0.0 k	0.0 n	0.0 g	0.0 n
38. BD – 55	43.1 ef	0.0 p	0.0 l	0.0 k	0.0 g	0.0 l	0.0 k	0.0 n	0.0 g	0.0 n
39. SB – 101	65.1 ab	0.0 p	0.0 l	0.0 k	0.0 g	0.0 l	0.0 k	0.0 n	0.0 g	0.0 n
40. SB – 102	57.2 bcd	0.0 p	0.0 l	0.0 k	0.0 g	0.0 l	0.0 k	0.0 n	0.0 g	0.0 n
DMSH _{0.05}	7.9	5.24	3.93	2.53	1.46	0.0098	0.034	10.77	12.43	0.369

Medias con la (s) misma (s) letra (s) son estadísticamente iguales, según la prueba de Tukey; DMSH_{T=0.05}: diferencia mínima significativa honesta de Tukey; SEV1, SEV2, SEV3, SEV4 y SEV5: grados de severidad de cubrimiento de mazorca por agallas (0, 25, 50, 75 y 100%); RPLINC: rendimiento por planta inoculada (kg); RPLINF: rendimiento por planta infectada (kg); PI: porcentaje de incidencia (%); ISE: índice de severidad (%); RHA: rendimiento de hongo (t·ha⁻¹).

CUADRO 4. Correlaciones fenotípicas para 10 caracteres evaluados en 40 híbridos comerciales de maíz por su reacción a la inoculación controlada de huitlacoche 2011.

FV	SEV2	SEV3	SEV4	SEV5	RPLINC	RPLINF	PI	ISE	RHA
SEV1	-0.68 **	-0.85 **	-0.76 **	-0.66 **	-0.80 **	-0.68 **	-0.93 **	- 0.80 **	- 0.79 **
SEV2		0.69 **	0.41 **	0.20 *	0.39 **	0.34 **	0.78 **	0.47 **	0.35 **
SEV3			0.85 **	0.67 **	0.77 **	0.63 **	0.92 **	0.68 **	0.76 **
SEV4				0.84 **	0.84 **	0.67 **	0.81 **	0.69 **	0.87 **
SEV5					0.77 **	0.60 **	0.68 **	0.67 **	0.83 **
RPLINC						0.86 **	0.81 **	0.73 **	0.98 **
RPLINF							0.67 **	0.59 **	0.82 **
PI								0.84 **	0.81 **
ISE									0.76 **

Caracteres: SEV1, SEV2, SEV3, SEV4 y SEV5 grados de severidad de cubrimiento de mazorca por agallas (0, 25, 50, 75 y 100 %); RPLINC: rendimiento por planta inoculada; RPLINF: rendimiento por planta infectada; PI: porcentaje de incidencia (%); ISE: índice de severidad (%) y RHA: rendimiento de hongo (t·ha⁻¹).

Producto del análisis anterior con los 40 híbridos comerciales de maíz del año 2011, fueron seleccionados 10 híbridos comerciales de los cuales nueve considerados como mejores híbridos por su capacidad de producción de huitlacoche (Anaconda, Caimán, Campanero Cronos, Dk-2042, Gladiador Gatillero, Cóndor y Sultán 1) a éstos se les sumó el híbrido A-7573 debido a que es el más sembrado en México para producir huitlacoche a cielo abierto a nivel comercial. Pero en el año 2012 no fue posible conseguir semilla a tiempo del híbrido Cóndor. Es por eso que solo se evaluaron estadísticamente estos nueve híbridos inoculados con la formulación de esporidias para después ser comparados solo entre ellos en el experimento 2 (Evaluación de híbridos con formulación teliosporas; 2012).

El Cuadro 5 muestra que hubo diferencias estadísticas altamente significativas ($P \leq 0.01$) entre híbridos para todos los caracteres evaluados.

De acuerdo a la comparación de media los mayores rendimientos de huitlacoche se obtuvieron con los híbridos Gladiador, Sultán 1, Campanero y Caimán, (1.8 1.79, 1.61 y 1.57 t·ha⁻¹, respectivamente) mostrando que fueron iguales estadísticamente entre ellos pero superiores con relación al resto de los híbridos (Cuadro 6). A pesar de que estos materiales fueron afectados por granizadas y heladas hubo una respuesta positiva en la infección del huitlacoche. Una explicación de este resultado, fue debido a que las parcelas fueron aleatorizadas y varios híbridos ubicados en el centro del experimento estaban protegidos por los demás y por lo tanto hubo producción de huitlacoche con rendimientos bajos comparados con los reportados en otros trabajos como el de Martínez (1999) en donde obtuvo un rendimiento de huitlacoche por hectárea de 12 t·ha⁻¹ a cielo abierto.

El porcentaje de incidencia (PI) fue mayor en los híbridos Gladiador y Dk -2042 (81.1 y 76.2 % respectivamente) (Cuadro 6). Estos porcentajes de incidencia indican que existe un alto grado de susceptibilidad al *Ustilago maydis* en estos híbridos. Martínez (1999), menciona algo equivalente a lo observado aquí, quien obtuvo con el híbrido H – 135 un 92.85 % como valor máximo. La diferencia puede

ser explicada por los daños causados por los efectos la granizada que provocó una baja capacidad fotosintética por el rompimiento de las hojas atrasando drásticamente el desarrollo de estos híbridos y las heladas provocaron el desecamiento del follaje de muchas plantas influyendo negativamente en la incidencia

CUADRO 5. Cuadrados medios de 10 caracteres en la relación huésped-patógeno entre maíz (*Zea mays* L.) y la formulación con esporidias de huitlacoche (*Ustilago maydis* (D.C.) Cda). 2011.

FV	GL	SEV1	SEV2	SEV3	SEV4	SEV5
Tra	8	87.6 **	68.5 **	26.3	33.3 **	13.5 **
Error	27	1.8	2.9	2.8	1.3	0.7
Total	35	751.5	626.9	289.0	302.3	127.6
C. V.		8.0	11.4	15.6	16.6	26.4
Media		16.8	14.9	10.8	6.8	3.1

... continuación.

RPLINC	RPLINF	PI	ISE	RHA
0.0005 **	0.001	271.7 **	55.5 **	1.02 **
0.00001	0.00004	6.9	3.7	0.02
0.004	0.01	2360.7	544.2	8.9
12.04	14.56	3.8	11.7	11.6
0.03	0.04	67.8	16.4	1.37

** : Diferencia significativa ($P \leq 0.05$). Tra: (híbrido), Media: media fenotípica del carácter evaluado; GL: grados de libertad; SEV1, SE2, SEV3, SEV4 y SEV5 grados de severidad de cubrimiento de mazorca por agallas (0, 25, 50, 75 y 100%); RPLINC: rendimiento por planta inoculada (Kg); RPLINF: rendimiento por planta infectada (Kg); PI: porcentaje de incidencia (%); ISE: índice de severidad (%); RHA: rendimiento ($t \cdot ha^{-1}$) de hongo.

El índice de severidad fue mayor en los híbridos Sultán 1, Gladiador, Dk-2042, y anaconda (ISE; 22.3, 19.4, 18.1 y 17.8 % respectivamente), la comparación de medias mostró que son iguales estadísticamente entre sí pero diferentes al resto de los híbridos (Cuadro 6). En contraste con los obtenidos por Martínez (1999), quien reporta 44.6 % como valor máximo y Cruz (2006) que obtuvo 53.12 %. Estas diferencias pueden deberse en gran medida a los daños severos por granizo (24 de agosto del 2011) y heladas (5 y 7 de septiembre 2011) mostrando que las condiciones ambientales después de la inoculación pueden influir en la patogénesis y el tiempo de cosecha de las mazorcas infectadas con fines alimenticios (Pope y McCarter, 1992; citados por Martínez, 1999)

CUADRO 6. Comparación de medias de nueve híbridos de maíz para 10 caracteres evaluados por su reacción a la inoculación con formulación esporidias de huitlacoche (*Ustilago maydis* (D.C.) Cda) y Maíz. 2011

Híbrido	SEV1 (Plantas)	SEV2 (Plantas)	SEV3 (Plantas)	SEV4 (Plantas)	SEV5 (Plantas)	RPLINC (kg)	RPLINF (kg)	PI (%)	ISE (%)	RHA (t·ha ⁻¹)
1. Anaconda	15.5 cd	13.2 bc	9.5 bc	8.5 abc	3.7 bc	0.03 bc	0.043 cd	69.2 cd	17.8 abcd	1.29 cd
2. A – 7573.	27.0 a	25.2 a	6.0 c	0.25 d	0.0 d	0.005 d	0.009 e	53.8 f	9.6 e	0.16 e
3. Caimán	18.0 cb	14.7 bc	9.2 bc	6.0 c	2.0 cd	0.039 a	0.06 a	63.7 de	14.0 cde	1.57 abc
4. Campanero	15.5 cd	15.5 bc	10.2 ab	6.0 c	3.2 bc	0.037 ab	0.053 abc	69.2 cd	16.3 bcd	1.61 abc
5. Cronos	18.0 cb	12.2 bc	11.2 ab	7.0 bc	2.0 cd	0.036 ab	0.057 abc	64.2 de	16.7 bcd	1.47 bcd
6. Dk – 2042	13.0 de	13.7 bc	14.2 a	8.7 ab	5.0 ab	0.02 c	0.03 d	76.2 ab	18.1 abc	1.17 d
7. Gladiador	10.7 e	16.0 b	14.0 a	10.5 a	6.0 a	0.037 ab	0.04 bcd	81.1 a	19.4 ab	1.88 a
8. Gatillero	19.7 b	11.5 c	10.5 ab	6.5 bc	2.2 c	0.037 ab	0.061 ab	60.9 e	13.3 de	1.42 bcd
9. Sultán 1	14.5 d	12.5 bc	12.5 ab	8.2 abc	4.5 ab	0.04 a	0.05 abc	72.2 bc	22.3 a	1.79 ab
DMSH _{0.05}	3.25	4.06	4.04	2.71	2.0	0.0092	0.016	6.25	4.58	0.38

Medias con la (s) misma (s) letra (s) son estadísticamente iguales, según la prueba de Tukey; DMSH_{T=0.05}: diferencia mínima significativa honesta de Tukey; SEV1, SEV2, SEV3, SEV4 y SEV5: grados de severidad de cubrimiento de mazorca por agallas (0, 25, 50, 75 y 100%); RPLINC: rendimiento por planta inoculada (kg); RPLINF: rendimiento por planta infectada (kg); PI: porcentaje de incidencia (%); ISE: índice de severidad (%); RHA: rendimiento de hongo (t·ha⁻¹).

Experimento 2. Evaluación de híbridos con formulación a base de teliosporas

El análisis de varianza del experimento 2012 en donde se evaluaron solo nueve híbridos comerciales de maíz de los 40 evaluados en 2011, mostró diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$) para todos los caracteres evaluados (Cuadro 7); lo que indica que existen algunos híbridos más susceptibles a la inoculación artificial y por lo tanto útiles para la producción de huitlacoche con la formulación de teliosporas.

