

## Patogenicidad de cepas de *Ustilago maydis* para la producción en condiciones controladas

Dulce Janeth Aguayo-González<sup>1</sup>  
Fidel Guevara-Lara<sup>2</sup>  
José de Jesús Luna-Ruiz<sup>1</sup>  
Laura Eugenia Pérez-Cabrera<sup>1</sup>  
Carlos Alberto García-Munguía<sup>3</sup>  
Alberto Margarito García-Munguía<sup>1§</sup>

<sup>1</sup>Centro de Ciencias Agropecuarias, <sup>2</sup>Centro de Ciencias Básicas-Universidad Autónoma de Aguascalientes. Av. Universidad 940, Aguascalientes, México. CP. 20131. Tel. 449 9107400. (dulceamarant@hotmail.es; fguevar@correo.uaa.mx; joselunaruz11@yahoo.com.mx; leperez@corre.uaa.mx). <sup>3</sup>Universidad de Guanajuato. Carreteras Irapuato-Silao km 9, Col. Centro, Irapuato, Guanajuato. CP. 36500. Tel. 462 4825374. (cagamu@hotmail.com).

§Autor para correspondencia: almagamu@hotmail.com.

### Resumen

La amplia variabilidad patogénica en cepas de *Ustilago maydis* permite la evaluación en semillas de maíz híbridas y criollas para la producción de huitlacoche. Por lo anterior, el objetivo en este estudio fue evaluar la capacidad patogénica de cepas de *U. maydis* del estado de Aguascalientes, México durante el periodo 2014-2016 en maíces híbridos y criollos para la producción de huitlacoche en condiciones controladas con el método de inoculación artificial. Evaluando cuatro cepas de Aguascalientes y dos cepas testigo originarias del Estado de México, en tres híbridos y tres criollos, con un diseño experimental completamente al azar con tres repeticiones en arreglo factorial 6x4. Obteniendo así diferencias significativas entre variedades comerciales y las tres cruza evaluadas, donde la cruza 2 presentó la mayor patogenicidad con 59.6% (criollos) y 76.9% (híbridos) para índice de severidad, en la incidencia con 82.2% (criollos) y 93.3% (híbridos), para gramos por mazorca infectada con 73.9 g (criollos) y 134 g (híbridos) y para el rendimiento por hectárea fue de 4.1 t ha<sup>-1</sup> (criollos) y 7.7 t ha<sup>-1</sup> (híbridos). El híbrido A7573 presentó la mayor susceptibilidad para las tres cruza evaluadas. Concluyendo así que las cepas del estado Aguascalientes presentan patogenicidad, siendo una buena opción para la producción de huitlacoche en condiciones controladas.

**Palabras claves:** criollas, híbridos, invernadero.

Recibido: febrero de 2021

Aceptado: abril de 2021

## Introducción

El hongo *Ustilago maydis* [(D.C.) Corda] es un hongo basidiomiceto conocido en el mundo por causar la enfermedad llamada carbón común del maíz (*Zea mays*), esta infección propicia la formación de grandes tumores o agallas que al desarrollarse en la mazorca se le conoce como ‘huitlacoche’ o ‘cuitlacoche’ y son utilizadas en la preparación de diferentes platillos (Ruíz y Martínez, 1998; Bölker, 2001; Pataky y Chandler, 2003).

En México, el huitlacoche se ha utilizado desde la época prehispánica como alimento exquisito; no obstante, la apariencia poco atractiva de la enfermedad en el maíz ha atraído la atención de comensales nacionales e internacionales, dándole un valor agregado (Bernal y Ramírez, 2011). Además de destacar que en este hongo predomina la glucosa y fructuosa, también contiene carbohidratos, proteínas, grasas, minerales y vitaminas como riboflavina, niacina, biotina, y ácido fólico que constituyen a su valor nutricional (Kealey y Kosikowski, 1981; Lizárraga, 1995).

El huitlacoche aparece en casi todas las regiones productoras de maíz, aunque las condiciones climáticas favorables para su desarrollo son muy variadas, algunos autores afirman que el ataque de este patógeno puede ser más severo en ambientes húmedos (humedad relativa de 72-80%) y templados (temperatura de 17-20 °C) (Villanueva *et al.*, 1999; Martínez *et al.*, 2005), otros autores indican que el ataque es más frecuente en áreas cálidas (temperatura de 26-34 °C) y moderadamente secas (Agrios, 2005).

La infección forma un filamento dicarion como resultado de las interacciones de apareamiento. Este proceso es controlado por el *locus a* y *b*. El *locus a* regula la formación de filamentos de apareamiento o tubos de conjugación, la transcripción de proteínas codificada por el *locus b* entra en juego después de la fusión para mantener el crecimiento filamentosos del dicarion infeccioso y para promover el desarrollo de patógenos en la planta.

