

## Sistemas de incompatibilidad genética de híbridos comerciales de maíz

PADILLA-GARCÍA, J.M.\*†, DE LA CRUZ-LARIOS, L., AVENDAÑO-LÓPEZ, A.N. y SÁNCHEZ-MARTÍNEZ, J.

*Instituto de Ciencia y Tecnología de Semillas (INCITES), Centro Universitario de Ciencias. Biológicas y Agropecuarias, Universidad de Guadalajara*

Recibido Enero 25, 2016; Aceptado Marzo 02, 2016

### Resumen

Los sistemas de incompatibilidad genética de híbridos comerciales de maíz son de vital importancia sobre todo en especies alógamas: la autoincompatibilidad evitar la autofecundación, y llega a reducir los efectos deletéreos de la endogamia, causa restricción del flujo de genes, aislamiento reproductivo y la prevención de híbridos inadaptados, el objetivo es analizar las relaciones de incompatibilidad de *gal* y *tcb1* en híbridos comerciales de maíz de sembrados en México. Este estudio aportó conocimiento de la constitución genética y frecuencia génica de los híbridos comerciales, con respecto a ambos sistemas de incompatibilidad tanto loci *gal* y loci *tcb1*, lo que la planeación de programas de monitoreo y de conservación *in situ* es una protección contra la pérdida de la diversidad genética, especialmente de los maíces dulces, palomeros u otros usos especiales.

**Factores gametofíticos, flujo genético, incompatibilidad-cruzada**

### Abstract

Systems genetic incompatibility of commercial corn hybrids are of vital importance especially in open-pollination species: the self-incompatibility avoid inbreeding, and comes to reduce the deleterious effects of inbreeding, causing restriction of gene flow, reproductive isolation; the goal is to analyze the relationships of incompatibility of *gal* and *tcb1* in commercial corn hybrids grown in Mexico. This study provided knowledge of the genetic makeup and gene frequency of commercial hybrids, with respect to both systems incompatibility both loci *gal* and loci *tcb1*, what planning monitoring programs and *in situ*, conservation as protection against loss genetic diversity, especially sweet corn, pop corn and others maize for special uses in Latinoamerican.

**Gametophytic factors, genetic flow, cross-incompatibility**

**Citación:** PADILLA-GARCÍA, J.M., DE LA CRUZ-LARIOS, L., AVENDAÑO-LÓPEZ, A.N. y SÁNCHEZ-MARTÍNEZ, J. Sistemas de incompatibilidad genética de híbridos comerciales de maíz. Revista de Sistemas Experimentales. 2016. 3-6: 51-59.

\*Correspondencia al Autor (Correo electrónico: jpadilla@cucba.udg.mx)

†Investigador contribuyendo como primer autor.

## Introducción

Los efectos del flujo genético, vía polen, entre híbridos comerciales de maíz, razas de maíz y parientes cercanos denominados colectivamente “teocintles”, se reflejan en mezclas de genes que pueden originar cambios drásticos en la diversidad genética (se amplía o se modifica la riqueza de genes), pérdida de genes en continua evolución y futuras fuentes de genes para los programas de mejoramiento genético en maíz.

Detectar la presencia de alelos de los sistemas de incompatibilidad reportados dentro de los complejos raciales del maíz, que abarcan desde los híbridos comerciales (algunos con genes no deseados) hasta las razas y parientes silvestres, ayudaría a evitar la contaminación genética y pérdida de la variabilidad genética de las poblaciones de maíz que pudieran estar en un estado altamente vulnerable por disminución de genes que le confieren ser maíz de “usos especiales”.

El objetivo de caracterizar la presencia de alelos, respecto a los factores de incompatibilidad en los híbridos comerciales de maíz que se siembran en México, bajo el supuesto que los sistemas de incompatibilidad se encuentran de manera aleatoria dentro de los híbridos comerciales del maíz de México.

## Diversidad genética del género *Zea*

Smale y McBride (1996) definen a la diversidad genética como la variación o potencial de variación, entre todas las secuencias de genes, conocidos y desconocidos, que controlan el desarrollo biológico de un organismo, entre otros las plantas cultivadas, y como expresión en variación morfológica, que le confiere aspectos estéticos, rituales y de cultura.

## Interacción polen-estigma

La polinización asegura la sobrevivencia de las especies y también es un medio para incrementar la diversidad genética, y con ello, el potencial de adaptación a nuevos ambientes (Sánchez et al., 2004).

Existen diferentes mecanismos de liberación, de transferencia y deposición del polen en los órganos sexuales de la hembra (Edlund et al., 2004).

La posición y morfología de las anteras y del pistilo tienen un proceso co-evolutivo por la forma de dispersión y recepción del polen, ayudado por el viento o animales (Sánchez et al., 2004).

El escape de alelos modificados genéticamente tendrían una ventaja selectiva para fijarse en las especies silvestres, con la posibilidad de crear malezas más persistentes (Ellstrand, 1997), ya sean genes de resistencia a herbicidas u otros genes de organismos genéticamente modificados (OGM) liberados para uso comercial (Ureta et al., 2008).