La comparación de medias mostró que los mejores tratamientos (híbridos de maíz) con mayores rendimientos (RHA) fueron Cronos y Dk – 2042, ambos con $4.5 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ (Cuadro 8). Martínez (1999) evaluó la susceptibilidad y resistencia al huitlacoche en familias de medios hermanos maternos, utilizando una selección de 10 teliosporas y obtuvo rendimientos de huitlacoche desde $4.8 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ hasta $12.9 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ a cielo abierto. Lo anterior indica que existe un contraste en cuanto al comportamiento de las teliosporas debido a que el huitlacoche es una especie heterotálica con un sistema de incompatibilidad tetrapolar, donde el apareamiento está controlado por dos pares de genes ($a1b1+a2b2$) ubicados en dos loci independientes, donde el locus **a** tiene dos alelos y controla el apareamiento de las esporidias; en cambio, el locus **b** presenta hasta 25 alelos (Bolker *et al.*, 1992) y controla el desarrollo del micelio infectivo. Debido a esto, puede haber un gran número de combinaciones genéticas que darían diferentes grados de ataque del hongo en el maíz; además, las variaciones microclimáticas también afectan drásticamente al desarrollo de la enfermedad, como se mostró en la ausencia y presencia del desarrollo de la enfermedad en los híbridos ensayados en esta investigación.

El rendimiento de huitlacoche por hectárea (RHA) se correlacionó alta y positivamente con el porcentaje de incidencia (PI; 0.73 **), el índice de severidad (ISE; 0.32**), el rendimiento por planta infectada (RPINF; 0.86**) y el rendimiento por planta inoculada (RPLINC; 0.98**). Por lo que estos caracteres pueden considerarse componentes del rendimiento por hectárea (Cuadro 9).

CUADRO 7. Cuadrados medios de 10 caracteres en la relación huésped-patógeno entre maíz (*Zea mays* L.) y la formulación con teliosporas de huitlacoche (*Ustilago maydis* (D.C.) Cda). 2012.

FV	GL	SEV1	SEV2	SEV3	SEV4	SEV5
Tra	8	147.56**	204.86**	78.40**	123.07**	172.13**
Error	27	5.49	13.8	6.04	4.50	5.11
Total	35	1328.75	2011.64	790.22	1106.31	1515.00
C. V.		17.91	18.76	16.63	22.03	34.78
Media		13.08	19.81	14.78	9.64	6.50

... continuación.

RPLINC	RPLINF	PI	ISE	RHA1
0.00135**	0.0017**	190.99**	640.17**	5.06**
0.000089	0.00020	50.99	50.98	0.242
0.0132	0.01919	2056.19	6498.05	47.00
16.504	17.556	5.58	16.58	16.97
0.0574	0.0808	79.18	43.07	2.89

** : Diferencia significativa ($P \leq 0.05$). Tra: (híbrido), Media: media fenotípica del carácter evaluado; GL: grados de libertad; SEV1, SE2, SEV3, SEV4 y SEV5 grados de severidad de cubrimiento de mazorca por agallas (0, 25, 50, 75 y 100%); RPLINC: rendimiento por planta inoculada (Kg); RPLINF: rendimiento por planta infectada (Kg); PI: porcentaje de incidencia (%); ISE: índice de severidad (%); RHA: rendimiento ($t \cdot ha^{-1}$) de hongo.

Los valores más altos en el porcentaje de incidencia (PI) correspondieron a los híbridos Cronos, Dk – 2042, A-7573, Campanero y Anaconda (87.3, 86.1, 84.8, 83.9, y 81.9 %, respectivamente); sin embargo, de acuerdo con la prueba de medias no difieren entre ellas, pero fueron estadísticamente mayores al resto (Cuadro 8). Estos resultados son muy similares a los obtenidos por Martínez (1999), quien obtuvo 87.5 % como valor máximo de incidencia evaluando teliosporas.

Se ha observado que el elevado porcentaje de incidencia obtenido en los híbridos es indicativo de que existe un alto grado de susceptibilidad al *Ustilago maydis* (Villanueva *et al.*, 2007); lo cual es muy alentador para la implementación de un sistema de producción controlado de huitlacoche.

CUADRO 8. Comparación de medias de nueve híbridos de maíz para 10 caracteres evaluados por su reacción a la inoculación con formulación de teliosporas de huitlacoche (*Ustilago maydis* (D.C.) Cda) y Maíz. 2012

Híbrido	SEV1 (Plantas)	SEV2 (Plantas)	SEV3 (Plantas)	SEV4 (Plantas)	SEV5 (Plantas)	RPLINC (kg)	RPLINF (kg)	PI (%)	ISE (%)	RHA (t·ha ⁻¹)
1. Anaconda	9.2 bc	17.7 bc	13.5 bc	2.2 cd	3.5 bcd	0.06 abc	0.09 ab	81.9abc	29.4 d	3.1 b
2. A – 7573.	12.7 b	20.5 bc	11.7 c	17.0 a	22.2 a	0.06 bcd	0.08 abc	84.8 a	68.4 a	3.2 b
3. Caimán	22.0 a	29.5 a	19.0 ab	4.5 d	1.5 d	0.04 cde	0.07 abc	71.2 d	30.7 d	1.8 cd
4. Campanero	11.0 bc	20.5 bc	19.7 a	13.2 ab	4.0 bcd	0.05 cde	0.07 abc	83.9 ab	48.7 bc	2.8 bc
5. Cronos	8.0 bc	14.0 cd	17.2 abc	18.0 a	8.2 b	0.08 ab	0.10 a	87.3 a	53.7 ab	4.5 a
6. Dk – 2042	8.5 bc	19.7 bc	14.5 abc	11.5 bc	7.2 bc	0.08 a	0.10 a	86.1 a	43.1 bcd	4.5 a
7. Gladiador	20.5 a	25.2 ab	15.0 abc	7.7 cd	2.2 cd	0.03 e	0.04 c	70.8 d	34.8 cd	1.3 d
8. Gatillero	19.7 a	25.7 ab	18.0 ab	4.2 d	8.5 b	0.03 de	0.05 bc	73.8 bcd	44.6 bcd	1.7 cd
9. Sultán 1	6.0 c	5.2 d	5.2 d	3.2 d	1.0 d	0.06 abc	0.08 ab	72.5 cd	33.9 cd	2.7 bc
DMSH _{0.05}	5.57	8.84	5.84	5.05	5.37	0.022	0.03	10.52	16.98	1.16

Medias con la (s) misma (s) letra (s) son estadísticamente iguales, según la prueba de Tukey; DMSH_{T=0.05}: diferencia mínima significativa honesta de Tukey; SEV1, SEV2, SEV3, SEV4 y SEV5: grados de severidad de cubrimiento de mazorca por agallas (0, 25, 50, 75 y 100%); RPLINC: rendimiento por planta inoculada (kg); RPLINF: rendimiento por planta infectada (kg); PI: porcentaje de incidencia (%); ISE: índice de severidad (%); RHA: rendimiento de hongo (t·ha⁻¹).

CUADRO 9. Correlaciones fenotípicas para 10 caracteres evaluados en nueve híbridos comerciales de maíz por su reacción a la inoculación con formulación de teliosporas de huitlacoche 2012.

FV	SEV2	SEV3	SEV4	SEV5	RPLINC	RPLINF	PI	ISE	RHA
SEV1	0.75 **	0.42 *	-0.32 *	- 0.09 ns	-0.72 **	-0.61 **	-0.66 **	-0.2 ns	-0.74 **
SEV2		0.68 **	-0.1 ns	0.06 ns	-0.52 *	-0.49 *	-0.14 ns	0.005 ns	-0.45 *
SEV3			0.15 ns	- 0.02 ns	-0.25 ns	-0.22 ns	0.17 ns	0.14 ns	-0.16 ns
SEV4				0.59 **	0.44 *	0.35 *	0.69 **	0.74 **	0.54 *
SEV5					0.2 ns	0.11 ns	0.48 *	0.84 **	0.28 ns
RPLINC						0.92 **	0.60 **	0.21 ns	0.98 **
RPLINF							0.41 *	0.08 ns	0.86 **
PI								0.6 **	0.73 **
ISE									0.32 **

Caracteres: SEV1, SEV2, SEV3, SEV4 y SEV5 grados de severidad de cubrimiento de mazorca por agallas (0, 25, 50, 75 y 100 %); RPLINC: rendimiento por planta inoculada; RPLINF: rendimiento por planta infectada; PI: porcentaje de incidencia (%); ISE: índice de severidad (%) y RHA: rendimiento de hongo (t·ha⁻¹).

Los híbridos A-7573 y Cronos fueron superiores en índice de severidad (ISE) (68.42 y 53.7 %, respectivamente), aunque entre ellos son iguales (Cuadro 8). Estos resultados son muy similares a los obtenidos por Martínez (1999), que encontró 44.6 % como valor máximo, y por Cruz (2006) quien obtuvo 53.12 %. El índice de severidad estuvo correlacionado alta y positivamente con los grados de severidad a 75 y 100 % de cubrimiento de mazorca (SEV4; 0.74** y SEV5; 0.84**) y el porcentaje de incidencia (PI; 0.6 **) (Cuadro 9).

Análisis Combinado (2011 y 2012) con modelo no factorial

En este análisis se incluyeron sólo los nueve híbridos en común evaluados en los dos años 2011 y 2012. No se detectó diferencias estadísticas significativas entre híbridos para rendimiento (RHA), grado de severidad de cubrimiento de mazorca por agalla a 50 % (SEV3) y en el índice de severidad (ISE). Los híbridos utilizados en ambos experimentos fueron afectados por los efectos de fenómenos climatológicos, el, granizo (24 de agosto del 2011) y las heladas tempranas (5 y 7 de septiembre 2011). La granizada provocó una baja capacidad fotosintética por el rompimiento de las hojas atrasando drásticamente el desarrollo de los híbridos y la helada ocasionó principalmente la muerte del follaje y de muchas plantas inoculadas, aumentando el valor de la SEV1 y SEV2 (cubrimiento de mazorca por agallas 0 y 25%); así como también en el experimento 2 existió el problema de reducción de la humedad en el suelo principalmente en la temporada de canícula, por lo que la media de rendimiento ($2.13 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ de huitlacoche) fue baja en el 2012 (Cuadro 10).

CUADRO 10. Cuadrados medios de 10 caracteres en la relación huésped-patógeno entre maíz (*Zea mays* L.) y huitlacoche (*Ustilago maydis* (D.C.) Cda).
Análisis combinado modelo no factorial.

FV	GL	SEV1	SEV2	SEV3	SEV4	SEV5
Trat	8	126.2 **	159.5 **	47.4 ns	48.0 *	58.8 *
Error	63	21.1	28.2	15.54	18.46	21.7
Total	71	2340.9	3059.1	1359.2	1547.5	1839.3
C.V.		30.6	30.5	30.79	52.0	96.1
Media		14.9	17.3	12.8	8.25	4.84

. . . continuación

RPLINC	RPLINF	PI	ISE	RHA
0.0006 ns	0.001 ns	176.5 *	225.9 ns	2.19 ns
0.0003	0.0006	84.1	285.7	1.26
0.02	0.05	6711.8	19809.7	97.51
43.7	40.1	12.4	56.8	52.71
0.04	0.06	73.5	29.7	2.13

** : Diferencia significativa ($P \leq 0.05$). Tra: (híbrido), Media: media fenotípica del carácter evaluado; GL: grados de libertad; SEV1, SE2, SEV3, SEV4 y SEV5 grados de severidad de cubrimiento de mazorca por agallas (0, 25, 50, 75 y 100%); RPLINC: rendimiento por planta inoculada (Kg); RPLINF: rendimiento por planta infectada (Kg); PI: porcentaje de incidencia (%); ISE: índice de severidad (%); RHA: rendimiento ($t \cdot ha^{-1}$) de hongo.

La comparación de medias de los nueve híbridos inoculados (teliosporas y esporidias) indicó que todos los híbridos fueron estadísticamente iguales para rendimiento de huitlacoche por hectárea (RHA), así como para porcentaje de incidencia (PI), índice de severidad (ISE), rendimiento por planta inoculada (RPLINC) y rendimiento por planta infectada (RPLINF) (Cuadro11).

