

# EFFECTOS GENÉTICOS E INTERACCIONES ENTRE FAMILIAS DE MAÍZ Y AISLADOS DE HUITLACOCHÉ (*Ustilago maydis* D. C. Corda)

L. Martínez-Martínez<sup>1</sup>; A. Muñoz-Orozco<sup>1</sup>; J. A. Mejía-Contreras<sup>1</sup>;  
J. D. Molina-Galán<sup>1</sup>; E. Zavaleta-Mejía<sup>2</sup>; J. S. Sandoval-Islas<sup>2</sup>; C. Villanueva-Verduzco<sup>3</sup>

<sup>1</sup>IREGEP, Colegio de Postgraduados. Carretera México-Texcoco Km. 36.5. Montecillo, Estado de México. C. P. 56230. MÉXICO. Correo-e: martinezm172@yahoo.com.mx (\*Autor responsable).

<sup>2</sup>INIFT. Colegio de Postgraduados. Carretera México-Texcoco Km. 36.5 Montecillo, Estado de México. C. P. 56230. MÉXICO.

<sup>3</sup>Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Km. 36.5 Carretera México-Texcoco. Chapingo, Estado de México. C. P. 56230. MÉXICO.

## RESUMEN

El patosistema maíz-huitlacoche ha coevolucionado desde la época prehispánica hasta mantenerse, en la actualidad, en coexistencia equilibrada. Debido a la importancia económica que el hongo ha adquirido y al desarrollo de técnicas para la inducción artificial de éste, es necesario conocer las relaciones entre la variación del patógeno, del hospedante y de las condiciones ambientales en que ambas prosperan. El objetivo del trabajo fue estimar, en dos ciclos agrícolas, los componentes de varianza de la respuesta de 12 familias de maíz de medios hermanos maternos combinadas con 10 aislados de *Ustilago maydis* D. C. Corda en términos del porcentaje de severidad e incidencia y rendimiento del hongo por planta. Se observaron diferencias significativas y altamente significativas entre familias y entre aislados. La estimación de los componentes de varianza de las esperanzas de los cuadrados medios, indicaron que esta significancia fue atribuida a los componentes de las interacciones más que a los componentes de los efectos principales. Como consecuencia de la alta interacción genotipo-ambiente, las familias y los aislados tuvieron comportamientos diferentes de un ambiente a otro, lo que dificulta recomendar una combinación específica familia-aislado; lo más apropiado sería utilizar una mezcla de aislados con un sintético de genotipos susceptibles.

**PALABRAS CLAVE ADICIONALES:** patosistema, componentes de varianza, hongo

## GENETIC EFFECTS AND INTERACTIONS AMONG MAIZE FAMILIES AND ISOLATES OF HUITLACOCHÉ (*Ustilago maydis* D. C. Corda)

## ABSTRACT

The pathosystem maize-huitlacoche has coevolved since prehispanic times until sustaining itself, currently, in a coequilibrated coexistence. Due to the economical importance acquired by this fungus and to the development of techniques for its artificial induction, it is necessary to learn the relationships among the variation of the pathogen, the host, and the environmental conditions under which both prosper. The objective of this research was to estimate, in two agricultural cycles, the variance components of the performance of 12 maternal half-sib maize families combined with 10 isolates of *Ustilago maydis* D. C. Corda in terms of percentages of severity and incidence and yield of fungus per plant. We observed significant and highly significant differences among families and among isolates. The estimation of variance components of mean square expected values indicated that this significance was attributed mostly to interaction components than to main effects. As a consequence of the high genotype-environment interaction, families and isolates had different performances from one environment to another, this makes it difficult to recommend a specific family-isolate; it would be more appropriate to use a mixture of isolates on a synthetic made from susceptible genotypes.

**ADDITIONAL KEY WORDS:** corn smut, pathosystem, variance components, fungus.

## INTRODUCCIÓN

Las condiciones ambientales del Valle de México han propiciado la coevolución del patosistema maíz (*Zea mays* L.)-huitlacoche (*Ustilago maydis* D. C. Corda) probablemente desde el origen del maíz, ya que el hongo también parasita al ancestro de éste, al teocintle (*Euchlaena mexicana*) (Christensen, 1963). Los aztecas fueron los primeros pobladores que adquirieron el hábito de consumir este hongo y en la actualidad tal uso se ha generalizado, no sólo en México, sino también en algunas partes de Estados Unidos de Norteamérica, la Comunidad Económica Europea y Japón, donde la demanda ha aumentado considerablemente (Villanueva *et al.*, 1999).

Para que ocurra el desarrollo de la enfermedad en un patosistema, es necesaria la presencia de un agente causal virulento (patógeno), un hospedante susceptible y las condiciones ambientales favorables para el desarrollo de la enfermedad (Bovey, 1989); la edad de patógeno y del hospedante es otro factor determinante en esta relación, por lo cual estos cuatro factores tienen la misma importancia dentro del tetraedro de la enfermedad. Debido al gran número de patógenos que son capaces de provocar una enfermedad en las plantas, la resistencia de éstas a las enfermedades es una característica de la vida vegetal, ya que de un elevado número de interacciones, sólo algunas de éstas pueden dar como resultado la patogénesis, por lo que se ha considerado que la resistencia vegetal es la regla y la susceptibilidad la excepción. Cuando una planta hospedante tiene una estrecha coexistencia con sus patógenos y ambos han coevolucionado, los cambios en la virulencia del patógeno están equilibrados con los cambios en la resistencia de la planta y viceversa, por lo que se establece un equilibrio dinámico de resistencia y virulencia, donde ambos organismos sobreviven (Agrios, 1999).