Uno de los aspectos de apareamiento en *U. maydis* es que hay múltiples especificidades en el *locus b* con estimaciones que van desde 25 hasta 33 diferentes tipos (Banuett, 1992; Banuett, 1995; Kronstad, 2003). *U. maydis* presenta una variabilidad genética en la virulencia del hongo, este tiene gran cantidad de líneas o biotipos con diferentes características fisiológicas y patogénicas. La característica principal de este hongo es ser heterotálico lo que provoca que surjan nuevos biotipos por hibridación en cada nueva generación sexual, por esto, de una sola agalla es posible aislar una gama de líneas haploides que difieren en su patogenicidad.

También se ha demostrado que el índice de crecimiento, color, producción esporidial de colonias y otros caracteres en los medios de cultivo pueden ser modificados por fluctuaciones ambientales como temperatura, nutrimentos, vitaminas, sustancias de crecimiento y agentes químicos (Martínez *et al.*, 2000; Martínez *et al.*, 2005).

Programas de reproducción actuales se basan en la infección natural de carbón en parcelas de campo y la eliminación de las líneas de mejoramiento más susceptibles a fin de mantener la resistencia a tizón; sin embargo, numerosos informes están disponibles en la influencia de las diversas técnicas de inoculación, la etapa de desarrollo del huésped y las condiciones ambientales para la patogénesis (Kealey y Kosikowski, 1981; Pataky, 1991).

En la producción artificial de huitlacoche existe la técnica de inoculación artificial sobre híbridos comerciales de maíz dulce y variedades de polinización abierta (Martínez *et al.*, 2000) esta técnica se ha desarrollado desde el siglo XVIII (Walter, 1935). En diferentes partes de México se han evaluado la patogenicidad de algunas cepas de *U. maydis* y la susceptibilidad y resistencia en variedades de maíz, sin embargo, para el estado de Aguascalientes no existe información sobre la patogenicidad de las cepas silvestres, así como la susceptibilidad y resistencia en variedades de maíz adaptadas en el estado.

Por lo anterior, el objetivo de esta investigación fue evaluar diferentes cepas de *Ustilago maydis* del estado de Aguascalientes para infectar plantas de maíz bajo condiciones controladas con el método de inoculación artificial.

## Materiales y métodos

### Localización del sitio experimental

Invernadero de 80 m<sup>2</sup>, ubicado en el Centro de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma de Aguascalientes; Jesús María, Aguascalientes (21.9668018, -102.3676961, 1 880 msnm). Durante el periodo de infección las condiciones controladas dentro del invernadero, fue una temperatura entre 26-32 °C y humedad relativa alrededor de 70%.

### Material vegetal

Tres cepas de *Ustilago maydis* de maíz criollo y tres cepas de maíz de variedades comerciales (AS822 [Aspros], A7573 [Asgrow] y H-383 [INIFAP]).

### Cruza de las cepas

Laboratorio de Biotecnología y Funcionalidad de Alimentos del Centro de Ciencias Básicas de la Universidad Autónoma de Aguascalientes. Se aislaron y cruzaron 27 cepas colectadas en diferentes municipios del estado de Aguascalientes, a través del procedimiento de Guevara (1999) durante el periodo 2014-2016. Posteriormente se eligieron 4 pares de cepas del estado de Aguascalientes que presentaron mayor compatibilidad y 2 pares de cepas del Estado de México (Cuadro 1) para la inoculación en plantas de maíz. El inoculo se estableció a una concentración de 10x10<sup>6</sup> esporidios para cada uno de los pares de cepas.

**Cuadro 1. Cepas para evaluar en invernadero con el método de inoculación artificial.**

Cruzas	Cepas	Localidad	Municipio	Estado
1	1B	Providencia	Aguascalientes	Aguascalientes
	3B	UAA Posta	Jesús María	
2	13B	Francisco Villa	Asientos	
	16B			
3 Testigo*	ch1			Estado de México
	Q318			

\* = cruza de cepas comprobadas para infección en plantas de maíz.

## Diseño experimental

Se colocaron 360 bolsas negras con aproximadamente 15 kg de suelo cada una en cinco surcos dobles con 36 macetas cada uno, el diseño experimental fue completamente al azar con tres repeticiones en arreglo factorial 6x4. El factor A fueron las variedades de maíz: Criollo 1 (C1), Criollo 2 (C2), Criollo 3 (C3), AS-822, Aspros (AS), A-7573, Asgrow (AW) y H-383, INIFAP (IP) (Cuadro 2). El factor B fueron: cruza 1, cruza 2, cruza 3 y Sin inocular (Cuadro 2).