Numéricamente los híbridos más productivos de huitlacoche (RHA) fueron Cronos y Dk-2042 (3.0 y $2.8 t \cdot ha^{-1}$).

Similarmente al análisis de varianza (Cuadro10) las comparaciones múltiples de medias del análisis no factorial no se detectaron diferencias entre híbridos para los grados de severidad de cubrimiento de mazorca a 50 % (SEV3), rendimiento por planta inoculada (RPLINC), rendimiento por planta infectada (RPLINF), porcentaje de incidencia (PI), índice de severidad (ISE) y rendimiento de hongo por hectárea (RHA); aunque el análisis de varianza si detectó diferencias entre híbridos para el porcentaje de incidencia (PI)

CUADRO 11. Comparación de medias de nueve híbridos de maíz para 10 caracteres evaluados por su reacción a la inoculación con formulación de teliosporas y esporidias de huitlacoche (*Ustilago maydis* (D.C.) Cda) y Maíz. 2012. Análisis combinado no factorial.

Híbrido	SEV1 (Plantas)	SEV2 (Plantas)	SEV3 (Plantas)	SEV4 (Plantas)	SEV5 (Plantas)	RPLINC (kg)	RPLINF (kg)	PI (%)	ISE (%)	RHA (t·ha ⁻¹)
1. Anaconda	12.3 bc	15.5 abc	11.5 a	7.8 ab	3.6 b	0.04 a	0.06 a	75.5 a	23.6 a	2.2 a
2. A – 7573.	19.8 a	22.8 a	8.8 a	8.6 ab	11.1 a	0.03 a	0.04 a	69.3 a	39.0 a	1.6 a
3. Caimán	20.0 a	22.1 a	14.1 a	5.2 b	1.7 b	0.04 a	0.06 a	67.4 a	22.4 a	1.7 a
4. Campanero	13.2 abc	18.0 ab	15.0 a	9.6 ab	3.6 b	0.04 a	0.06 a	76.5 a	32.5 a	2.2 a
5. Cronos	13.0 abc	13.1 bc	13.7 a	12.5 a	5.1 ab	0.06 a	0.08 a	75.8 a	35.2 a	3.0 a
6. Dk – 2042	10.7 c	16.7 abc	14.3 a	10.1 ab	6.1 ab	0.05 a	0.07 a	81.1 a	30.6 a	2.8 a
7. Gladiador	15.6 abc	20.6 ab	14.5 a	9.1 ab	4.1 ab	0.03 a	0.04 a	76.0 a	27.1 a	1.6 a
8. Gatillero	19.7 ab	18.6 ab	14.2 a	5.3 b	5.3 ab	0.03 a	0.05 a	67.3 a	28.9 a	1.6 a
9. Sultán 1	10.2 c	8.8 c	8.8 a	5.7 ab	2.7 b	0.05 a	0.07 a	72.3 a	28.1 a	2.2 a
DMSH _{0.05}	7.38	8.54	6.33	6.9	7.4	0.03	0.04	14.7	27.14	1.8

Medias con la (s) misma (s) letra (s) son estadísticamente iguales, según la prueba de Tukey; DMSH_{T=0.05}: diferencia mínima significativa honesta de Tukey; SEV1, SEV2, SEV3, SEV4 y SEV5: grados de severidad de cubrimiento de mazorca por agallas (0, 25, 50, 75 y 100%); RPLINC: rendimiento por planta inoculada (kg); RPLINF: rendimiento por planta infectada (kg); PI: porcentaje de incidencia (%); ISE: índice de severidad (%) y RHA: rendimiento de hongo (t·ha⁻¹).

Análisis Combinado (2011 y 2012) con modelo factorial

Este análisis equivale a comparar tanto los híbridos como los dos tipos de formulaciones utilizados en ambos experimentos (esporidias 2011 y teliosporas 2012). En el análisis de varianza mostró diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$) entre híbridos, formulaciones y la interacción entre estos para todos los caracteres evaluados (Cuadro 12).

Las comparaciones múltiples de medias mostró que la formulación con teliosporas superó a la de esporidias en todos los caracteres, excepto en el grado de severidad de cubrimiento de mazorca a 0 % (SEV1). La formulación de teliosporas tuvo un rendimiento de $2.8 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$, un porcentaje de incidencia (PI) de 79.1 % e índice de severidad (ISE) de 43.0 comparando con la formulación de esporidias que produjo un rendimiento de $1.3 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$, un porcentaje de incidencia (PI) de 67.8 % e índice de severidad (ISE) de 16.4. La diferencia en rendimiento fue de 46% más con la formulación de teliosporas que con la formulación de esporidias. Los híbridos con mayor rendimiento promedio con ambas formulaciones fueron los híbridos Cronos y Dk – 2042 (3.0 y $2.84 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ de hongo respectivamente) (Cuadro 13)

Los híbridos que generaron mayor rendimiento con la formulación de esporidia fueron Gladiador, Sultán 1, Campanero, y Caimán (1.88 , 1.79 , 1.61 , y $1.57 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ respectivamente), para el caso de la formulación a base de teliosporas los híbridos que tuvieron mayor rendimiento fueron Cronos y Dk – 2042 (4.54 y $4.518 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ respectivamente) fueron iguales entre sí pero superiores al resto (Cuadro 14) y (Figura 1).

Los híbridos Campanero, Cronos, Dk-2042 y Gladiador fueron iguales entre sí pero superiores al resto en porcentaje de incidencia (PI; 76.5, 75.8, 81.1 y 76.0 % respectivamente). En el índice de severidad (ISE) los híbridos A-7573, Campanero, Cronos, y Dk-2042. El híbrido A-7573 superó a todos los otros híbridos en los grados de severidad de cubrimiento de mazorca por agallas a 100 % (SEV5)

El carácter de rendimiento de huitlacoche por hectárea (RHA) se correlacionó alta y positivamente con el porcentaje de incidencia (PI; 0.77 **), el índice de severidad (ISE; 0.68**) y el rendimiento por planta infectada (RPINF; 0.9**), por lo que estos caracteres pueden ser considerados como componentes del rendimiento por hectárea (Cuadro 15).

CUADRO 12. Cuadrados medios de 10 caracteres en la relación huésped-patógeno entre maíz (*Zea mays* L.) y huitlacoche (*Ustilago maydis* (D.C.) Cda). Análisis combinado modelo factorial.

FV	GL	SEV1	SEV2	SEV3	SEV4	SEV5
Híbridos	8	126.29 **	159.54 **	47.47 **	48.03 **	58.89 **
Formulaciones	1	260.68 **	420.5 **	280.0 **	138.8 **	196.68 **
Hbx formul	8	108.899**	113.84**	57.305**	108.42**	126.774**
Rep	3	0.23 ns	13.0 ns	5.27 ns	1.87 ns	0.38 ns
Error	51	3.883	8.088	4.415	2.968	3.060
Total	71	2340.98	30.59	1359.27	1547.5	1839.31
C.V.		13.149	16.355	16.408	20.88	36.092
Media		14.98	17.38	12.8	8.25	4.84

. . . continuación

RPLINC	RPLINF	PI	ISE	RHA
0.0006 **	0.001 **	176.52 **	225.93 **	2.19 **
0.01 **	0.02 **	2294.12 **	12761.0 **	41.58 **
0.011**	0.0017**	286.233**	470.374**	3.893**
0.00002 ns	0.00003 ns	2.9 ns	9.9 ns	0.052 ns
0.00054	0.00012	13.859	28.395	0.1383
0.029	0.05	6711.88	19809.7	97.51
16.4437	17.8337	5.062	17.906	17.407
0.044	0.063	73.53	29.7	2.13

** : Diferencias significativa ($P \leq 0.05$). Tra: (híbrido), Media: media fenotípica del carácter evaluado; GL: grados de libertad; SEV1, SE2, SEV3, SEV4 y SEV5 grados de severidad de cubrimiento de mazorca por agallas (0, 25, 50, 75 y 100%); RPLINC: rendimiento por planta inoculada (Kg); RPLINF: rendimiento por planta infectada (Kg); PI: porcentaje de incidencia (%); ISE: índice de severidad (%) y RHA: rendimiento ($t \cdot ha^{-1}$) de hongo.

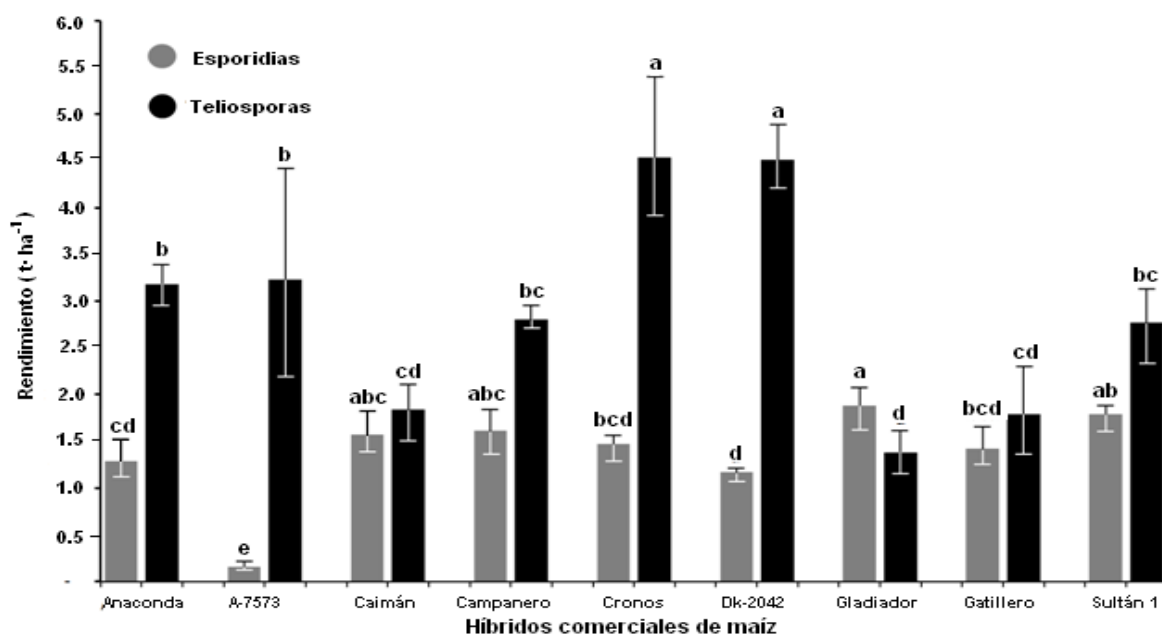


FIGURA 1. Rendimiento obtenido por híbridos de maíz en respuesta de la formulación aplicada. Cada punto es la media de 4 repeticiones $\pm$ error estándar. Valores con la misma letra de columnas son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$. Análisis combinado.

CUADRO 13. Comparación de medias en nueve híbridos de maíz con dos formulaciones para 10 caracteres evaluados en la relación huitlacoche (*Ustilago maydis* (D.C.) Cda) y Maíz. Análisis combinado factorial (2011 y 2012).