La evolución de la resistencia y virulencia puede explicarse por la relación de "gene por gene" establecida por Flor (1942), en la que demostró que para cada gene de resistencia en el hospedero exista un gene contraparte o acoplante en el patógeno que confiere virulencia a éste y viceversa. Robinson (2000) considera que en la respuesta del hospedante se tienen dos tipos de genes que condicionan a la vez dos tipos de resistencia, la vertical, dada por pocos genes de efectos mayores, de manera tal que se tiene una "especialización fisiológica" en la cual la resistencia opera contra algunas poblaciones del patógeno, pero no contra otras, la resistencia es temporal. En cambio, la horizontal está dada por genes de efectos cuantitativos que presentan una acción aditiva o combinada, proporcionando resistencia a numerosas razas del patógeno en un nivel bajo o moderado, la resistencia es duradera. Estos términos fueron propuestos originalmente por Van der Plank en los años sesenta y en la actualidad muchos investigadores han puesto especial interés para la generación de materiales resistentes a enfermedades.

El huitlacoche aparece en casi todas las regiones productoras de maíz, aunque las condiciones climáticas favorables para su desarrollo aún no han sido generalizadas, pues algunos autores aseguran que el ataque de este patógeno puede ser más severo en ambientes húmedos (humedad relativa de 72 a 80 %) y templados (17 a 20 °C) (De León, 1984; Villanueva *et al.*, 1999). Por el contrario, otros autores indican que el ataque es más frecuente en áreas cálidas (26 a 34 °C) y moderadamente secas (Agrios, 1999).

Las esperanzas de los cuadrados medios permiten conocer los diferentes componentes de variación que integran al cuadrado medio, trátase de modelos aleatorios, fijos o mixtos (Snedecor y Cochran, 1979). Los programas del Statical Análisis System (SAS) actuales ya contienen la manera de estimar dichos componentes de una manera versátil (Littell *et al.*, 1996). La teoría de los componentes ha sido tratada por Searle (1971) y recientemente por Cox y Solomon (2003). La ventaja de estas estimaciones es que permite tener idea de la magnitud de los diferentes efectos genéticos, ya que se describe la composición de las esperanzas de los cuadrados medios. Con base en lo anterior se planteó el siguiente objetivo: estimar los componentes de varianza de la respuesta de 12 familias de maíz combinadas con 10 aislados de huitlacoche en dos ciclos agrícolas en términos del porcentaje de severidad, porcentaje de incidencia y rendimiento del hongo por planta. Las hipótesis propuestas fueron: a) existe alta variación genética entre familias de maíz y entre aislados del hongo; b) el comportamiento, tanto de las familias como de los aislados, puede ser diferente de un ambiente a otro y, c) el comportamiento de cada familia de maíz combinado con los aislados del hongo puede ser diferente.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se estableció en dos ambientes: el 26 de marzo de 2000 en el Campo Agrícola Experimental "San Martín" de la Universidad Autónoma Chapingo, en Chapingo, México, y el 17 de mayo de 2001 en el Campo Agrícola Experimental del Colegio de Postgraduados en Montecillo, México. Se utilizaron 12 familias de maíz de medios hermanos de segunda generación derivadas del híbrido H-135, las cuales fueron seleccionadas por Martínez *et al.* (2000) de un grupo de 300 familias con diferente reacción al huitlacoche. Se sembraron dos semillas por distancia cada 0.5 m, en surcos de 4.0 m de largo por 0.8 m de ancho. El diseño experimental fue bloques al azar con arreglo en parcelas divididas, asignándose las familias de maíz a las parcelas grandes y a las subparcelas los aislados del hongo, con dos repeticiones en cada una de las localidades.

Se manejaron 10 aislados monospóricos de huitlacoche en la etapa de basidiospora, preparándose una solución con agua destilada a una densidad de 10,000,000

de basidiosporas-ml<sup>-1</sup>. Estos aislados fueron seleccionados por Martínez *et al.* (2000) de un grupo de 100, por presentar alta virulencia contra el híbrido H-135. La inoculación en campo se realizó de los 109 a 118 días después de la siembra en el 2000 y de los 102 a 117 en el 2001, coincidiendo con la antesis en cada ciclo. Se utilizó una jeringa hipodérmica de 3 ml de capacidad; a cada jilote se le inyectó 1.5 ml de la suspensión en tres puntos equidistantes a lo largo de éste. Se tomó una muestra de 16 plantas inoculadas por tratamiento, las cuales estaban en competencia completa.

La toma de datos comenzó a los 35 días después de la inoculación al observarse las agallas del hongo fuera de la mazorca, las cuales habían cambiado de color blanquecino a grisáceo, indicador de que el hongo estaba en el punto óptimo para ser cosechado. Las variables evaluadas fueron las siguientes:

### Porcentaje de severidad (PS)

Se definieron cinco grados de severidad (GS) de acuerdo con el porcentaje de cubrimiento de las agallas del hongo en la mazorca y se obtuvo el dato promedio de cada interacción.

