

Longitud de estigmas en maíz barrera en el flujo de genes con teocintle.

Humberto Alejandro Camacho Contreras, Lino De la Cruz Larios, José de Jesús Sánchez González, José Miguel Padilla García y José Ron Parra

Universidad de Guadalajara, Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias (CUCBA), Instituto de Manejo y Aprovechamiento de Recursos Fitogenéticos (IMAREFI), Km. 15.5 Carretera Guadalajara-Nogales. CP 45110. Apartado Postal 129, Las Agujas, Nextipac, Mpio. de Zapopan, Jalisco, México Tel. y Fax: 33 36 82 07 43. Correo electrónico: cl134268@cucba.udg.mx

Introducción

México y América Central representan el centro de diversidad más grande para el maíz (*Zea mays* L.). En esta región, denominada Mesoamérica, se han reportado por lo menos 60 tipos raciales de maíz y seis especies y subespecies de teocintle (*Zea* spp.), lo cual confirma que esta área es el depósito global más grande de los recursos genéticos del maíz (Wilkes 1977; Sánchez et al. 1998; Sánchez et al. 2000). La distribución del teocintle se encuentra restringida a áreas tropicales y subtropicales de México, Guatemala, Honduras y Nicaragua. El maíz y el teocintle se han mantenido relativamente aislados genéticamente a partir de la domesticación del primero, por lo que se deduce que han tenido la oportunidad de evolucionar en forma independiente. Después de casi un siglo de estudios detallados, se acepta ampliamente que la domesticación del maíz ocurrió en México hace alrededor de 10,000 años a partir de una especie tropical de teocintle anual, *Zea mays* ssp. *parviglumis* Iltis & Doebley (Matsuoka et al. 2002; Doebley 2004). Sin embargo, varios investigadores señalan que el flujo genético entre maíz y teocintle es un evento más raro de lo que podría esperarse, y que esto es debido a varios factores. Los mecanismos más importantes que impiden el flujo de genes en el género de *Zea* son: 1) barreras geográficas y distancia; 2) sincronía floral entre especies; 3) biología del polen y de los estigmas así como las condiciones atmosféricas durante la liberación del polen, 4) los sistemas de incompatibilidad, y 5) deficiencias reproductivas de los híbridos entre especies y la selección humana contra los híbridos (Wilkes 1977; Luna et al. 2001; Baltazar et al. 2003; 2005). La biología de los estigmas incluye su longevidad, longitud y número de tricomas y la del polen resistencia a la desecación, viabilidad y longitud del tubo polínico; estos aspectos son críticos para que ocurra la fecundación y se logre producción efectiva del grano (Baltazar et al. 2005). La biología de los estigmas es sin duda un aspecto que requiere más estudio ya que es el conducto mediante el cual el tubo polínico se desarrolla y se produce la fecundación,

este trabajo tiene la finalidad determinar si la longitud de los estigmas en maíz funciona como barrera en el flujo genético de las especies silvestres del género *Zea*.

Materiales y Método

Sitio de estudio:

Este experimento se realizó en el Campo Agrícola Experimental del Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias de la Universidad de Guadalajara (CUCBA), en dos ciclos de reproducción primavera-verano (P-V) 2007 en condiciones de temporal y en otoño-invierno (O-I) en invernadero. El CUCBA se localiza en el predio Las Agujas, Nextipac, Zapopan Jalisco. Las coordenadas geográficas del lugar son 20° 43` latitud norte y 103° 23` longitud oeste, a una altitud de 1650 msnm, con una temperatura media anual de 18 °C.

Material Genético:

Se utilizaron dos razas de teocintle, cinco líneas puras de maíz del programa de mejoramiento de la Universidad de Guadalajara (UdeG), una línea de la Universidad de Wisconsin (E.U.A.), dos cruza simples, un híbrido comercial y un criollo (Cuadro 1) con el objetivo de contar con materiales que presenten diferentes longitudes de estigma. Una característica en común de los tipos de maíz es que no tuvieran genes de incompatibilidad gametofítica.

Cuadro 1. Tipos de maíz y teocintle (T) y origen de los materiales.

Material	Tipo	Origen
JSG-RMM-441	Mesa Central (T)	Copandaro Mich.
JSG-RMM-LCL-471	Chalco (T)	Chapultepec, México
LUG-282	Línea	UdeG
Garst-8327	Híbrido	GARST
LUG-357	Línea	UdeG
LUG-03	Línea	UdeG
LUG-357	Línea	UdeG
Sint-17 L	Línea	UdeG
LUG-21	Línea	UdeG
W22	Línea	Wisconsin
TIC 1.5	Cruza simple	UdeG
TIC 1.1	Cruza simple	UdeG
Tabloncillo Perla	Criollo	Nayarit

Establecimiento de ensayos

El primer experimento se sembró a finales del mes de junio en 2007 en el campo experimental del CUCBA. El terreno se barbechó a 40 cm de profundidad, se dio un paso de rastra y se surco a 80 cm. Se sembró a mano en surcos de 5 m distribuyendo la semilla lo más uniformemente posible, la emergencia fue aceptable en todos los materiales, a los 30 días se realizó un aclareo. La fertilización fue orgánica.