Factor	SEV1 (plantas)	SEV2 (plantas)	SEV3 (plantas)	SEV4 (plantas)	SEV5 (plantas)	RPLINC (kg)	RPLINF (kg)	PI (%)	ISE (%)	RHA (t·ha ⁻¹)
FORMULACIÓN										
Esporidias (2011)	16.8 a	14.9 b	10.8 b	6.8 b	3.1 b	0.03 b	0.04 b	67.8 b	16.4 b	1.3 b
Teliosporas (2012)	13.0 b	19.8 a	14.7 a	9.6 a	6.5 a	0.05 a	0.08 a	79.1 a	43.0 a	2.8 a
DMSH_{t=0.05}	0.93	1.34	0.99	0.81	0.82	0.003	0.005	1.76	2.52	0.17
HIBRIDOS										
1. Anaconda	12.3 c	15.5 de	11.5 bc	7.8 bc	3.6 bcd	0.04 bcd	0.06 ab	75.5 bc	23.6 c	2.23 c
2. A – 7573.	19.8 a	22.8 a	8.8 c	8.6 b	11.1 a	0.03 e	0.04 c	69.3 c	39.0 a	1.69 cd
3. Caimán	20.0 a	22.1 ab	14.1 ab	5.2 c	1.7 d	0.04 cde	0.06 ab	67.4 c	22.4 c	1.71 cd
4. Campanero	13.2 bc	18.0 bcd	15.0 a	9.6 b	3.6 bcd	0.04 bcd	0.06 ab	76.5 ab	32.5 ab	2.20 cd
5. Cronos	13.0 c	13.1 ef	13.7 ab	12.5 a	5.1 bc	0.06 a	0.08 a	75.8 ab	35.2 ab	3.00 a
6. Dk – 2042	10.7 c	16.7 cde	14.3 ab	10.1 ab	6.1 b	0.05 ab	0.07 ab	81.1 a	30.6 abc	2.84 ab
7. Gladiador	15.6 b	20.6 abc	14.5 ab	9.1 b	4.1 bcd	0.03 de	0.04 c	76.0 ab	27.1 bc	1.63 d
8. Gatillero	19.7 a	18.6 abcd	14.2 ab	5.3 c	5.3 bc	0.03 de	0.05 bc	67.3 c	28.9 bc	1.61 d
9. Sultán 1	10.2 c	8.875 f	8.8 c	5.7 c	2.7 cd	0.05 abc	0.07 ab	72.3 c	28.1 bc	2.28 bc
DMSH_{0.05}	3.19	4.605	3.402	2.78	2.83	0.01	0.018	6.02	8.62	0.60

Medias con la (s) misma (s) letra (s) son estadísticamente iguales, según la prueba de Tukey; DMSH_{T=0.05}: diferencia mínima significativa honesta de Tukey; SEV1, SEV2, SEV3, SEV4 y SEV5: grados de severidad de cubrimiento de mazorca por agallas (0, 25, 50, 75 y 100%); RPLINC: rendimiento por planta inoculada (kg); RPLINF: rendimiento por planta infectada (kg); PI: porcentaje de incidencia (%); ISE: índice de severidad (%) y RHA: rendimiento de hongo (t·ha⁻¹).

CUADRO 14. Comparación de medias en nueve híbridos de maíz con dos formulaciones en cada uno de los 10 caracteres evaluados en la relación huitlacoche (*Ustilago maydis* (D.C.) Cda) y Maíz. Análisis combinado factorial (2011 y 2012).

Híbrido	Formulación 10 ⁶ .ml ⁻¹	SEV1 (Plantas)	SEV2 (Plantas)	SEV3 (Plantas)	SEV4 (Plantas)	SEV5 (Plantas)	RPLINC (kg)	RPLINF (kg)	PI (%)	ISE (%)	RHA (t·ha ⁻¹)
1. Anaconda	Esporidias	15.5 cd	13.2 bc	9.5 bc	8.5 abc	3.75 bc	0.03 ab	0.04 cd	69.2 cd	17.8 abcd	1.29 cd
	Teliosporas	9.2 bc	17.7 bc	13.5 bc	2.2 cd	3.5 bcd	0.06 abc	0.09 ab	81.9 abc	29.4 d	3.18 b
2. A – 7573.	Esporidias	27.0 a	25.2 a	6.0 c	0.25 d	0.0 d	0.005 d	0.009 e	53.8 f	9.6 e	0.16 e
	Teliosporas	12.7 b	20.5 bc	11.7 c	17.0 a	22.2 a	0.06 bcd	0.08 abc	84.8 a	68.4 a	3.23 b
3. Caimán	Esporidias	18.0 bc	14.7 bc	9.2 bc	6.0 c	2.0 cd	0.03 a	0.06 a	63.7 de	14.0 cde	1.57 abc
	Teliosporas	22.0 a	29.5 a	19.0 ab	4.5 d	1.5 d	0.04 cde	0.07 abc	71.2 d	30.7 d	1.84 cd
4. Campanero	Esporidias	15.5 cd	15.5 bc	10.2 ab	6.0 c	3.2 bc	0.03 ab	0.05 abc	69.2 cd	16.3 bcd	1.61 abc
	Teliosporas	11.0 bc	20.5 bc	19.7 a	13.2 ab	4.0 bcd	0.05 cde	0.07 abc	83.9 ab	48.7 bc	2.8 bc
5. Cronos	Esporidias	18.0 bc	12.2 bc	11.2 ab	7.0 bc	2.0 cd	0.03 ab	0.05 abc	64.2 de	16.7 bcd	1.47 bcd
	Teliosporas	8.0 bc	14.0 cd	17.2 abc	18.0 a	8.2 b	0.08 ab	0.10 a	87.3 a	53.7 ab	4.54 a
6. Dk – 2042	Esporidias	13.0 de	13.7 bc	14.2 a	8.75 ab	5.0 ab	0.02 c	0.03 d	76.2 ab	18.16 abc	1.17 d
	Teliosporas	8.5 bc	19.7 bc	14.5 abc	11.5 bc	7.2 bc	0.08 a	0.1 a	86.1 a	43.1 bcd	4.51 a
7. Gladiador	Esporidias	10.7 e	16.0 b	14.0 a	10.5 a	6.0 a	0.03 ab	0.04 bcd	81.1 a	19.4 ab	1.88 a
	Teliosporas	20.5 a	25.2 ab	15.0 abc	7.75 cd	2.2 cd	0.03 e	0.04 c	70.8 d	34.8 cd	1.38 d
8. Gatillero	Esporidias	19.7 b	11.5 c	10.5 ab	6.5 bc	2.2 c	0.03 ab	0.06 ab	60.9 e	13.3 de	1.42 bcd
	Teliosporas	19.7 a	25.7 ab	18.0 ab	4.25 d	8.5 b	0.03 de	0.05 bc	73.8 bcd	44.6 bcd	1.79 cd
9. Sultán 1	Esporidias	14.5 d	12.5 bc	12.5 ab	8.2 abc	4.5 ab	0.04 a	0.05 abc	72.2 bc	22.3 a	1.79 ab
	Teliosporas	6.0 c	5.2 d	5.2 d	3.2 d	1.0 d	0.06 abc	0.08 ab	72.5 cd	33.9 cd	2.77 bc
DMSH_{0.05}	Híbridos	3.19	4.60	3.40	2.78	2.83	0.01	0.018	6.02	8.62	0.60
	Formulación	0.93	1.34	0.99	0.81	0.82	0.003	0.005	1.76	2.52	0.17

Medias con la (s) misma (s) letra (s) son estadísticamente iguales, según la prueba de Tukey; DMSH_{T=0.05}: diferencia mínima significativa honesta de Tukey; SEV1, SEV2, SEV3, SEV4 y SEV5: grados de severidad de cubrimiento de mazorca por agallas (0, 25, 50, 75 y 100%); RPLINC: rendimiento por planta inoculada (kg); RPLINF: rendimiento por planta infectada (kg); PI: porcentaje de incidencia (%); ISE: índice de severidad (%) y (%); RHA: rendimiento de hongo (t·ha⁻¹).

CUADRO 15 Correlaciones fenotípicas entre 10 caracteres evaluados en la relación huitlacoche (*Ustilago maydis* (D.C.) Cda) y Maíz. Análisis combinado modelo factorial 2011 y 2012.

FV/Híbrido	SEV2	SEV3	SEV4	SEV5	RPLINC	RPLINF	PI	ISE	RHA
SEV1	0.48**	-0.10 ns	-0.52**	-0.29*	-0.71**	-0.60**	-0.79**	-0.43 *	-0.74**
SEV2		0.48**	-0.1 ns	0.11 ns	-0.19 ns	-0.16 ns	0.06 ns	0.26 ns	-0.11 ns
SEV3			0.39*	0.21 ns	0.22 ns	0.22 ns	0.56**	0.48**	0.29 *
SEV4				0.65**	0.54 **	0.46 **	0.72 **	0.66 **	0.61 **
SEV5					0.37 *	0.30 *	0.57**	0.74**	0.44 *
RPLINC						0.96**	0.68**	0.62**	0.98**
RPLINF							0.55**	0.57**	0.9**
PI								0.73**	0.77**
ISE									0.68**

Caracteres: SEV1, SEV2, SEV3, SEV4 y SEV5 grados de severidad de cubrimiento de mazorca por agallas (0, 25, 50, 75 y 100 %); RPLINC: rendimiento por planta inoculada; RPLINF: rendimiento por planta infectada; PI: porcentaje de incidencia (%); ISE: índice de severidad (%) y RHA: rendimiento de hongo (t·ha⁻¹).

CONCLUSIONES

1. Con los resultados obtenidos en el análisis del experimento de 40 híbridos comerciales inoculados con esporidias (2011); los mejores híbridos para producir huitlacoche a campo abierto son Gladiador Sultán 1, Cóndor, Campanero y Caimán
2. Los resultados del análisis del experimento de teliosporas (2012) los mejores híbridos de maíz con mayores rendimientos (RHA) fueron Cronos y Dk – 2042
3. Según el análisis combinado factorial los mejores híbridos para producir huitlacoche a campo abierto son Cronos y Dk – 2042 tanto al ser inoculados con teliosporas como con esporidias
4. Los híbridos que producen mayor rendimiento con la formulación de esporidia son Gladiador, Sultán 1, Campanero, y Caimán
5. Los híbridos que tuvieron mayor rendimiento con la formulación a base de teliosporas son Cronos y Dk – 2042 .

6. La formulación de teliosporas es mejor que la de esporidias por presentar el rendimiento más alto en todos los híbridos, aumentando el porcentaje de incidencia e índice de severidad.

LITERATURA CITADA

- Bermúdez, S. R.; Morris, Q. J.; Donoso, F. C.; Martínez, M. C.; Ramos S. E. 2003. Influencia de la luz en la calidad proteica de *Pleurotus ostreatus* var. Florida. Rev. Cubana Invest. Biomed. 22 (4):226-231.
- Bolker, M.; Urban, M.; Kahmann, R.; 1992. The a mating type locus of *Ustilago maydis* specifies cell signaling components. Cell 68: 441-450
- Christensen, J. J. 1963. Corn smut caused by *Ustilago maydis*. Published by the American Phytopathological Society. Department of Plant Pathology and Botany. Institute of Agriculture, University of Minnesota, St. Paul. 41 p.
- Cruz S., D. 2006. Incidencia inducida del huitlacoche [*Ustilago maydis* (D.C.) Cda.] en maíz. Tesis de Licenciatura. Departamento de Fitotecnia, UACH, Chapingo, México. 54 p.
- García, E. 1998. Modificación al sistema de clasificación climática de Köepen. Ed. Offset Larios S. A. de C. V. México. 217 p.
- Madrigal R., J. 2008. Estudios de la reacción del maíz al huitlacoche en agricultura protegida. Tesis de Doctorado en Ciencias en Horticultura. Instituto de Horticultura, Departamento de Fitotecnia, UACH, Chapingo, México. 96 p.
- Madrigal-Rodríguez, J.; Villanueva-Verduzco, C.; Sahagún-Castellanos, J.; Acosta-Ramos, M.; Martínez-Martínez, L.; Espinosa-Solares, T. 2010. Production test of greenhouse hydroponic huitlacoche (*Ustilago maydis* Cda.). Revista Chapingo Serie Horticultura 16 (3): 177 – 182.