GS1: 0 % de cubrimiento de la mazorca.

GS2: De 1 a 25 % de cubrimiento de la mazorca.

GS3: De 26 a 50 % de cubrimiento de la mazorca.

GS4: De 51 a 75 % de cubrimiento de la mazorca.

GS5: De 76 a 100 % de cubrimiento de la mazorca.

$$PS = \frac{(\text{Número de mazorcas GS1})(0) + \dots + (\text{Número de mazorcas GS5})(100)}{\text{Total de mazorcas inoculadas}}$$

### Porcentaje de incidencia (PI)

Registrado como el número total de mazorcas infectadas por el hongo entre el total de mazorcas inoculadas, multiplicado por 100.

$$PS = \frac{(\text{Número de mazorcas GS2}) + \dots + (\text{Número de mazorcas GS5})}{\text{Total de mazorcas inoculadas}} \cdot 100$$

### Rendimiento del hongo por mazorca (RHM)

Definido como el peso del hongo libre del elote (g) entre el número total de mazorcas inoculadas.

$$RHM = \frac{(\text{Peso de mazorcas GS2}) + \dots + (\text{Peso de mazorcas GS5})}{\text{Número total de mazorcas inoculadas}}$$

Los datos de las variables evaluadas se analizaron en el programa SAS versión 8 como un factorial con cuatro

factores, haciendo un análisis de varianza con PROC GLM de los principales factores y la comparación de medias de Tukey. Además, se estimaron los componentes de varianza con el método VAR COMP en la modalidad de Máxima Verosimilitud Restringida (REML, siglas en inglés).

El modelo empleado para el análisis de las  $f$  familias (F) y los  $a$  aislados (A) en los  $l$  localidades o ambientes (L) y  $r$  repeticiones (R) para los datos promedio por unidad experimental fue el siguiente:

$$Y_{ijkl} = \mu + L_i + (R/L)_{ji} + F_k + (L \times F)_{ik} + [R(L \times F)]_{jik} + A_i + (L \times A)_{il} + (F \times A)_{kl} + (L \times F \times A)_{ikl} + E_{ijkl}$$

Donde:

$\mu$  = valor promedio de la unidad experimental,

$L_i$  = efecto del  $i$ -ésimo ambiente o localidad,

$(R/L)_{ji}$  = efecto de la  $j$ -ésima repetición dentro del  $i$ -ésimo ambiente,

$F_k$  = efecto de la  $k$ -ésima familia,

$(L \times F)_{ik}$  = efecto de la interacción del  $i$ -ésimo ambiente con la  $k$ -ésima familia,

$[R(L \times F)]_{jik}$  = efecto de la  $j$ -ésima repetición con la interacción entre el  $i$ -ésimo ambiente con la  $k$ -ésima familia,

$A_i$  = efecto del  $i$ -ésimo aislado,

$(L \times A)_{il}$  = efecto de la interacción del  $i$ -ésimo ambiente con el  $l$ -ésimo aislado,

$(F \times A)_{kl}$  = efecto de la interacción de la  $k$ -ésima familia con el  $l$ -ésimo aislado,

$(L \times F \times A)_{ikl}$  = efecto de la interacción del  $i$ -ésimo ambiente con la  $k$ -ésima familia y con el  $l$ -ésimo aislado,

$E_{ijkl}$  = error correspondiente a la observación del aislado  $l$  en la familia  $k$  en la repetición  $j$  del ambiente  $i$ .

El análisis de varianza para este modelo se muestra en el Cuadro 1.

Desde una semana antes de iniciar la inoculación hasta la cosecha de los últimos huitlacoques se registró diariamente la temperatura máxima, mínima y el porcentaje de humedad relativa. Los datos se obtuvieron en las estaciones meteorológicas de la Universidad Autónoma Chapingo y del Colegio de Postgraduados en el ambiente 1 (año 2000) y en el ambiente 2 (año 2001), respectivamente.

**CUADRO 1. Análisis de varianza para *l* ambientes (L), *r* repeticiones (R), *f* familias (F) y *a* aislados (A). Modelo aleatorio.**

FV	GL	CM	E(CM)
Ambientes (L)	l-1	C1	$s^2_e + 2s^2_{ifa} + 24s^2_{ia} + 10s^2_{l(rf)} + 20s^2_{if} + 120s^2_{lr} + 240s^2_i$
Rep/L	r(l-1)	C2	$s^2_e + 10s^2_{l(rf)} + 120s^2_{lr} + 240s^2_r$
Familias (F)	f-1	C3	$s^2_e + 2s^2_{ifa} + 4s^2_{ia} + 10s^2_{l(rf)} + 20s^2_{if} + 40s^2_f$
LxF	(l-1)(f-1)	C4	$s^2_e + 2s^2_{ifa} + 10s^2_{l(rf)} + 20s^2_{if}$
Error a [R(LxF)]	r(l-1)(f-1)	C5	$s^2_e + 10s^2_{l(rf)}$
Aislados (A)	a-1	M1	$s^2_e + 2s^2_{ifa} + 4s^2_{ia} + 24s^2_{ia} + 48s^2_a$
LxA	(l-1)(a-1)	M2	$s^2_e + 2s^2_{ifa} + 24s^2_{ia}$
FxA	(f-1)(a-1)	M3	$s^2_e + 2s^2_{ifa} + 4s^2_{ia}$
LxFxA	(l-1)(f-1)(a-1)	M4	$s^2_e + 2s^2_{ifa}$
Error b	lf(r-1)(l-1)	M5	$s^2_e$
Total	lrf-a-1		