**Cuadro 2. Variedades de maíz utilizadas en invernadero.**

Características	Criollo 1 (C1)	Criollo 2 (C2)	Criollo 3 (C3)	AS822, Aspros (AS)	A7573, Asgrow (AW)	H-383, INIFAP (IP)
Localidad	Paredes*	Ejido del Bajío*	Ejido Peñuelas*	Semilla certificada		
Municipio	San José de Gracia	Rincón de Romos, Ags.	Aguascalientes			
Estado de origen	Aguascalientes	Zacatecas	Aguascalientes	Jalisco	Bajío	Aguascalientes
Tipo de híbrido	-	-	-	Triple	Triple	Simple
Ciclo	-	-	-	Intermedio	Intermedio Precoz	Intermedio
Condiciones de siembra	Temporal	Temporal	Temporal	Buen temporal Riego	Buen Riego	Buen temporal Riego
Días de floración	75-80**	80-85**	80-85**	77-80	60-70	80-85
Días de madurez	130-136**	115-120**	115-120**	142-148	100-110	110-115
Altura de planta (m)	2.3-2.5**	1.3-1.5**	2.00-2.1**	2.15-2.25	2.1-2.5	3
Altura de mazorca (m)	1.9**	90-110**	1.4-1.5**	1.4-1.55	1.1-1.5	-
Tipo de grano	Blanco	Blanco	Amarillo	Blanco semi dentado	Blanco	Blanco semi dentado

\* = lugar de colecta de la semilla; \*\* = datos obtenidos en campo y entrevista con el productor, todos son datos aproximados.

## Germinación e inoculación

Las semillas se colocaron en agua corriente durante 24 h antes de su siembra para promover la germinación anticipada. Se programaron cuatro riegos por goteo de 15 min cada uno en la etapa de germinación durante 15 días, se suspendió el riego durante 15 días y se reinició en la etapa vegetativa con la misma programación, una vez que se inocularon los jilotes se aumentó a seis riegos de 15 min cada uno.

La inoculación se realizó con una jeringa hipodérmica, se inyectando 2 ml de inóculo correspondiente al tratamiento, se inoculó por el canal de los estilos cuando estos presentaron una longitud de 1 a 5 cm y antes de que ocurriera la polinización. Posterior a la inoculación, el manejo de las plantas de maíz fue de 4 riegos al día de 15 min cada uno. Además de considerar durante el periodo de infección, la aplicación de agua por aspersión (1 min al día) sobre el follaje, con la finalidad de aumentar la humedad relativa y propiciar el crecimiento del hongo.

### **Variables evaluadas**

22 días después de la inoculación se realizaron las siguientes evaluaciones: índice de severidad (IS): proporción de los elotes cubiertos por agallas formadas por el hongo. Se tomaron en cuenta cinco grados de severidad: IS1 (0%), IS2 (25%), IS3 (50%), IS4 (75%) y IS5 (100%) (Madrigal *et al.*, 2010).

### **Porcentaje de incidencia (PI)**

Número de jilotes infectados con algún grado de severidad dividido entre el número de jilotes inoculados multiplicado por 100 (Madrigal *et al.*, 2010).

### **Gramos por mazorca infectada (GMI)**

Peso total en gramos del huitlacoche desgranado de todos los elotes infectados dividido entre el número de elotes infectados por el hongo (Madrigal *et al.*, 2010).