- Martínez M., L. 1999. Mejoramiento de la virulencia del hongo y la susceptibilidad y resistencia del maíz al huitlacoche (*Ustilago maydis* Cda.). Tesis de Maestría en Horticultura. Departamento de Fitotecnia. UACh. Chapingo, México. 101 p.
- Martínez – Martínez, L.; Villanueva – Verduzco, C.; Sahagún – Castellanos, J. 2000. Susceptibility and resistance of maize to the edible fungus huitlacoche (*Ustilago maydis* Cda.) improving its virulence. Revista Chapingo Serie Horticultura 6 (2): 241 – 255.
- Pan J. J, 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.
- Pataky, J. K.; Nankan C.; Kerns M. R.. 1995. Evaluation of silk- inoculation technique to differentiate reactions of sweet corn hybrids to common smut. Phytopathology 85(10): 1323-1328
- Villanueva V., C. 1995. Estudios de la reacción del maíz al huitlacoche (*Ustilago maydis*). Tesis de Doctorado en Ciencias. Programa de Genética. Colegio de posgraduados. Montecillos México. 133 p.
- Villanueva C.; Molina J. D.; Castillo f.; Zavaleta E. 1999. Artificial induction of “huitlacoche” (*Ustilago maydis* Cda.): influence of different conditions in the field. Micología Neotropical Aplicada 12: 41-47.
- Villanueva, V. C.; Sánchez, R. E.; Villanueva, S. E. 2007. El huitlacoche y su cultivo. Ed. Mundi Prensa, México. 96p

CAPÍTULO II

DINÁMICA DEL RENDIMIENTO A TRAVES DE LOS CORTES DE HUITLACOCHÉ EN NUEVE HÍBRIDOS COMERCIALES DE MAÍZ

DINÁMICA DEL RENDIMIENTO A TRAVES DE LOS CORTES DE HUITLACOCHES EN NUEVE HÍBRIDOS COMERCIALES DE MAÍZ

YIELD DYNAMICS THROUGH HUITLACOCHES HARVEST IN NINE COMMERCIAL CORN HYBRIDS

C. Escalante-Perez¹; C. Villanueva-Verduzco^{2¶}; J. Sahagún-Castellanos²; A. Peña-Lomeli²

¹Maestro en Ciencias en Horticultura, Universidad Autónoma Chapingo, km 38.5 Carretera México – Texcoco Chapingo, Estado de México, C. P. 56230 MÉXICO. Correo-e: cuauhtemoc@live.com.mx

²Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo, km 38.5 Carretera México- Texcoco. Chapingo, Estado de México, C. P. 56230 MÉXICO. Correo-e: clemente@correo.chapingo.mx (¶ Autor responsable), jsahagun@correo.chapingo.mx

RESUMEN

Mediante un análisis de la distribución de los cortes es posible establecer un patrón en la dinámica de la cosecha del huitlacoche producido artificialmente a cielo abierto. El objetivo fue analizar la distribución temporal de la cosecha de huitlacoche en nueve híbridos comerciales de maíz, en campo abierto. El experimento se realizó en un diseño completamente al azar, con cuatro repeticiones donde los híbridos de maíz correspondieron a los tratamientos. Las mediciones de incidencia, severidad y rendimiento de hongo se realizaron en la cosecha. En el segundo corte se logra la cosecha más alta en los nueve híbridos. Los híbridos Cronos y Dk-2042 fueron más sobresalientes con base en su rendimiento y calidad de agallas por lo que pueden ser utilizados en un sistema de producción intensiva de huitlacoche

ABSTRACT

Through a distribution analysis, it is possible to establish a pattern in harvest dynamics of huitlacoche artificially produced in open field. The aim of this work was to analyze the temporal distribution of huitlacoche harvest in nine commercial corn hybrids in open field. The experiment was conducted in a completely randomized design with four replicates; each corn hybrid was one treatment. Incidence, severity and fungus yield at harvest were measure. The second harvest produced the highest yield in the nine hybrids. Hybrids Cronos and Dk-2042 were outstanding for their yields and gall quality; thus, they can be used in intensive huitlacoche cropping systems.

ADDITIONAL KEY WORDS: hybrid corn, yield, productivity, *Ustilago maydis* Cda.

PALABRAS CLAVE ADICIONALES: híbridos de maíz, rendimiento, productividad, *Ustilago maydis* Cda.

1 Tesista.

2 Director

INTRODUCCIÓN

El huitlacoche (*Ustilago maydis* Cda.) es un hongo que enferma al cultivo de maíz y también es utilizado para el consumo humano (Kamper *et al.*, 2006 y Agrios, 2005). Se ha consumido en México desde la época prehispánica debido a su sabor exquisito; sin embargo, su consumo era exclusivo para los emperadores ya que era considerado un manjar. Debido a su sabor único, el consumo de huitlacoche va en aumento y cada vez tiene más demanda en México, Estados Unidos, Europa, Japón y, principalmente. También se ha considerado como uno de los platillos de la alta cocina internacional y de la nueva “cocina mexicana” (Guzmán, 1994).

Su importancia alimenticio creciente Esto ha provocado que se realicen una variedad de estudios respecto a este producto. Se ha determinado sus propiedades nutricionales por varios autores, quienes han reportado datos dentro de rangos similares y complementarios acerca de su composición proximal en base seca, mostrando altos contenidos de hidratos de carbono y fibra (53 a 66.5 % y 7.5 a 26.6 %, respectivamente), con una cantidad de proteínas moderada (1.62 a 16.4 %) (Mendoza-Mendoza, 2008), mientras que el de grasas es bajo (1.0 a 6.5 %). Contiene aminoácidos esenciales como lisina, glicina, valina, leucina y ácido glutámico, así como otros catorce aminoácidos comunes. Además contiene cantidades considerables de polifenoles, β -glucanos, azúcares libres y compuestos antioxidantes tales como tirosinasas (Desentis- Mendoza *et al.*, 2006). Así mismo contiene niveles adecuados de vitaminas (tiamina, biotina, riboflavina, niacina fólico y ácido ascórbico) y minerales como calcio, nitrógeno, fósforo (Ruiz-Herrera y Martínez-Espinoza, 1998).

Algunos productores de maíz e investigadores han aplicado algunas técnicas para inducir la infección de huitlacoche artificialmente, evalúan cepas nativas, mezclas de ellas y hasta cruza, como también la cantidad de inóculo, forma y época de aplicación, las condiciones ambientales tanto en campo abierto como en invernadero, para producir el mayor porcentaje de incidencia, severidad y rendimiento de hongo en las mazorcas inoculadas (Villanueva *et al.*, 2007). Por lo

que su producción artificial es una realidad en México, donde ya es un nuevo cultivo desde el 2007.

En algunos estudios se reportan rendimientos de $12 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ de hongo fresco (Martínez – Martínez *et al.*, 2000) a cielo abierto y de hasta 29 en invernadero (Madrigal *et al.*, 2010). Se sabe que para producir huitlacoche artificialmente es necesario un genotipo del maíz (hospedero) susceptible al hongo, así como también que el patógeno sea altamente virulento y que el ambiente sea favorable con una humedad relativa entre 80-85 % (Villanueva *et al.*, 2007) y una temperatura entre 16-32 °C (Walbot y Skibbe, 2010 y León-Ramírez *et al.*, 2004).

El maíz es una especie que posee gran diversidad genética, esto implica variantes en los componentes fisiológicos, los cuales determinan en gran parte la eficiencia biológica y la productividad, así como las prácticas de manejo agronómico apropiadas para un mejor desarrollo del cultivo hospedante del huitlacoche y del rendimiento de hongo (Villanueva *et al.*, 2007).

El crecimiento del huitlacoche se puede referir a un incremento irreversible de materia seca o volumen, cambios en tamaño, masa, forma o número de estructuras, como una función del genotipo y el ambiente, dando como resultado un aumento cuantitativo del tamaño y peso de la agalla. Es un proceso complejo que incluye muchos fenómenos como división celular, elongación, fotosíntesis, síntesis de otros compuestos, respiración, translocación, absorción y transpiración del maíz como planta hospedante (Martínez – Martínez *et al.*, 2000).

No existen antecedentes del estudio de la dinámica de producción a través de los diferentes cortes que se realiza en la cosecha de huitlacoche. Es por eso que el presente estudio se desarrolló para responder a la necesidad de contar con información útil para programar en el tiempo los volúmenes constantes deseados de cosecha de huitlacoche usando híbridos comerciales de maíz, para contribuir al abasto de la demanda del huitlacoche fresco. Bajo la hipótesis de que existe variabilidad entre híbridos comerciales de maíz en la distribución de cosecha (los cortes) de huitlacoche, con la que es posible programar volúmenes sostenidos de cosecha en una unidad intensiva de producción de huitlacoche.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del sitio experimental

El experimento se estableció en el Campo Agrícola Experimental “San Martín” de la Universidad Autónoma Chapingo, en Chapingo Estado de México; el cual se encuentra ubicado entre los paralelos 19° 29' LN y 98° 53' LW a una altura de 2250 msnm. El tipo climático es Cb (wo) (i')g, templado subhúmedo con verano fresco y largo, con una temperatura promedio anual entre de 15 °C, con lluvias en verano (García ,1998).

Diseño y arreglo experimental

El experimento se sembró el 04 de abril de 2012 con nueve híbridos comerciales como tratamiento: Anaconda, A – 7573, Caimán, Campanero, Cronos, Dk- 2042, Gatillero, Gladiador y Sultán 1.

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con cuatro repeticiones. La unidad experimental fue una parcela de 32 surcos de 10 metros de largo con una planta cada 30 cm (75 plantas por surco) y surcos separados cada 80 cm (62,500 plantas h⁻¹).

Obtención del inóculo

El inóculo se formuló con base en teliosporas de *Ustilago maydis*, provenientes de mazorcas agalladas frescas, de las cuales se seleccionaron visualmente agallas limpias, íntegras en su peridio, sin maltrato y que no presentaran coloraciones atípicas. Después se procedió hacer la mezcla física de las teliosporas incluido el peridio con una licuadora domestica para luego ajustar la suspensión con agua destilada estéril a una densidad de 10⁶ teliosporas·ml⁻¹. La densidad debe de ser alta en un volumen inicial (V₁) conocido (determinada con ayuda de un hematocitómetro) y la aplicación de la fórmula: $V_1 D_1 = V_2 D_2$, donde D₂ es la concentración deseada (10⁶ teliosporas·ml⁻¹). Los tres datos conocidos (V₁ D₁ y D₂), se sustituyen en la ecuación y se despeja V₂ para conocer el volumen a que se debe aforar con agua destilada estéril para lograr la densidad deseada (Villanueva *et al.*, 2007).

Manejo del experimento

Al cultivo se le aplicaron cinco riegos, el primero y el segundo, a los uno y ocho días después de la siembra, respectivamente; y los últimos tres riegos después del segundo en intervalos de 15 días.

Se le realizó un laboreo con cultivadora a los 20 días después de la siembra, y a los 10 días después se aporcó. La fertilización fue con la fórmula 138-68-00 en dos aplicaciones; la primera con la mitad del nitrógeno y todo el fósforo y la segunda aplicación con el resto del nitrógeno se realizó a los 30 días después del aporque.