En el segundo experimento se estableció en enero de 2008; se sembraron los materiales en charolas en cuatro fechas de siembra: a tiempo, +8, +15 y +20 días, se trasplantaron en el invernadero veinte días después de la siembra a una distancia de 20 cm entre planta y planta y 75 cm entre surcos, previamente al transplante se le aplicó materia orgánica y después de los trasplantes se aplicó fertilizante orgánico (abonaza), posteriormente se aplicó fertilizante foliar orgánico a una dosis de 3 l/ha con ajo para prevenir las plagas del follaje, y el deshierbe se realizó manualmente.

VARIABLES MEDIDAS

Longitud de estigma: De cada material genético se tomaron aleatoriamente dos jilotes. Se examinaron de tres a cinco estigmas de cada accesión para la medición de la longitud, el estigma fue medido de la base del estigma (donde se encuentra unido al óvulo) al otro extremo del estigma.

Llenado de grano: Se contaron los granos de cada una de las mazorcas de cada cruz entre los dos materiales de teocintle por los materiales de maíz.

Jiloteo y polinización

Se utilizaron como hembras seis líneas, dos cruces simples, un híbrido comercial y la colecta de la raza Tabloncillo Perla y como macho dos razas de teocintle.

Se cubrió el jilote de las hembras con bolsas de glassine; una vez que presentaron estigmas, se recortaron los mismos a 2 o 3 cm para uniformizar la longitud y dar las mismas condiciones a todos los materiales, el polen se colectó entre 8 y 9 de la mañana. La polinización fue en forma manual realizando de 5 a 10 cruces por combinación maíz-teocintle utilizando bolsas de papel (LAWSON SHOWERPROOF No. 402) estas se realizaron a las 11:30 de la mañana.

Cosecha

La cosecha fue de forma manual, depositando la mazorca dentro de una bolsa de polinización y colocando una etiqueta para la identificación de la cruz correspondiente, después se contó el número de granos por mazorca. Cada una de las cruces fue fotografiada con el fin de auxiliar en el registro del llenado de mazorca.

Análisis de varianza

Se llevaron a cabo análisis de varianza para las variables longitud de estigmas y número de granos por mazorca. como fuentes de variación se consideraron los materiales de maíz (Hembras), los dos teocintle (Machos) y la interacción entre ambos. Los resultados se analizaron con base en el Sistema de Análisis Estadístico (SAS). En el caso de falta de interacción, se determinaron las diferencias entre materiales de maíz con base en la prueba de medias de Diferencia Mínima Significativa (DMS) ($P \leq 0.05$).

Resultados

Longitud de estigmas

El análisis de varianza para longitud de estigmas para el experimento 2008 detectó diferencias significativas ($P < 0.01$) entre materiales con un coeficiente de variación de 5.9 %.

Las medias de longitud de estigmas se presentan en el Cuadro 2. El material con mayor longitud de estigmas fue la raza de maíz Tabloncillo Perla significativamente diferente del resto. Por su parte el teocintle de la raza Chalco mostró los estigmas de menor longitud. Las líneas de maíz LUG-03 y LUG-21 mostraron valores de longitud de estigmas estadísticamente iguales a la raza Mesa Central de teocintle.

Número de granos por mazorca

Los análisis de varianza para número de granos por mazorca mostraron diferencias significativas para Hembras y para Machos ($P < 0.01$) tanto en 2007 como en 2008 mientras que la interacción Hembras x Macho resultó significativa únicamente en el experimento llevado a cabo en invernadero en 2008. Los coeficientes de variación para esta variable fueron altos con 96 % y 112 % para los experimentos de campo en 2007 para el invernadero en 2008 respectivamente.

Cuadro 2. Medias de longitud de estigmas en maíz y teocintle en primavera de 2008

Material	Longitud de estigma (cm)
Tabloncillo Perla	33.6
Garst-8327	25.9
LUG-357	25.5
W22	23.2
LUG-282	22.9
SINT-17L	21.2
Mesa Central (T)	18.1
LUG-21	17.6
LUG-03	17.4
Chalco (T)	15.1
DMS 5 %	1.7

Las medias de número de granos para los materiales estudiados en 2007 se presentan en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Medias de las Hembras y de Machos para número de granos por mazorca en P-V 2007.

Material	Número de granos
Sint-17L	134
LUG-03	119
Garst-8327	67
LUG-21	46
LUG-357	22
LUG-282	0
Chalco (T)	84
Mesa Central (T)	36
DMS Hembras	43

DMS Machos	25
------------	----

Las líneas LUG-03 y Sint-17L tuvieron las medias de número de granos mayores significativamente al resto, mientras que LUG-357 y LUG-282 tuvieron los menores valores. Por su parte la raza Chalco de teocintle fue la que logró valores promedio significativamente mayores a la raza Mesa Central respecto a llenado de grano en maíz.