### **Rendimiento por hectárea en toneladas (RHt)**

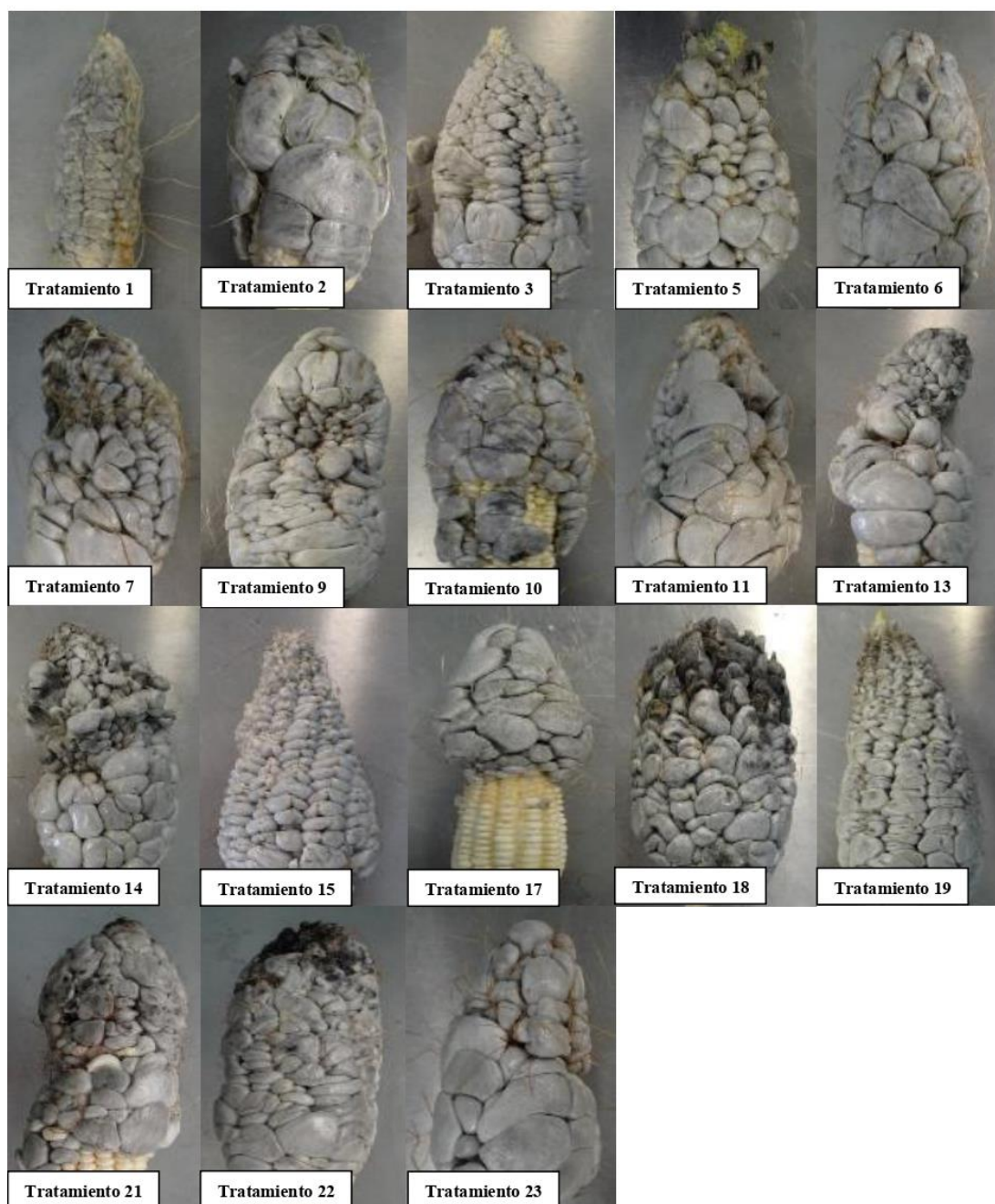
Se obtuvo al multiplicar la densidad de población de maíz por los GMI (Madrigal *et al.*, 2010).

### **Análisis estadístico**

Todos los resultados se analizaron utilizando el software InfoStat versión 2017 para Windows y se expresaron como media  $\pm$  desviación estándar ( $n=3$ ). Se utilizó el análisis unidireccional de la varianza (Anova), aplicando análisis de Tukey ( $p < 0.05$ ) para medias con diferencias significativas. En el mismo software con los valores medios se realizó un análisis de componentes principales (PCA), para observar diferencias y similitudes de las muestras analizadas.

## **Resultados y discusión**

En el índice de severidad (IS), se puede observar que existen diferencias significativas entre los tratamientos, donde los tratamientos de las variedades Criollo 1 ( $94.7 \pm 1.3$ ), AS ( $90.7 \pm 9.3$ ) y Asgrow ( $89.3 \pm 10.7$ ) con la cruz 2 fueron las que presentaron los valores más altos de índice de severidad, mientras que los tratamientos de la variedad Criollo 2 con la cruz 2 ( $42.7 \pm 17.6$ ) y con la cruz 1 ( $48 \pm 4.6$ ) fueron los que presentaron los valores más bajos de IS. En la Figura 1, se pueden observar las agallas de huitlacoche formadas en mazorca mediante la producción artificial de los diferentes tratamientos evaluados.



**Figura 1. Agallas de huitlacoche en mazorca mediante la producción artificial de los diferentes tratamientos evaluados en el periodo 2014-2016.**

En el porcentaje de incidencia (PI), se observa que existen diferencias significativas entre los tratamientos, donde la variedad C3 con la cruz 2 y la variedad C1 con la cruz presentaron un mayor PI (100%), mientras que la variedad C2 con la cruz 2 obtuvo un menor IP ( $60 \pm 23.1$ ) (Cuadro 3).