FV: Factor de variación; GL: Grados de libertad; CM: Cuadrado medio y E(CM): Esperanzas de cuadrados medios.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

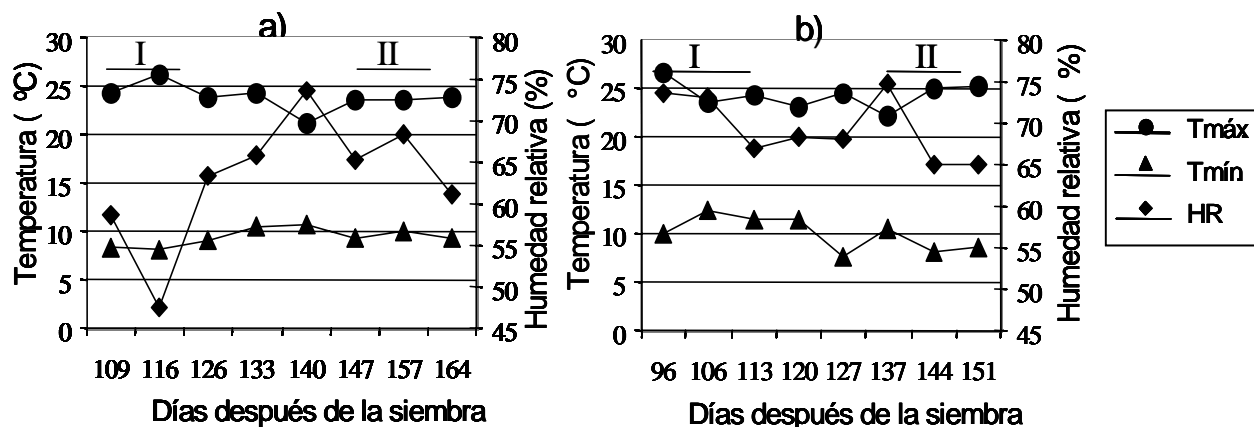
Los principales factores climáticos registrados variaron considerablemente entre ambientes (Figura 1a y 1b), afectando el desarrollo de las cepas. En ambas figuras aparecen los números I y II, los cuales indican el período de inoculación y cosecha de huitlacoques, respectivamente.

En Chapingo, México, la temperatura máxima osciló entre 21.2 y 26.3 °C, mientras que la mínima fue de 8.2 a 10.6 °C, la humedad relativa varió de 47.4 a 73.6 % (Figura 1a), siendo los valores más bajos en el momento de la inoculación, incrementándose ésta considerablemente en los días posteriores, lo cual coincidió con el desarrollo del hongo, el cual fue favorecido en forma importante, mientras que en Montecillo, México, la temperatura máxima fluctuó entre 22.1 y 26.7 °C y la mínima de 7.7 a 12.4 °C, la humedad relativa fue de 65 a 74.6 % (Figura 1b); a pesar

de que ésta fue más constante en este ambiente, la temperatura máxima fue más alta y la mínima más baja que en Chapingo, México. De lo anterior se infiere que los ambientes fueron diferentes, concordante con la alta significancia de los cuadrados medios del Cuadro 2 para PS y RHM. El mejor desarrollo del hongo coincidió con las características ambientales descritas por De León (1984) y Villanueva *et al.* (1999).

Para las familias de maíz y aislados de huitlacoche los cuadrados medios reflejaron alta significancia estadística (Cuadro 2); sin embargo, las estimaciones de las componentes  $s^2_r$  y  $s^2_a$  fueron cero para las tres variables evaluadas. Las esperanzas de los cuadrados medios constan de seis términos para familias y cinco para aislados (Cuadro 1); siendo las estimaciones de  $s^2_r$  y  $s^2_a$  cero, indican que la significancia se debió a las interacciones que componen a las E(CM) de cada uno de estos factores. La relevancia de las interacciones se confirma al observar que el cuadrado medio de LxF es ligeramente mayor que el de familias (F) y el de LxA mayor que el de aislados (A). En este sentido Muñoz (1974) indicó que cuando las interacciones son pronunciadas, pierden validez los efectos principales, por lo que al estimar los componentes de varianza los resultados fueron cero. Matemáticamente los efectos principales no existen, pero al analizar biológicamente el fenómeno, éstos efectos si existen pero están minimizados.