Las plantas de polinización cruzada regulan la hibridación a fin de equilibrar los efectos de la endogamia, la minimiza, además las plantas polinizadas por el viento, dependen de la interacción fisiológica entre el polen y el pistilo para regular la hibridación, muchas plantas poseen un mecanismo de cruzamiento genético para evitar la autofecundación y el cruzamiento entre parientes cercanos, reduciendo al mínimo la endogamia evitando sus efectos deletéreos (Nasrallah et al., 1994; Kermicle, 2006).

## Incompatibilidad gametofítica

Los estudios evolutivos se han centrado en cómo los genes que causan las barreras de aislamiento se pueden fijar en una especie durante la especiación, a pesar del hecho de que dichos genes (de aislamiento) reducen la aptitud del resto de los genes que coexisten dentro de una población (Matsubara et al., 2003) y como mecanismos de especiación biológica (Moyle y Graham, 2005).

La incompatibilidad-cruzada (cross-incompatibility) es uno de las barreras más eficaces de aislamiento que restringe el flujo de genes entre las poblaciones divergentes y está clasificada dentro de las barreras de pre- y post-fertilización, en tanto la pre-fertilización es consecuencia de las interacciones entre el polen pistilo y la post-fertilización en una detención del desarrollo de los cigotos jóvenes (Matsubara et al., 2003).

### Locus *gal*

Nelson (1996) presentó un reporte muy completo de los factores de incompatibilidad en maíz, en dicho trabajo esos factores se refirieron colectivamente como factores gametofíticos (*ga*). Sobre la incompatibilidad no-recíproca en cruza de maíz, Mangelsdorf y Jones (1926) observaron la F<sub>2</sub> del cruzamiento de maíz dulce (*su/su*) por maíz palomero “Rice Pop” (*Su/Su*) esperando obtener 25% de granos dulces, como resultado de segregación Mendeliana normal, y obtuvieron sólo el 16.2%, atribuyendo este dato a la presencia de un factor *Ga* (gen de incompatibilidad). Demerec (1929) confirmó la incompatibilidad no-recíproca al cruzar una variedad de maíz palomero “White Rice” por otra variedad (tipo grano dentado o harinoso), no obteniendo semilla, mientras que la forma en cruza recíproca obtuvo semilla, y al avanzar la semilla a la F<sub>2</sub> de la cruza de maíz dulce con el palomero “Rice Pearl” sólo obtuvo el 12.4%.

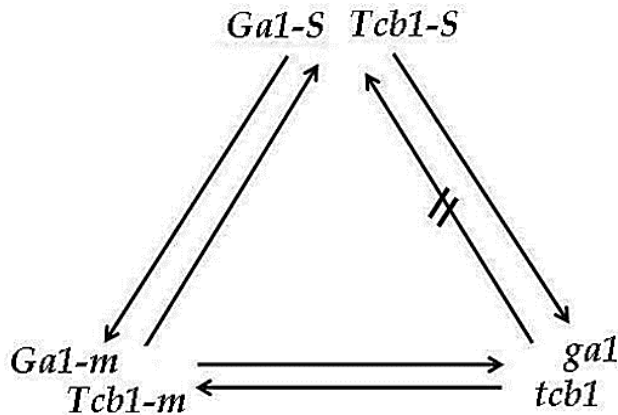
Emerson (1934) explica que este comportamiento es por la existencia de ligamientos entre “*Su*” “*su*” y “*Ga*” “*ga*”. Schwartz (1950) encuentra un tercer alelo que denomina *Ga-S* del mismo locus *ga* (Nelson, 1953), dominante sobre el recesivo *ga*.

### Locus *tcb1*

Evans y Kermicle (2001) describieron las características del locus *tcb1* (Teosinte crossing barrier-1), responsable del reconocimiento entre el polen y los estigmas, con funcionamiento análogo al sistema de incompatibilidad del locus *ga1*. Este alelo fue derivado del teocintle Mesa Central en el cual encontraron factores que rigen las características de incompatibilidad vinculados al cromosoma 4, y que denominaron ‘Complejo de Incompatibilidad del Teocintle’ (TIC), y reportaron al alelo *Tcb1-S* raro o ausente de las poblaciones de maíz.

Los sistemas de incompatibilidad de los loci *gal* y *tcb1*, causantes del reconocimiento o rechazo entre el estigma y el polen, son heredados de manera Mendeliana simple, sin embargo para el alelo *Ga1-S* su acción es parcialmente dominante sobre el alelo *ga1*, y es codominante para con el alelo *Ga1-m* (Figura 1), mientras que el alelo *Tcb1-S* es completamente dominante sobre *tcb1* (Kermicle y Allen, 1990; De la Cruz, 2007; De la Cruz et al., 2008).

Desde la perspectiva para la caracterización de materiales de interés, el uso de probadores confiables y que realicen una correcta caracterización, los probadores a utilizar con el alelo *Ga1-S* deben ser homocigotos, en tanto los probadores con el alelo *Tcb1-S* pueden ser homocigotos o heterocigotos (Kermicle y Allen, 1990).