**Cuadro 3. Variedad-cruza evaluados para la producción de huitlacoche.**

Tto	Variedad	Cruza	IS (%)	PI	GMI	RHt
1	C1	1	57.3 ±7.4ab	73.3 ±13.3ab	32.9 ±11.6de	1.6 ±0.8cd
5	C2	1	48 ±4.6b	66.7 ±6.7ab	53.1 ±16.6cde	2.3 ±0.9cd
9	C3	1	65.3 ±1.3ab	93.3 ±6.7ab	91.5 ±17.1bcde	5.1 ±1.1abcd
13	AS	1	81.3 ±7.1ab	93.3 ±6.7ab	96.2 ±16.5abcde	5.5 ±1.2abcd
17	AW	1	78.7 ±11.6ab	93.3 ±6.7ab	122 ±31abcde	7 ±2.1abcd
21	IP	1	49.3 ±7.4b	80ab	76.2 ±9.2cde	3.7 ±.4bcd
2	C1	2	68 ±6.1ab	86.7 ±6.7ab	75.5 ± 1.7cde	3.8 ± 0.4bcd
6	C2	2	42.7 ±17.6b	60 ±23.1b	51.4 ±33.1cde	2.6 ±0.2bcd
10	C3	2	68 ±6.1ab	100a	94.7 ±12.8bcde	5.7 ±0.8abcd
14	AS	2	74.7 ±4.8ab	93.3 ±6.7ab	93.3 ±12.5bcde	5.3 ±1abcd
18	AW	2	81.3 ±10.9ab	93.3 ±6.7ab	178.8 ±65.6abc	10.5 ±4.6abc
22	IP	2	74.7 ±2.7ab	93.3 ±6.7ab	129.9 ±15.3abcde	7.2 ± 0.7abcd
3	C1	3	94.7 ±1.3a	100a	131.4 ±5.9abcde	7.9 ± 0.4abcd
7	C2	3	76.0 ±4ab	80ab	159.9 ±7abcd	7.7 ± 0.3abcd
11	C3	3	74.7 ±8.1ab	86.7 ±6.7ab	165.9 ±24.6abcd	8.8 ± 1.9abcd
15	AS	3	89.3 ±10.7a	93.3 ±6.7ab	163.4 ±23.5abcd	9.3 ± 1.9abc
19	AW	3	90.7 ±9.3a	93.3 ±6.7ab	230.9 ±39.4a	13.2 ± 3a
23	IP	3	73.3 ±11.4ab	86.7 ±6.7ab	216.1 ±63.2ab	11.7 ± 4.2ab
4	C1	SN	0c	0c	0e	0c
8	C2	SN	0c	0c	0e	0c
12	C3	SN	0c	0c	0e	0c
16	AS	SN	0c	0c	0e	0c
20	AW	SN	0c	0c	0e	0c
24	IP	SN	0c	0c	0e	0c

Medias con la(s) misma(s) letras(s) son estadísticamente iguales, según la prueba de Tukey ( $p < 0.05$ ); diferencia mínima significativa honesta. Tto= tratamiento; IS= índice de severidad en porcentaje; PI= porcentaje de incidencia; GMI= gramos por mazorca infectada; RHt= rendimiento por hectárea en toneladas; SN= sin inocular (control).

En los resultados de las variables gramos por mazorca infectada (GMI) y en rendimiento por hectárea en toneladas (RHt) el comportamiento de las muestras fue el mismo, en ambas variables se observan diferencias significativas entre los tratamientos, donde el tratamiento de la variedad AW con la cruza 3 presentó un mayor rendimiento por mazorca (230.9 ±39.4) y por hectárea (13.2 ±3), mientras que el tratamiento de la variedad C1 con la cruza 1 presentó los rendimientos más bajos por mazorca (32.9 ±11.6) y por hectárea (1.6 ±0.8) (Cuadro 3).

Los rendimientos obtenidos con el híbrido Asgro2 inoculado con la cruza 3 (13.2 t ha<sup>-1</sup>) se aproximan a los rendimientos obtenidos por Martínez *et al.* (2000), donde reportan que, en ensayos experimentales y comerciales a cielo abierto, alcanzaron hasta una producción máxima de 14 t ha<sup>-1</sup>. No obstante, la cruza 1 con el híbrido INIFAP (3.7 t ha<sup>-1</sup>) y variedad Criollo 3 con la cruza 1 (5.1 t ha<sup>-1</sup>) están cercanos a los reportados por Madrigal *et al.* (2010) donde obtuvieron que el híbrido 30G40 presentó el mayor rendimiento con 4 786.2 kg ha<sup>-1</sup>.

Si bien, Martínez *et al.* (2000) obtuvo un mejor rendimiento del hongo por planta infectada (279.7 g) comparado con los resultados de esta investigación (230.9 g), la diferencia entre ambos resultados puede ser influenciada por las variedades utilizadas en ambas investigaciones. El periodo de incubación del hongo varía de 12 a 25 días, en invernadero se puede presentar un periodo de incubación más rápida (7 a 16 días) y en campo más lenta (17 a 19 días) (Thakur *et al.*, 1989; Pope y McCarter, 1992; Valverde *et al.*, 1993; Carroll, 1994; Pataky *et al.*, 1995).

Esto concuerda con lo obtenido en los resultados para la variable de GMI (Cuadro 3) dado que el periodo de incubación y crecimiento del hongo varió para todos los tratamientos, algunas presentaron menor producción y otras variedades presentaron un óptimo desarrollo del hongo a los 22 días de incubación.