Inoculación

Las aplicaciones del inóculo fueron hechas con una jeringa hipodérmica estéril cuando los jilotes exponían sus estigmas aproximadamente 5 cm fuera de las brácteas, aplicando 1 ml de suspensión en el punto medio de cada uno de los tres tercios en que se puede dividir al mismo. La densidad en la suspensión aplicada fue de 10^6 teliosporas·ml⁻¹.

Cosecha y registro de datos

La cosecha se realizó en cuatro cortes (20, 25, 30, 35 días después de la primera inoculación). El indicador de la cosecha fue cuando las mazorcas (elotes) estaban completamente abultadas por agallas aun sin eclosionar y sin emerger del totomoxtle, aunque en algunas mazorcas las agallas ya habían emergido de ellas.

Variables de estudio

Las variables en estudio fueron: a) tamaño de la agalla (mm), medición realizada con la ayuda de una caja tamiz con espacios de 1 cm² para seleccionar las agallas de primera calidad; las restantes se consideraron como agallas de segunda. b) el rendimiento (t·ha⁻¹) se determinó con la suma de agallas de ambas categorías (primera y segunda), para lo que se tamizaron y pesaron los dos tamaños de agallas recolectadas en cada híbrido cada 5 días.

Análisis estadístico

Con los datos obtenidos se realizó un análisis de varianza una prueba de medias (Tukey) con una confiabilidad de 95%. Se graficó el comportamiento de la variable rendimiento con respecto a los cortes. El programa estadístico utilizado fue SAS (Versión 9.0).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

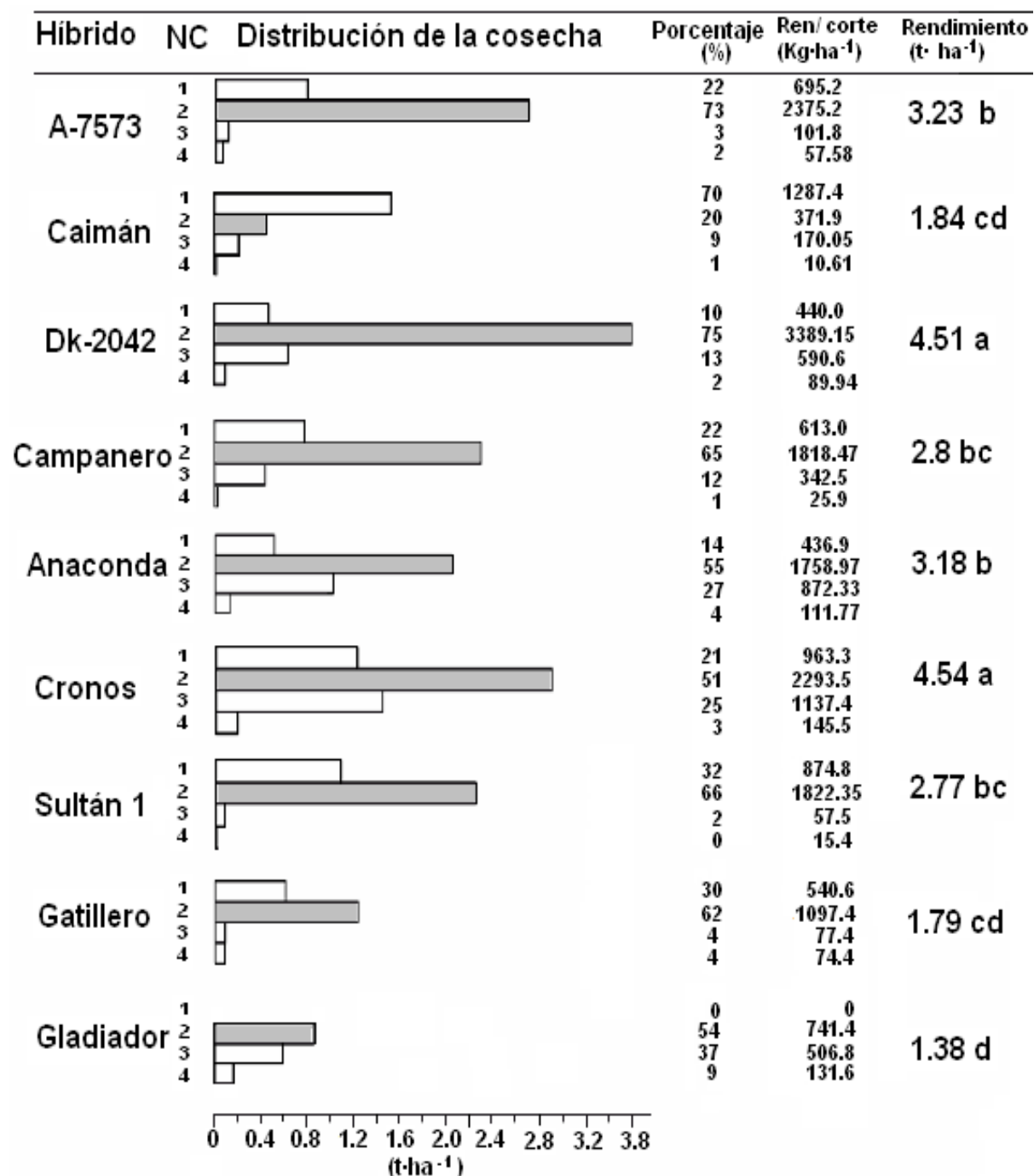
Rendimiento total

Se presentaron diferencias estadísticas entre tratamientos (híbridos) para rendimiento total, donde los híbridos Cronos y Dk-2042 mostraron mayor producción de agallas ($4.5 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) de las cuales 87 % son agallas de primera calidad. Los híbridos Gladiador, Gatillero y Caimán se caracterizaron por generar la menor producción en las dos calidades (Cuadro 1). Los nueve híbridos presentaron rendimientos que oscilaron entre 1.30 a $4.54 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, los cuales son bajos comparados con los reportados por Martínez-Martínez (2000) que tuvo un rendimiento de huitlacoche por hectárea de $12 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ a cielo abierto y Madrigal *et al.* (2010) quien encontró un rendimiento de $29.8 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ en invernadero. Estos bajos rendimientos pueden explicarse por la falta de humedad en el suelo presentado en la canícula, después de la inoculación influyendo negativamente en la patogénesis y en el tiempo de cosecha. Se sabe que en localidades con clima subtropical los rendimientos a nivel comercial promedian cuatro $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$ a cielo abierto y que la duración de siembra – cosecha es de 90 días (datos no publicados).

Dinámica del rendimiento de huitlacoche por corte

Se detectaron diferencias significativas entre rendimientos por cortes de los tratamientos (híbridos). En el corte 2 (25 días después de la inoculación) se obtuvo mayor rendimiento en todos los híbridos. El híbrido Dk -2042 tuvo una producción de $3,369 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ en el corte 2 el cual representó el 75 % de su rendimiento total. En éste mismo corte el híbrido A – 7573 tuvo un rendimiento de $2,375 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ que representó el 73 % de su producción total (Cuadro 1).

CUADRO 1. Distribución del rendimiento por corte en nueve híbridos comerciales de maíz inoculados con formulación basada en teliosporas de huitlacoche. 2012.



^z Medias con la (s) misma (s) letra (s) dentro de la columna RHA son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey; DMSH_{T=0.05}: diferencia mínima significativa honesta de Tukey; NC: Número de corte 1, 2, 3 y 4 (20, 25, 30, 35 días después de la inoculación); Ren/corte: rendimiento de hongo por corte (kg·ha⁻¹).

Es importante mencionar que en esta fecha de corte fueron muy importantes la alta humedad relativa (75 a 85 %), la precipitación (43 – 53 mm) y las temperaturas frescas (28 a 35 °C) durante los 20 días posteriores de la inoculación ya que estas pudieron favorecer al desarrollo y crecimiento de las agallas, así como también la humedad del suelo (80-85 % de humedad aprovechable) (Madrigal-Rodríguez *et al.*, 2010).

El híbrido Cronos mostró el rendimiento más distribuido entre cortes. Empezó produciendo 0.96 t·ha⁻¹ (21 %) del total su producción seguido de 2.3 t·ha⁻¹ (51 %) en el segundo corte, y para el tercer corte mantuvo 1.13 t·ha⁻¹ (25 %) de rendimiento total (Cuadro 1).

En contraste el híbrido Dk -2042 tuvo una producción puntual principalmente en el corte 2. Empezó produciendo 0.44 t·ha⁻¹ (10 %) del total su producción seguido de 3.39 t·ha⁻¹ (75 %) en el segundo corte, y para el tercer fue de 0.59 t·ha⁻¹ (13 %) de rendimiento total. (Cuadro 1).

Estos resultados son de valiosa ayuda para la planificación de siembras, respondiendo así positivamente a las demandas crecientes de huitlacoche fresco en el mercado nacional e internacional (Villanueva *et al.*, 2007). La siembra de maíz para huitlacoche en clima subtropical (600 – 1200 msnm) puede ser más rentable porque al no haber heladas se puede producir huitlacoche todo el año, reduciendo los tiempos de operación y manejo en campo. Así mismo se pueden utilizar paralelamente tecnologías más eficientes como: la labranza cero que ayuda optimizar el tiempo en la preparación del terreno-siembra y el riego por goteo para distribuir la humedad eficientemente en el cultivo, en momentos clave para el desarrollo del huitlacoche.

Tamaño de agalla

Hubo diferencias significativas entre cortes. El segundo corte produjo más agallas de primera calidad en todos los híbridos (Figura 1).

No hubo diferencias significativas entre híbridos; sin embargo, los híbridos DK-2042 y Cronos fueron numéricamente superiores (3, 608 kg·ha⁻¹ y 3, 301 kg·ha⁻¹, respectivamente) al producir agallas de calidad primera (Figura 2).

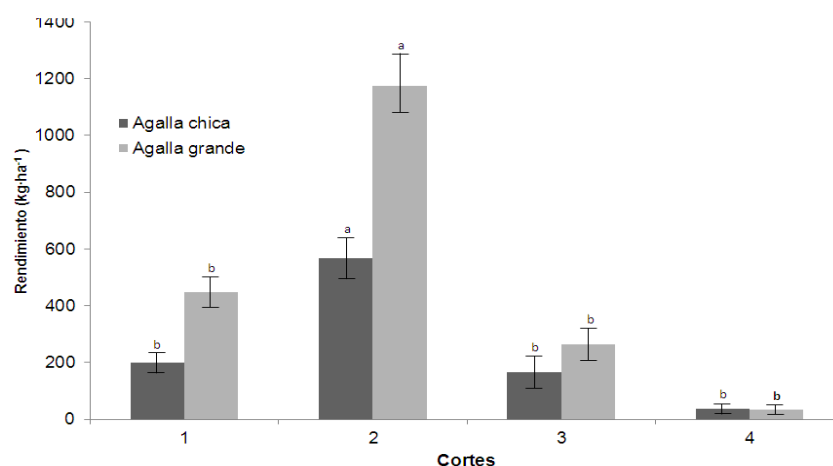


FIGURA 1. Producción de agallas de huitlacoche de primera y segunda calidad cosechadas en cuatro cortes en híbridos comerciales de maíz, cada punto es la media de 4 repeticiones $\pm$ error estándar. Valores con la misma letra de columnas son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$.