Para el caso de las interacciones FxA y LxFxA, la estimación de  $s^2(FxA)$  fue cero para las tres variables; en cambio la estimación de  $s^2(LxFxA)$  tuvo valores altos (Cuadro 2), por tanto, de acuerdo con las esperanzas de los cuadrados medios (Cuadro 1) ambas interacciones tienen en común la estructura  $s^2_e + 2s^2(LxFxA)$ , por lo que la significancia de ambas obedece básicamente a esta estructura, siendo  $4s^2(FxA)$  lo que diferencia el valor de estas componentes estimadas. Con base en los resultados anteriores, es posible que la variación esté eminentemente generada por las interacciones LxA, FxA y LxFxA.



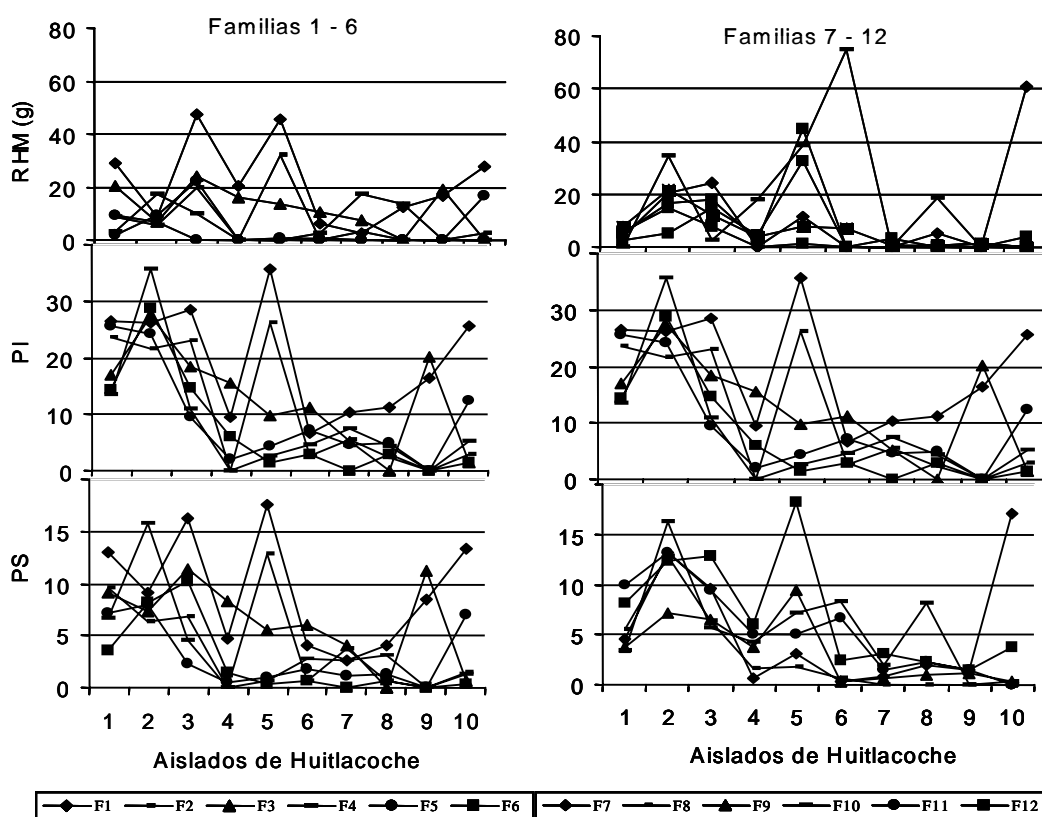
**FIGURA 1. Temperatura máxima (T máx) y mínima (Tmín), y humedad relativa (HR) durante el desarrollo de *Ustilago maydis* D.C. Corda. a) Chapingo, México. (primavera-verano 2000) y b) Montecillo, México (primavera-verano 2001). I: periodo de inoculación; II: periodo de cosecha de huitlacoques.**

**CUADRO 2. Cuadrados medios (CM) y componentes de varianza (C.  $\sigma^2$ ) para tres variables evaluadas en 12 familias de maíz inoculadas con 10 aislados de huitlacoche. Chapingo, México 2000 y Montecillo, México 2001.**

FV	GL	PS		PI		RHM	
		CM	C. $\sigma^2$	CM	C. $\sigma^2$	CM	C. $\sigma^2$
Ambientes (L)	1	397.2**	0	335.4 <sup>ns</sup>	0	1,8482.1**	59.3
Rep/Amb (R/L)	2	124.4*	0.79	134.1 <sup>ns</sup>	0.3	1,660.7*	10.0
Familias (F)	11	160.4**	0	609.7**	0	1,462.5*	0
LxF	11	171.0**	5.3	646.9**	20.4	1,638.6**	40.2
Error a R(LxF)	22	24.5 <sup>ns</sup>	0.8	101.2*	4.0	462.7*	18.9
Aislados (A)	9	480.4**	0	3,524.2**	0	1,567.7**	0
LxA	9	769.8**	23.4	5,049.8**	163.3	2,549.6**	62.6
FxA	99	47.1**	0	145.2**	0	552.9**	0
LxFxA	99	54.6**	17.2	210.7**	58.1	560.5**	141.6
Error b	216	16.5	16.5	61.8	61.8	273.5	273.5
Total	479	62.1		297.3		568.8	
CV (%)		83.14		66.79		180.65	
R <sup>2</sup>		0.88		0.91		0.78	

<sup>ns</sup>, \*, \*\*: no significativo y significativo a una  $P \leq 0.05$  y  $0.01$ , respectivamente.