Los resultados obtenidos en las semillas criollas en la variable porcentaje de incidencia (PI) fue 77.8-88.9%, mientras que en la variable índice de severidad en porcentaje (IS) fue entre 56.9-81.8%, a su vez la variable gramos por mazorca infectada (GMI) arrojó como resultado 59.2-152.4g y el rendimiento por hectárea en toneladas (RHt) fue de 3-8.1 t ha<sup>-1</sup> (Cuadro 3), estos resultados varían respecto a los reportados por Valdez *et al.* (2009).

Donde obtuvieron en 15 genotipos de maíz criollo variaciones en los porcentajes de infección en mazorcas desde 31 a 92% (promedio 72%), para los porcentajes de cobertura del hongo sobre la mazorca oscilaron entre 46 al 97%, con un valor promedio de 77% y el peso de huitlacoche por mazorca, varió considerablemente en las líneas de maíz (80 hasta 450 g) y rendimientos de aproximadamente 15 t ha<sup>-1</sup>.

Martínez *et al.* (2000) evaluaron 100 aislamientos del hongo en un híbrido experimental, seleccionando 12 de ellos por su vigor, presentando en promedio 190 g del hongo por planta infectada, y 135.24 g por planta inoculada (8.11 t ha<sup>-1</sup>), índice de severidad de 36.82 y una incidencia de 70.64%.

De las 300 familias de medios hermanos maternos evaluadas (1998) por inoculación con la mezcla de los 12 aislamientos seleccionados (1997), se eligieron 16 familias susceptibles, que presentaron en promedio 154.97 g del hongo por planta infectada y 112.88 g por planta inoculada (6.67 t ha<sup>-1</sup>), 76.67% de incidencia y 34.82 de índice de severidad, así como 14 familias resistentes (0% de incidencia) al ataque del hongo. Los resultados obtenidos en IP, IS, GMI y RHt en las variedades híbridas inoculadas con la cruz 2 superan a los obtenidos por estos autores (Cuadro 3).

### **Análisis de componentes principales (PCA)**

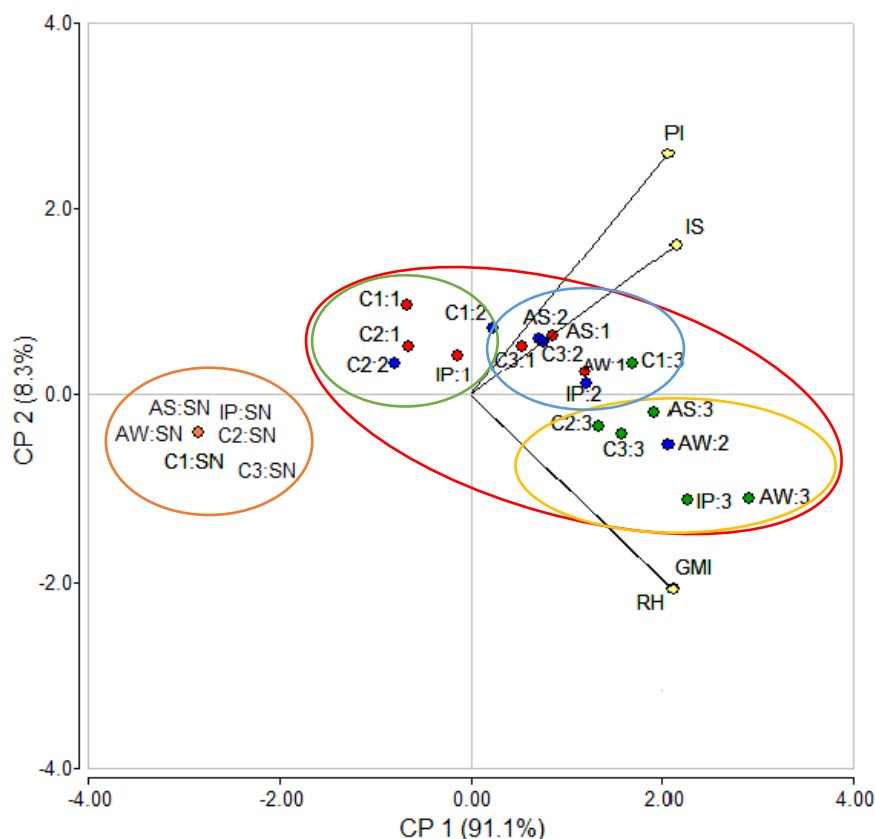
Se realizó un análisis de componentes principales (PCA), tomando en cuenta los resultados obtenidos de todas las variables medidas: índice de severidad (IS), porcentaje de incidencia (PI), rendimiento por mazorca (GMI) y rendimiento por hectárea en toneladas (RHt), para comparar las características principales de los tratamientos de las variedades C1, C2, C3, AS, AW e IP con las cruces 1, 2 y 3.