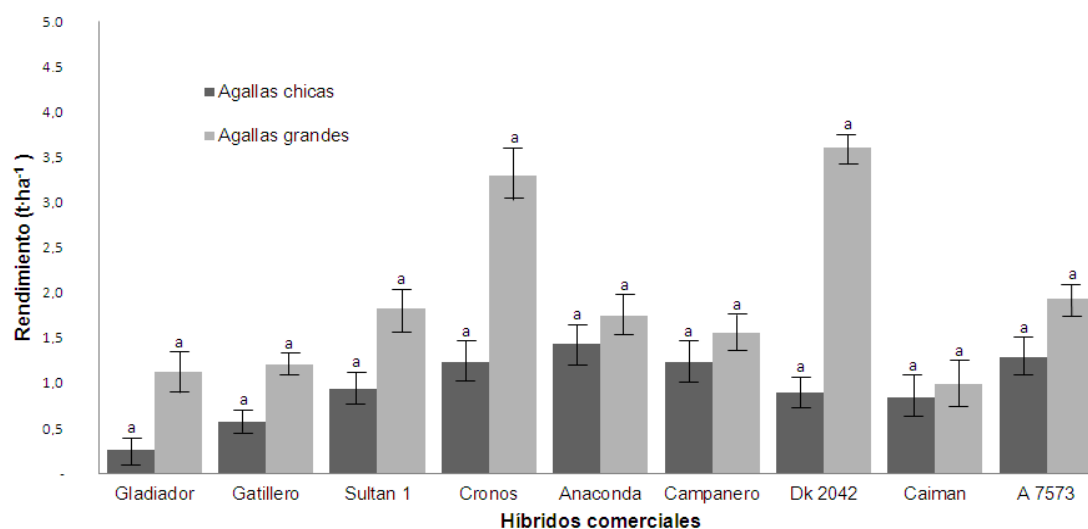


FIGURA 2. Producción de agallas de huitlacoche de primera y segunda calidad en nueve híbridos comerciales de maíz, cada punto es la media de 4 repeticiones $\pm$ error estándar. Valores con la misma letra de columnas son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$.

Programación calendarizada

Se realizó un ejercicio de programación calendarizada de siembra-cosecha basado en el patrón de distribución del rendimiento por corte en los híbridos Cronos y Dk-2042, por su alta producción de agallas de primera calidad y por sus altos rendimientos totales de huitlacoche. Se asumió un rendimiento de seis $t \cdot ha^{-1}$ debido a que es un rendimiento intermedio respecto al presente y al que ha sido obtenido en otros experimentos a cielo abierto como los hechos por Martínez-Martínez *et al.* (2000).

En este ejercicio, se plantea como meta cosechar una tonelada diaria de huitlacoche a partir de los 90 días después de la primera siembra en un clima subtropical (600 – 1200 msnm), para lo cual la superficie necesaria calculada resultó ser de 14 ha, de las cuales 12 ha son para la siembra de maíz para huitlacoche, las dos hectáreas adicionales están consideradas para hacer rotación de cultivos principalmente con leguminosas.

La planificación propuesta con el híbrido Cronos se muestra en la Figura 3. En la sección (A) se representa la distribución de la cosecha en cuatro cortes por cada siembra programada (I –IV). En la primera siembra se observa un primer corte a los 90 días con un rendimiento de $1.2 t \cdot ha^{-1}$; el segundo corte es a los 92 días con un rendimiento de $3.0 t \cdot ha^{-1}$ siendo este el punto máximo de cosecha en todas las siembras; estos picos altos de producción están separados cada 6 días de una siembra a otra (debido a que se siembra $1 ha \cdot semana^{-1}$). El tercer corte de la primera siembra, se traslapa con el primer corte de la segunda siembra teniendo una sumatoria de $2.7 t \cdot ha^{-1}$ (Figura 3, sección B pico III). El cuarto corte de la primera siembra, se traslapa con el segundo corte de la segunda siembra sumando $3.2 t \cdot ha^{-1}$ (Figura 3, sección B pico IV). Este comportamiento es cíclico para las sucesivas siembras. Por lo tanto con este híbrido, con la siembra de 1 ha por semana es posible cosechar un promedio de $1.5 t \cdot ha^{-1}$ diaria durante 90 días.

En contraste, en la planificación propuesta con el híbrido Dk-2042 se observa la distribución de la cosecha en sus cuatro cortes (Figura 4, sección A). El primer corte es a los 90 días con un rendimiento de $0.6 t \cdot ha^{-1}$; el segundo corte es a los 92 días con un rendimiento de $4.5 t \cdot ha^{-1}$, siendo este el punto máximo de

cosecha en todas las siembras, Estos picos altos de producción también están separados cada 6 días de una siembra a otra (debido a que se siembra 1 ha·semana⁻¹). Con este híbrido, sólo se presenta un traslape que es en el corte IV de la primera siembra con el corte I de la segunda siembra teniendo una sumatoria de 0.72 t·ha⁻¹ (Figura 4, Sección B pico IV). A diferencia del Cronos, el híbrido Dk - 2042 presenta una cosecha concentrada solo en un corte semanal de 4.5 t·ha⁻¹.

Para los dos híbridos analizados en el experimento es posible obtener rendimientos programados. En el caso de usar el híbrido Cronos se puede responder a una demanda diaria, mientras que en contraste, con el híbrido Dk-2042 se puede responder a demandas semanales. La utilización de uno o del otro depende de la frecuencia de abasto de la demanda exigida por el mercado y de la logística utilizada para su distribución.

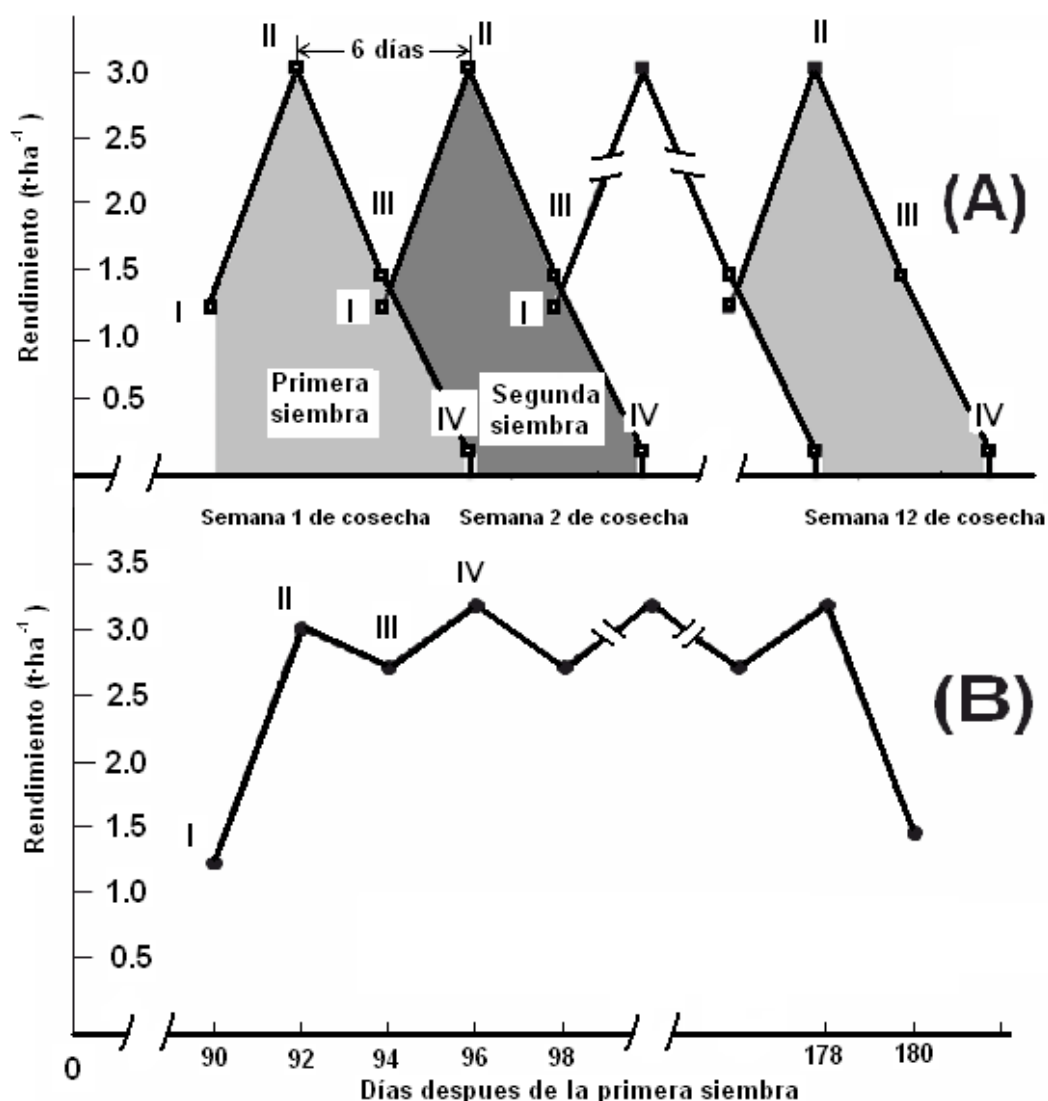


FIGURA 3. Representación gráfica de la dinámica de cosecha de huitlacoche obtenida mediante siembras semanales sucesivas de una hectárea, con el híbrido Cronos. (A): traslape de cosechas y (B): sumatoria de cosechas traslapadas. I: primer corte; II: segundo corte; III: tercer corte; IV: cuarto corte.

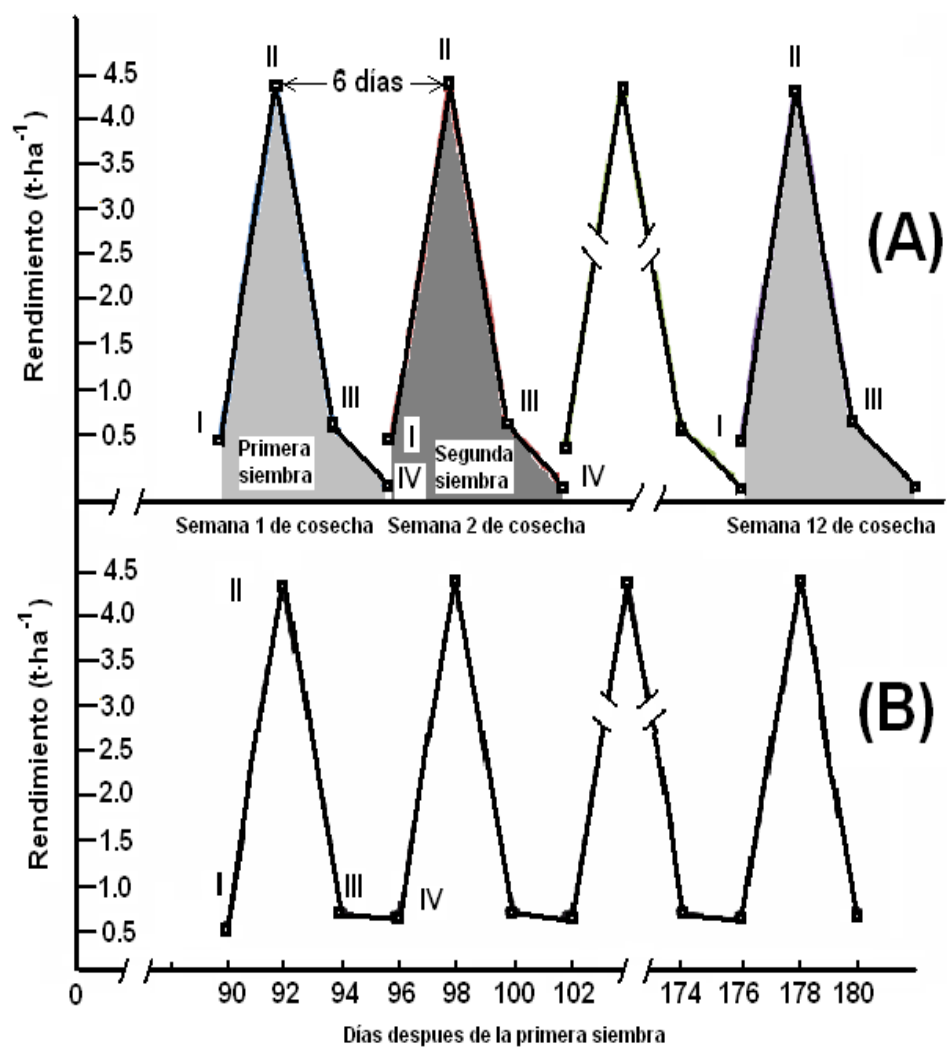


FIGURA 4. Representación gráfica de la dinámica de cosecha de huilacoche obtenida mediante siembras semanales sucesivas de una hectárea, con el híbrido Dk- 2042. (A): traslape de cosechas y (B): sumatoria de cosechas traslapadas. I: primer corte; II: segundo corte; III: tercer corte; IV: cuarto corte.