PS: Porcentaje de severidad; PI: Porcentaje de incidencia del hongo; RHM: Rendimiento del hongo por mazorca; CV: Coeficiente de variación; R<sup>2</sup>: Coeficiente de determinación.



**FIGURA 2. Valores promedio del porcentaje de severidad (PS), porcentaje de incidencia (PI) y rendimiento del hongo por mazorca (RHM) en las interacciones de familias de maíz por aislados de huitlacoche.**

Comparando los valores promedio de PS, PI y RHM en las interacciones de las familias de maíz con los aislados de huitlacoche ignorando los ambientes, se detectó que de manera general los valores más altos de las tres variables evaluadas para las familias se alcanzaron al ser inoculadas

con el aislado 5, aunque para el resto de las interacciones no hubo un comportamiento estable, pues mientras unos valores fueron muy altos en unas familias al ser inoculadas con algún aislado, éstos cambiaron en sentido contrario al ser inoculadas con otro aislado (Figura 2).

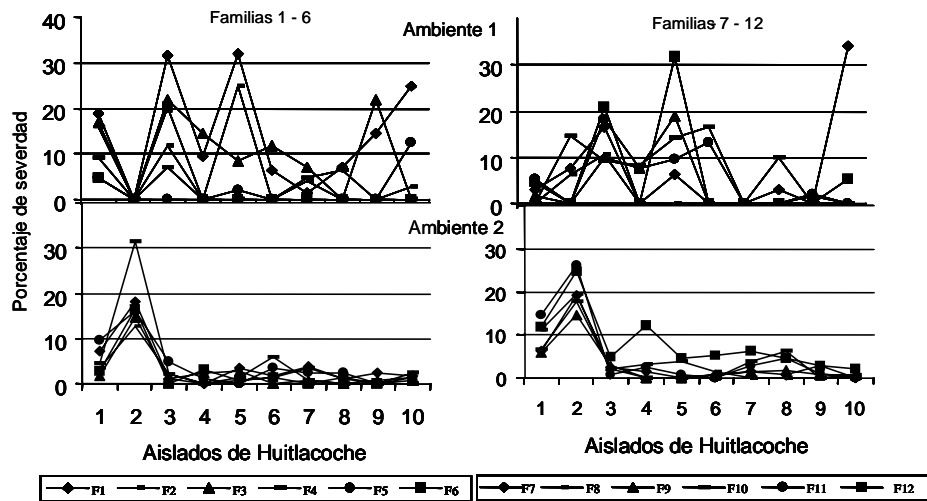


FIGURA 3. Valores promedio del porcentaje de severidad en las interacciones de familias de maíz por aislados de huitlacoche por ambientes.

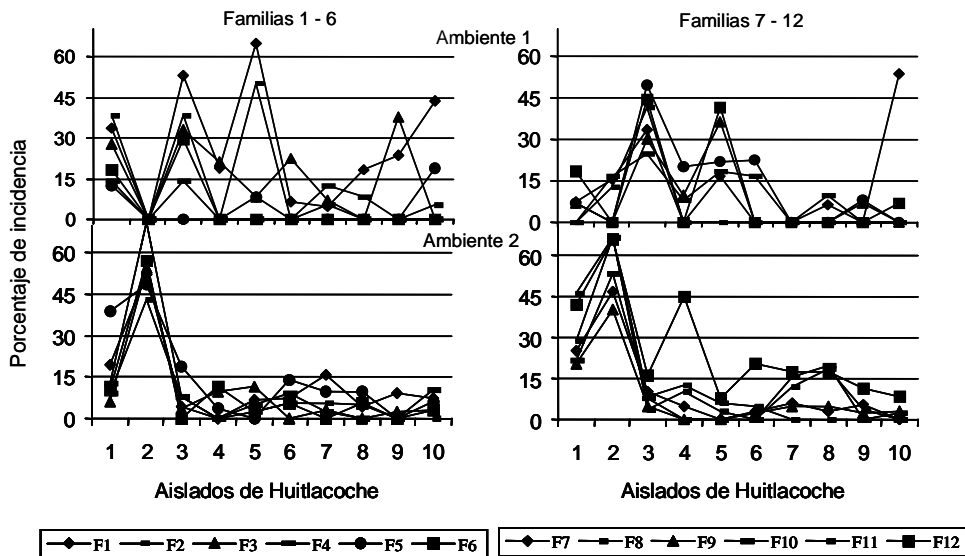


FIGURA 4. Valores promedio del porcentaje de incidencia en las interacciones de familias de maíz por aislados de huitlacoche por ambientes.