Donde, se logró observar que el componente principal uno (CP1) y dos (CP2) explicaron 91.1% y 8.3% de la varianza total, respectivamente. La combinación de estados dos componentes por medio de un Biplot de forma multivariante de ordenación pueden explicar 99.4% de la variabilidad



acumulada de las variables (Figura 1) y se consideró que esto era suficientemente alto para una diferenciación confiable entre las características de los tratamientos. El valor de la correlación cofenética (1) indicó que la reducción variable realizada fue adecuada.

En la Figura 2, se puede observar que los tratamientos más afines a cada variable se localizan más cerca de la flecha que representa a dichas variables, de esta manera se puede observar que existe un agrupamiento de los tratamientos, dicho agrupamiento se dio entre las variedades sin inocular (GSN: óvalo naranja) y las que fueron inoculadas (GI: óvalo rojo), de esta manera se puede observar que las variedades sin inocular presentaron los valores más bajos en todas las variables analizadas: IS, PI, GMI y RHt.



**Figura 2. Biplot de forma multivariante de ordenación de los tratamientos para la producción de huitlacoche en el periodo 2014-2016.** Punto naranja= tratamientos sin inocular; punto rojo= variedades inoculadas con la cruz 1; punto azul= variedades inoculadas con la cruz 2; punto verde= variedades inoculadas con la cruz 3; punto amarillo: variables determinadas. Óvalo naranja= grupo formado por tratamientos sin inocular (GSN); óvalo rojo= grupo formado por los tratamientos inoculados (GI); óvalo amarillo= grupo 1 (G1), óvalo azul= grupo dos (G2); óvalo verde= grupo 3 (G3).

Sin embargo, en el grupo conformado por las variedades que si fueron inoculadas con diferentes cruzas (GI: óvalo rojo), también se puede observar que existe la formación de tres grupos, agrupados principalmente de acuerdo con la cruz utilizada para la inoculación.

El grupo uno (G1: óvalo amarillo) está formado por los tratamientos de la variedad AW inoculada con la cruza 2 y por las variedades C2, C3, AS, AW e IP inoculadas con la cruza 3, donde, este grupo de tratamientos presento un mayor rendimiento por mazorca (GMI) y por hectárea (RHt), caso contrario al grupo tres (G3: óvalo verde) conformado por los tratamientos de las variedades C1, C2 e IP inoculadas con la cruza 1 y las variedades C1 y C2 inoculadas con la cruza 2, que fueron los tratamientos que presentaron los valores más bajos de GMI y RHt, así como de IS y PI.

No obstante, el grupo dos (G2: óvalo azul) conformado por los tratamientos de las variedades C3, AS y AW inoculadas con la cruza 1, las variedades C3, AS e IP inoculadas con la cruza 2 y por la variedad C1 inoculada con la cruza 3, fue el grupo de tratamientos que presento valores intermedios en todas las variables analizadas, ya que presentaron buenos GM1 y RH, pero no mayores a los del G1, mientras que para los valores de IS y PI, tanto el G1 como el G2 presentaron valores similares.

Las cruzas que se utilizaron se conforman solo por dos cepas para cada cruza, donde el G2 presentó el mayor PI (93.3%) y el G1 obtuvo los valores más altos para IS (84.4%), GMI (203.4 g) y RHt (11.4 t ha<sup>-1</sup>). El porcentaje de infección mayor se obtuvo con la variedad Bida-54 y el inóculo de diez cepas (78.8%), seguida del inóculo con cuatro cepas en la misma variedad de maíz (52.8%). La variedad Bengala, obtuvo un grado de infección de 27% y rendimiento de huitlacoche de 6.3 t ha<sup>-1</sup>.

Las diferencias significativas que se obtuvieron entre los resultados concuerdan con los autores Christenses (1963); Villanueva *et al.* (1999); Pataky y Chandler (2003), donde mencionan que existe una variación patogénica del hongo, la infección está en función de la habilidad del patógeno, la susceptibilidad del huésped y su interacción con el ambiente y que para cada variedad de maíz existe una relación de temperaturas y humedad óptimas para el desarrollo de *U. maydis*.

Las cepas evaluadas del estado de Aguascalientes presentaron valores en IS altos en comparación con algunos autores mencionados lo que concuerda con Calderón (2010), donde reporta que el valor del IS generado por cada cepa de huitlacoche no está totalmente relacionado con la variedad ni el color del maíz, lo que indica que aun cuando las variedades de maíz blanco son las más susceptibles, esto más bien depende de la virulencia de la cepa.

## Conclusiones

Las cepas del estado de Aguascalientes (1B, 3B, 13B y 16B) presentaron un índice de severidad en porcentaje alto, presentando una patogenicidad alta y una opción para la producción de huitlacoche en el estado de Aguascalientes. Los híbridos presentaron mayor susceptibilidad con las tres cruzas evaluadas a comparación de las variedades criollas. Es de importancia observar el comportamiento de cada variedad y con esto establecer un periodo de incubación homogéneo en cada variedad para obtener una mayor producción de huitlacoche.