CONCLUSIONES

- 1) Los híbridos más sobresalientes con base en rendimiento de huitlacoche y calidad de agallas son Cronos y Dk-2042.
- 2) En el segundo corte es cuando se cosecha mayor rendimiento de huitlacoche y con agallas de mejor calidad en todos los híbridos evaluados.
- 3) En un sistema de producción intensiva y continua de huitlacoche, en una unidad de producción de 14 ha, puede ser utilizado el híbrido Cronos como respuesta a una demanda diaria de 1.5 toneladas de huitlacoche fresco, debido al traslape de cosecha entre fechas semanales de siembra.
- 4) El híbrido Dk-2042 puede ser utilizado para responder una demanda semanal de 6 toneladas de huitlacoche fresco, debido su cosecha se concentra en el segundo corte y el traslape de cosecha entre cortes es mínimo.

LITERATURA CITADA

- AGRIOS, G. N. 2005. Plant pathology. 5th ed. Academic Press. USA. 922 p
- DESENTIS-MENDOZA, R. M.; HERNÁNDEZ-SÁNCHEZ, H.; MORENO, A.; ROJAS, D. C. E.; CHEL-GUERRERO, L.; TAMARIZ, J.; JARAMILLO-FLORES, M. E. 2006. Enzymatic polymerization of phenolic compounds using laccase and tyrosinase from *Ustilago maydis*. Biomacromolecules. 7, 6: 1845-1854.
- GARCÍA, E. 1998. Modificación al sistema de clasificación climática de Köepen. Ed. Offset Larios S. A. de C. V. México. 217 p.
- GUZMÁN, G. 1994. Los hongos en la medicina tradicional de Mesoamérica y México. Ed. Iberoamericana. México. 278 p.
- LEÓN-RAMÍREZ, C. G.; CABRERA-PONCE, J. L.; MARTÍNEZ-ESPINOZA, A. D.; HERRERA-ESTRELLA, L.; MENDEZ, L.; REYNAGA-PEÑA, C. G.; RUIZ-HERRERA, J. 2004. Infection of alternative host plant species by *Ustilago maydis*. New Phytology 164: 337-346.
- KAMPER, J.; KAHMANN, R.; BÖLKER, M. 2006. Insights from the genome of the biotrophic fungal pathogen *Ustilago maydis*. Nature 444:97-101.
- MADRIGAL-RODRÍGUEZ, J.; VILLANUEVA-VERDUZCO, C.; SAHAGÚN-CASTELLANOS, J.; ACOSTA-RAMOS, M.; MARTÍNEZ-MARTÍNEZ, L.; ESPINOSA-SOLARES, T. 2010. Production test of greenhouse hydroponic huitlacoche (*Ustilago maydis* Cda.). Revista Chapingo Serie Horticultura 16 (3): 177 – 182.
- MARTÍNEZ – MARTÍNEZ, L.; VILLANUEVA – VERDUZCO, C.; SAHAGÚN – CASTELLANOS, J. 2000. Susceptibility and resistance of maize to the edible fungus huitlacoche (*Ustilago maydis* Cda.) improving its virulence. Revista Chapingo Serie Horticultura 6 (2): 241 – 255.
- MENDOZA-MENDOZA, A.; BERNDT, P.; DJAMEI, A.; WEISE, C.; LINNE, U.; MARAHIEL, M.; VRANES, M.; KAMPER, J.; KAHMANN, R. 2008. Physical-

- Chemical plant-derived signals induce differentiation in *Ustilago maydis*.
Molecular microbiology. 71, 4: 895 -911.
- PAN J. J, 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.
- RUIZ-HERRERA, J.; MARTÍNEZ-ESPINOZA, A. D. 1998. The Fungus *Ustilago maydis*, from the Aztec cuisine to the research laboratory. International Microbiology. 1:149-158.
- VILLANUEVA C.; MOLINA J. D.; CASTILLO F.; ZAVALA E. 1999. Artificial induction of “huitlacoche” (*Ustilago maydis* Cda.): influence of different conditions in the field. Micología Neotropical Aplicada 12: 41-47.
- VILLANUEVA, V. C.; SÁNCHEZ, R. E.; VILLANUEVA, S. E. 2007. El huitlacoche y su cultivo. Ed. Mundi Prensa, México. 96p.
- WALBOT, V.; SKIBBE, D. S. 2010. Maize host requirements for *Ustilago maydis* tumor induction. Sex Plant Reprod. 23: 1-13.

DISCUSIÓN GENERAL

Actualmente el huitlacoche es un cultivo con gran potencial productivo y económico. El mercado exige cada vez más volúmenes de producción durante todo el año, es por eso la necesidad de generar conocimiento, técnicas más prácticas para obtener rendimientos comerciales de huitlacoche. El rendimiento es resultado de varios factores y decisiones tomadas como es el caso de: la elección de sembrar un híbrido susceptible al hongo (*Ustilago maydis* Cda.). que cumpla con características propias para producir huitlacoche desde su altura de mazorca apropiada (120 a 150 cm) para realizar la labor de la inoculación, hasta los componentes del rendimiento como es el porcentaje de incidencia (PI) e índice de severidad (ISE), Considerando lo anterior en el primer experimento (2011) fueron evaluados 40 híbridos comerciales, de los cuales fueron identificadas 8 híbridos (Caimán, Campanero, Cronos, Dk-2042, Gladiador, Gatillero, Sultán 1 y Cóndor), susceptibles a la inoculación artificial de huitlacoche (*Ustilago maydis*) con formulaciones de esporidias. Para el segundo año (2012) fueron seleccionados los 8 mejores híbridos del 2011 por su capacidad de producción de huitlacoche (Anaconda, Caimán, Campanero Cronos, Dk-2042, Gladiador Gatillero y Sultán 1) a estos se les sumo el híbrido A-7573 debido a que es el más sembrado en México para producir huitlacoche a cielo abierto a nivel comercial para ser inoculados con la formulación de teliosporas. Presentando diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0.05$) en todas las medias de las variables registradas. El rendimiento fue mayor en los híbridos Cronos y Dk-2042 en ambos experimentos. Por lo tanto son útiles para la producción de huitlacoche con diferentes tipos de formulación del inóculo.

El tipo de formulación también es un factor para considerar en una unidad de producción intensiva ya que de está depende del éxito o fracaso para obtener rendimientos altos, su característica deseable es de que el patógeno sea virulento. El modelo factorial de este experimento sirvió para comparar los dos tipos de formulaciones utilizados en ambos experimentos (esporidias 2011 y teliosporas 2012). En el análisis de varianza muestra diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$) para todos los caracteres evaluados. La comparación de medias de los

nueve híbridos inoculados (teliosporas y esporidias) muestra que la mejor formulación fue la de teliosporas aumentando los rendimientos a 46% más que la formulación de esporidias.

El ambiente juega un papel importante para el desarrollo del huitlacoche principalmente después de la inoculación. La humedad óptima es un 80- 85% de humedad relativa y una temperatura de 16-32 °C (Madrigal., 2008 y Martínez, 1999). Este conjunto de factores afectaron en gran medida a en ambos experimentos. En el primer año hubo daños severos por, granizo (24 de agosto del 2011) y heladas tempranas (5 y 7 de septiembre 2011). La granizada provocó una baja capacidad fotosintética por el rompimiento de las hojas atrasando drásticamente el desarrollo de los híbridos. La helada provocó principalmente la muerte y del follaje de muchas plantas inoculadas al final no presentaron algún grado de severidad aumentando los valores de SEV1 y SEV2 (cubrimiento de mazorca por agallas 0 y 25 %). Se han realizado de manera experimental evaluaciones en invernadero con los objetivos recrear condiciones óptimas para la producción de huitlacoche (Madrigal-Rodríguez *et al.*, 2010), mas sin embargo esta tecnología no ha sido adoptada a escala comercial debido a que los costos de operación son muy elevados por el tiempo de establecimiento del maíz 3 a 4 meses sin producción. Es por esta razón que se busca generar información para producir intensivamente a campo abierto ya que sigue siendo una alternativa sustentable para las regiones con clima subtropical (600 – 1300 msnm).

En el Capítulo 2 se responde a la necesidad de contar con información para poder planificar y diseñar patrones de cosecha de huitlacoche en híbridos comerciales de maíz para abastecer una demanda constante de este producto. Los patrones de cosecha son una herramienta importante para poder decidir el híbrido, el tipo de formulación a utilizar, como también el tiempo de cosecha para poder estar presentes en el mercado demandante. Como resultado de este estudio se encontró, que para un sistema de producción intensiva de huitlacoche pueden ser utilizados los híbridos Cronos y Dk-2042; esto con base en sus rendimientos y calidad de agallas. El corte 2 fue el punto donde se cosecha más agalla y de mejor calidad en los nueve híbridos.

CONCLUSIONES GENERALES

1. Con los resultados obtenidos en el análisis del experimento de 40 híbridos comerciales inoculados con esporidias (2011); los mejores híbridos para producir huitlacoche a campo abierto son Gladiador Sultán 1, Cóndor, Campanero y Caimán
2. Los resultados del análisis del experimento de teliosporas (2012) los mejores híbridos de maíz con mayores rendimientos (RHA) fueron Cronos y Dk – 2042
3. Según el análisis combinado factorial los mejores híbridos para producir huitlacoche a campo abierto son Cronos y Dk – 2042 tanto al ser inoculados con teliosporas como con esporidias
4. Los híbridos que producen mayor rendimiento con la formulación de esporidia son Gladiador, Sultán 1, Campanero, y Caimán
5. Los híbridos que tuvieron mayor rendimiento con la formulación a base de teliosporas son Cronos y Dk – 2042
6. La formulación de teliosporas es mejor que la de esporidias por presentar el rendimiento más alto en todos los híbridos, aumentando el porcentaje de incidencia e índice de severidad.
7. Los híbridos más sobresalientes con base en calidad de agallas son Cronos y Dk-2042.
8. El segundo corte es el punto donde se cosecha más agalla y de mejor calidad en todos los híbridos.
9. En un sistema de producción intensiva y continua de huitlacoche puede ser utilizado el híbrido Cronos como respuesta a una demanda diaria de 1.5 t·de huitlacoche fresco.
10. En un sistema de producción intensiva y continua de huitlacoche puede ser utilizado el híbrido Dk-2042 como respuesta a una demanda semanal de 6 t·ha⁻¹ de huitlacoche fresco.