Dado que en el experimento de invernadero se detectó interacción significativa las comparaciones entre Hembras se tiene que llevar a cabo para cada tipo de teocintle. La interacción se explica en gran proporción por el llenado diferencial de mazorca en LUG-282 y W-22 con las fuentes de teocintle estudiadas. Dentro de los materiales cruzados con el teocintle de Chalco destaca el llenado de grano en LUG-03, Sint-17L y TIC 1.5 , mientras que entre los cruzamientos con el teocintle Mesa Central destacan LUG-03, Sint-17L y W22.

Cuadro 4. Medias para Hembras y la interacción Hembras-Machos para número de granos por mazorca O-I 2008 invernadero.

Material	Número de granos Hembras	Chalco	Mesa Central
LUG-03	229	150	293
Sint-17L	108	62	154
TIC 1.5	43	39	46
W22 control	29	1	56
LUG-282	20	1	38
Tabloncillo Perla	16	17	14
TIC 1.1	9	3	15
Garst-8327	7	4	9
LUG-357	4	1	8
LUG-21	2	0	4
Chalco (T)	23		
Mesa Central (T)	55		

Discusión

La diversidad genética encontrada para los diferentes materiales de maíz y teocintle utilizados para longitud de estigmas concuerdan con los resultados obtenidos por Rodríguez et al. (2006) quienes señalan que esta diversidad se mantiene constante en híbridos, razas de maíz y razas de teocintle, además de lo señalado por Baltazar et al. (2005) en lo referente a la longitud de estigmas de teocintle que son de 50 a 60 % más cortos que los de maíz.

Los resultados obtenidos para el número de granos en la mazorca son muy bajos en algunos casos principalmente en invernadero con las hembras LUG-282 y LUG-357 similares al promedio de P-V en campo con las líneas LUG-357, LUG-21 y LUG-282 en donde prácticamente es cero el número de granos por mazorca. Estos datos son muy similares a los reportados por Baltazar et al. (2005) al usar como macho las razas de teocintle Chalco y Mesa Central con híbridos y razas de maíz es decir, bajo número de granos en la mazorca con las longitudes más grandes en estigmas. El caso opuesto se presenta en los dos ciclos con LUG-03 y Sintético-17 que presentaron los estigmas más cortos similares a las dos razas de teocintle y con mayor número de granos en la mazorca. Estos resultados indican que el flujo de polen de teocintle a maíz es afectado por el tamaño de los estigmas y que es uno de los mecanismos que mantiene conviviendo al maíz y al teocintle en diferentes zonas del país, manteniendo su identidad como especies.

Conclusiones

Los estigmas con menor longitud favorecen el llenados de mazorca y caso opuesto los estigmas largos evitan el llenado de grano en la mazorca de maíz, al ser polinizado por diferentes tipos de teocintle.

El flujo genético de teocintle a maíz puede ser factible siempre y cuando los estigmas del maíz sean de similar longitud a los del teocintle.

La longitud de estigmas en Maíz funciona como barrera en el flujo de genes entre maíz y teocintle y permite que convivan uno al lado de otro manteniendo sus propias características.

Bibliografía

Baltazar B., M., J.J. Sánchez G., L. De La Cruz L., J. Schoper., 2003 Gene flow in maize (*Zea mays* L.). pp. 165-170 in: III Congresso Brasileiro de Biossegurança. III Simpósio Latino Americano de Productos Transgénicos. 24 a 27 de Setembro de 2003. Recife, Brasil.

Baltazar, B.M., J.J. Sánchez G., L. De La Cruz L., J. Schoper, 2005 Pollination between maize and teosinte: An important determinant of gene-flow in Mexico. *Theoretical and Applied Genetics* 110: 519-526.

Doebley, J. F 2004, the genetics of maize evolution. *Annual Review of Genetics*. 38:37-59

Luna V., S., J. Figueroa M., B. Baltazar M., R. Gómez L., R. Townsend, J.B. Schoper, 2001 Maize pollen longevity and distance isolation requirements for effective pollen control. *Crop Science* 41:1551-1557.

Matsuoka, Y., Y. Vigouroux, M.M. Goodman, J. Sánchez G., E. Buckler, J. Doebley, 2002 A single domestication for maize shown by multilocus microsatellite genotyping. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 99: 6080-6084.

Rodríguez F.,J. G. 2006 Biología del polen y estigmas en especies del género *Zea* en México. Tesis de Maestría. Posgrado en Ciencias Agrícolas y Forestales, Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad de Guadalajara. 69p.

Sánchez G., J.J., T.A. Kato Y., M. Aguilar S., J.M. Hernández C., A. López R., J.A. Ruíz J C., 1998 Distribución y caracterización del teocintle. Libro Técnico No. 2. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP).

Sánchez G., J.J., C.W. Stuber, M.M. Goodman, 2000 Isozymatic diversity of the races of maize of the America. *Maydica* 45: 185-203.

Wilkes, H.G., 1977 Hybridization of maize and teosinte, in Mexico and Guatemala and the improvement of maize. *Economic Botany* 31: 254- 293.