## Literatura citada

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

- Banuett, F. 1995. Genetics of *Ustilago maydis*, a fungal pathogen that induces tumors in maize. USA. Annual Rev. Genetics. 29(1):179-208.
- Bernal, M. H. y Ramírez V. B. 2011. Investigación interdisciplinaria para el desarrollo rural en Puebla y Tlaxcala. Editorial LETRAS. Estado de México, México. 433 p.
- Bölker, M. 2001. *Ustilago maydis* a valuable model system for the study of fungal dimorphism and virulence. Microbiology. 147:1395-1401.
- Carroll, J. E. 1994. Learning biology with plant pathology. Virginia, United, states of America. 111 p.
- Guevara, L. F. 1999. Relación del ácido indol-3-ácetico con la capacidad de *Ustilago maydis* (huitlacoche) de inducir tumores en maíz. Tesis de doctorado. Universidad Autónoma de Querétaro. México. 166 p.
- Kealey, K. S. and Kosikowski, F. Y. 1981. Corn smut as a food source perspective on biology, composition and nutrition. USA. Food Sci. Nutr. 15(14):321-351.
- Kronstad, J. W. 2003. Castles and huitlacoche: the first international *Ustilago* conference. USA. Fungal Genetics Biol. 38(3):265-271.
- Lizárraga, G. R. 1995. Extracción y caracterización de compuestos saborizantes en huitlacoche (*Ustilago maydis*). Tesis de maestría. Universidad Autónoma de Sinaloa. México. 30-57 pp.
- Madrigal, R. J.; Villanueva, V. C.; Sahagún, C. J.; Acosta, R. M.; Martínez, M. L. y Espinosa, S. T. 2010. Ensayos de producción de huitlacoche (*Ustilago maydis* Cda.) hidropónico en invernadero. Rev. Chapingo. Ser. Hortic. 16(3):177-182.
- Martínez, M. L.; Villanueva, V. C. y Sahagún, C. J. 2000. Susceptibilidad y resistencia del maíz al hongo comestible huitlacoche (*Ustilago maydis* Cda.) mejorando su virulencia. Rev. Chapingo. Ser. Hortic. 6(2):241-255.
- Martínez, M. L.; Muñoz, O. A.; Mejía, C. J.; Molina, G. J.; Zavaleta, M. E.; Sandoval, I. J. y Villanueva, V. C. 2005. Efectos genéticos e interacciones entre familias de maíz y aislados de huitlacoche (*Ustilago maydis* D. C. Corda). Rev. Chapingo. Ser. Hortic. 11(1):121-128.
- Pataky, J. K. 1991. Production of huitlacoche (*Ustilago maydis* Corda) on sweet corn. USA. Hort Science. 26(11):1374-1377.
- Pataky, J. K. and Chandler, M. A. 2003. Production of huitlacoche, *Ustilago maydis* Cda. Timing inoculation and controlling pollination. USA. Mycologia. 95(6):1261-1270.
- Pataky, J. K.; Nankam, C. and Kerns, M. R. 1995. Evaluation of a silkinoculation technique to differentiate reactions of sweet corn hybrids to common smut. USA. Phytopathology. 85(10):1323-1328.
- Pope, D. D. and Carter, S. M. 1992. Smut incidence and severity after inoculating developing corn ears with *Ustilago maydis* using different methods. USA. Phytopathology. 82(4):500.
- Ruiz, H. J. and Martínez, E. A. 1998. The fungus *Ustilago maydis*, from the aztec cuisine to the research laboratory. USA. Inter. Microbiol. 1(2):149-158.
- Thakur, R. P.; Leonard, K. J. and Pataky, K. J. 1989. Smut gall development in adult corn plants inoculated with *Ustilago maydis*. USA. Plant Dis. 73(11):921-925.
- Valdez, M. M.; Valverde, M. E. y Paredes, L. O. 2009. Procedimiento tecnológico para la producción masiva de huitlacoche. México. Centro de Investigación y de Estudios Avanzados (CINVESTAV). 1-18 pp.
- Valverde, M. E.; Fallah, M. P.; Zavala, G. M.; Pataky, J. K.; Paredes, L. O. and Pedersen, W. L. 1993. Yield and quality of huitlacoche on sweet corn inoculated with *Ustilago maydis*. USA. Hort Sci. 28(8):782-785.

Villanueva, V. C.; Cruz, J. D.; Molina, F.; Castillo, K. and Zavaleta, E. 1999. Artificial induction of huitlacoche (*Ustilago maydis*): influence of different conditions in the field. USA. Micol. Neotrop. Apl. 12():41-57.

Walter, J. M. 1935. Factors affecting the development of corn smut, *Ustilago zae* (Beckm.) Unger. USA. 70 p.