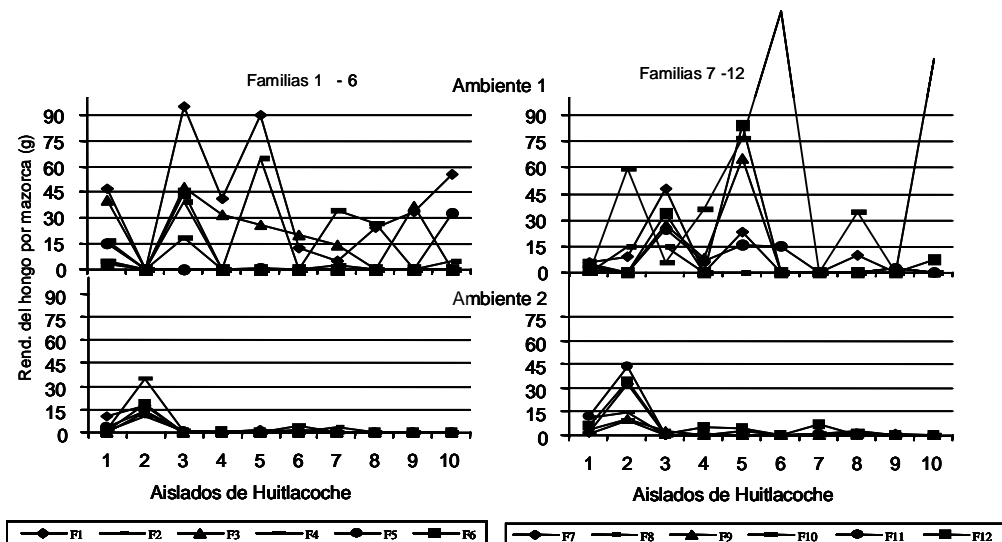
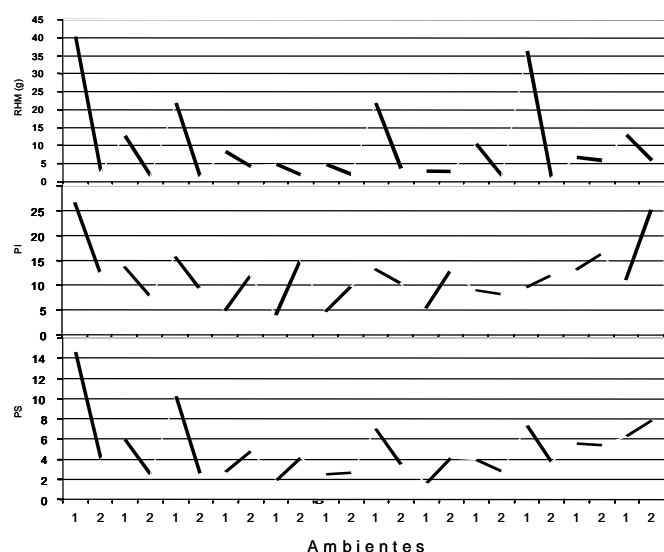


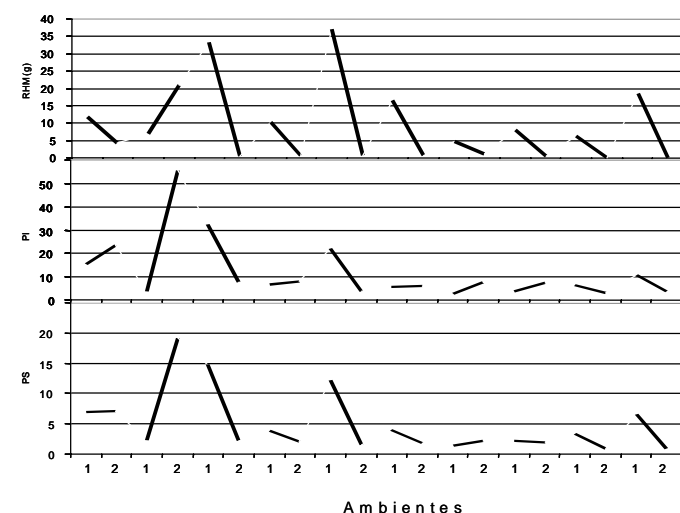
FIGURA 5. Valores promedio del rendimiento del hongo por mazorca en las interacciones de familias de maíz por aislados de huitlacoche por ambientes.

Con respecto a las medias de las variables evaluadas en la interacción de las familias de maíz con los aislados de huitlacoche en cada uno de los ambientes evaluados, se observó que el PS fue más alto en Chapingo, México y fue muy bajo en Montecillo, México (Figura 4). Esto indica que las agallas del hongo tuvieron un mayor cubrimiento de la mazorca en el primer ambiente evaluado. Para el caso del PI (Figura 4) y del RHM (Figura 5), la tendencia fue muy similar a la de PS, obteniendo mayor respuesta de las familias hacia la susceptibilidad al ser inoculadas en el ambiente 1. Debido a lo anterior, no es posible recomendar alguna familia o aislado con un comportamiento estable en ambos ambientes.

Al comparar las medias en la interacción de las familias de maíz por ambientes, existió una alta inestabilidad



**FIGURA 6.** Valores promedio del porcentaje de severidad (PS), porcentaje de incidencia (PI) y rendimiento del hongo por mazorca (RHM) en las interacciones de familias de maíz por ambientes (1=ciclo primavera-verano 2000 y 2=ciclo primavera verano 2001).



**FIGURA 7.** Valores promedio de las interacciones de aislados de huitlacoche por ambientes (1=ciclo primavera-verano 2000 y 2=ciclo primavera-verano 2001).

de éstas de un ambiente a otro. En el porcentaje de severidad algunas familias tuvieron alta severidad en el ambiente 1 (1, 2, 3, 7 y 10), pero muy baja en el ambiente 2, por el contrario otras rindieron más en el 2 (4, 5, 8 y 12) y menos en el 1; la familia 6 fue la más estable. Esta misma tendencia se encontró en las variables PI y RHM (Figura 6). La familia 1 fue la que tuvo la diferencia más alta. Lo anterior indica el efecto determinante de las condiciones ambientales para el desarrollo del patógeno en el maíz. En el caso de los aislados de huitlacoche, el aislado 2 fue el más agresivo en el ambiente 1 y menos en el 2 para PS y PI; el resto de ellos tuvieron una tendencia de mayor producción en el ciclo PV 2000, comparado con el 2001. Se detectó que los aislados 3, 5 y 12 tuvieron valores altos en las tres variables en el ambiente 1, pero estos fueron muy bajos en el 2 (Figura 7), lo que indica el comportamiento inestable de los aislados del hongo ante el cambio de las condiciones ambientales.

Dadas las variaciones en ambientes y en la expresión de las interacciones genético ambientales de las familias de maíz y de los aislados del hongo, para tener una mayor probabilidad de éxito en la producción de huitlacoche, lo más propicio sería el uso de una mezcla de cepas contra variedades sintéticas de familias susceptibles.

## CONCLUSIONES

Hubo diferencias altamente significativas en ambientes para el porcentaje de severidad (PS) y el rendimiento del hongo por mazorca (RHM) libre de olote, pero no fueron significativas en el porcentaje de incidencia (PI), lo que se atribuye a la diferencia de las condiciones ambientales prevalecientes durante la inoculación y desarrollo del hongo en las dos localidades evaluadas.

Tanto los aislados del hongo como las familias de maíz mostraron diferencias altamente significativas para todas las variables evaluadas, pero la estimación de los componentes de varianza de las esperanzas de los cuadrados medios indicaron que esta significancia fue atribuible a los componentes de las interacciones, más que a los componentes de los efectos principales de familias y aislados. De no recurrir a la estimación de los componentes de varianza principales, la interpretación de la significancia para familias y aislados hubiera sido errónea.

Los altos valores de las componentes de varianza para las interacciones provocaron que los efectos principales perdieran validez y que la estimación para familias y aislados fuera marcadamente reducida en las variables estudiadas.

Tanto las familias de maíz como los aislados del huitlacoche mostraron grandes diferencias de un ambiente a otro como consecuencia de la alta interacción genotipo-ambiente, lo cual hace difícil recomendar alguna combinación

específica familia-aislado; en todo caso una mezcla de aislados contra sintéticos de genotipos susceptibles.

### LITERATURA CITADA

- AGRIOS, G. N. 1999. Fitopatología. 2da. edición. UTEHA Noriega Editores. D. F., México 838 p.
- BOVEY, R. 1989. La Defensa de las Plantas Cultivadas. Tratado Práctico de Fitopatología y Zoología Agrícola. Omega. Barcelona, España. 897 p.
- CHRISTENSEN, J. J. 1963. Corn smut caused by *Ustilago maydis*. American Phytopathological Society, Monograph 2. 41 p.
- COX, D. R.; P. J. SOLOMON. 2003. Components of Variance. Chapman and Hall CRC. Washington, D. C., USA. 169 p.
- DE LEÓN, C. 1984. Enfermedades del Maíz. Una guía para su identificación en el campo. Programa de Maíz, CIMMYT. El Batán, México. pp. 80-81.
- FLOR, H. H. 1942. Inheritance of pathogenicity in *Melampsora lini*. Phytopathology 32: 653-669.
- LITTELL, R. C.; MILLIKEN, G. A.; STROUP, W. W.; WOLFINGER, R. D. 1996. SAS System for Mixed Models. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA. 633 p.
- MARTÍNEZ-MARTÍNEZ, L.; VILLANUEVA-VERDUZCO, C.; SAHAGÚN-CASTELLANOS, J. 2000. Susceptibilidad y resistencia del maíz al hongo comestible huitlacoche (*Ustilago maydis* Cda.) mejorando su virulencia. Revista Chapingo Serie Horticultura 6(2): 241-248.
- MUÑOZ O., A. 1974. Tamaño de parcela, diseños y uso de los factoriales en la experimentación agrícola. Folleto Misceláneo No. 25. Centro de Investigaciones Básicas. INIA. Chapingo, Estado de México, México. 38 p.
- ROBINSON, R. A. 2000. Retorno a la Resistencia. Trad. Felipe Romero. Instituto de Fitosanidad. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 292 p.
- SEARLE, S. R. 1971. Topics in variance component estimation. Biometrics 27: 1-76.
- SNEDECOR, G. W.; COCHRAN, W. G. 1979. Métodos Estadísticos. Sexta impresión. Ed. Continental, S. A. D. F., México. 703 p.
- VILLANUEVA, C.; CRUZ, D.; MOLINA, J. D.; CASTILLO, F.; ZAVALA, E. 1999. Artificial induction of "Huitlacoche" (*Ustilago maydis*): Influence of different conditions in the field. Micol. Neotrop. Apl. 12: 41-57.