**Figura 1** Relaciones de compatibilidad polen-estigma en *Zea*, para los sistemas de incompatibilidad loci *gal* y *tcb1* (Kermicle y Evans, 2005)

## Metodología a desarrollar

### Variable de estudio

La variable estudiada fue el llenado de grano de la mazorca, que se cuantificó con la presencia o ausencia de grano de los cruzamientos de los híbridos de maíz con cada tipo de probador, y en las plantas individuales de cada cruce se estimó el porcentaje del llenado de grano, obtenido con tres probadores aplicando la metodología propuesta por Kermicle y Allen (1990).

La estimación del llenado de grano se hizo visualmente redondeando con aproximación a 10%. Esto es, llenado abajo 5% se designó 0%, de 5 a 15% el valor fue 10% y así sucesivamente hasta alcanzar 95% al cual se asignó 100%.

Criterios para detectar los alelos de incompatibilidad:

Para detectar los alelos de los loci *gal* y *tcb1* se utilizaron los promedios de llenado de grano en mazorca con ambos tipos de probadores, macho recesivo y hembra dominante. Se ejecutaron tres etapas:

Etapa 1. Probador macho recesivo (sin alelos de incompatibilidad): cuando la accesión se polinizó con el probador macho recesivo y no hubo llenado de grano y además, los valores determinados con la prueba de Dunnett fueron estadísticamente iguales al control (0% de llenado de grano en la mazorca), se identificó la presencia de algún alelo de incompatibilidad (*Ga1-S*, *Tcb1-S*).

En el caso de formación de grano en la mazorca y cuando la prueba de Dunnett señaló valores estadísticamente iguales al control, con 100% de llenado de grano en la mazorca, se identificó la presencia de los alelos neutros (*Ga1-m*, *Tcb1-m*) o recesivos (*ga1*, *tcb1*), y se continuó con la etapa 2.

Etapa 2. Cruzamientos al probador hembra dominante *Ga1-S/Ga1-S*: una vez excluidas las accesiones con presencia de los alelos *Ga1-S* o *Tcb1-S*, el siguiente paso fue llevar polen del material seleccionado a los probadores hembra dominantes.

Cuando en el material de prueba se observó 100% de llenado de grano y fue estadísticamente igual al control se identificó la presencia del alelo *Ga1-m*. Si el llenado de grano fue 0% y fue estadísticamente igual al control, se interpretó como accesión sin alelos de incompatibilidad.

Etapa 3. Cruzamientos al probador hembra heterocigote dominante (*Tcb1-S/-*): sin considerar las accesiones con alelos *Ga1-S* o *Tcb1-S* de la Etapa 1, entonces si el llenado de grano fue 0% y fue estadísticamente igual al control, se identificó la presencia del alelo recesivo *tcb1*.

En cambio, si el llenado de grano fue 100% y fue estadísticamente igual al control, se identificó la presencia del alelo *Tcb1-m*.

## Resultados

### Locus *gal*

El análisis de varianza (ANVA) realizado en los híbridos comerciales de maíz para instituciones del sector público y empresas del sector privado, tanto nacionales como internacionales, con probadores recesivos (sin factores de incompatibilidad) presentaron diferencias altamente significativas para la fuente de variación Institución/Empresa (Tabla 1).

La fuente de variación Accesoión dentro de Institución/Empresa presentó diferencias altamente significativas (Tablas 1 y 2).

La fuente de variación Accesoión dentro de Institución o Empresa no presentó diferencias significativas con el probador recesivo, con un coeficiente de variación aceptable de 6.58%.

El ANVA para el probador hembra dominante (*Ga1-S/Ga1-S*), mostró diferencias altamente significativas para Institución o Empresa, y para Accesiones dentro de Institución/Empresa, con un coeficiente de 23.4% y un valor de R<sup>2</sup> de 0.958 (Tabla 2).

| FV                  | Probador macho recesivo<br><i>gal/gal</i> |            |
|---------------------|---|------------|
|                     | GL  | CM         |
| Institución/Empresa | 40  | 209.168 ** |
| Accesión            | 196                                       | 35.519 ns  |
| Error               | 685                                       | 42.032 .   |
| Total               | 921                                       |            |
| CV                  |   | 6.58       |
| R <sup>2</sup>      |   | 0.348      |

**Tabla 1** Cuadrados medios del análisis de varianza del sistema de incompatibilidad *gal* en híbridos de maíz para probador macho recesivo y probador hembra dominante

| FV                  | Probador hembra dominante<br><i>Ga1-S/Ga1-S</i> |             |
|---------------------|---|-------------|
|                     | GL  | CM          |
| Institución/Empresa | 40  | 7725.599 ** |
| Accesión            | 196   | 3009.105 ** |
| Error               | 252   | 158.509 .   |
| Total               | 488   |             |
| CV                  |   | 23.37       |
| R <sup>2</sup>      |   | 0.958       |

**Tabla 2** Cuadrados medios del análisis de varianza del sistema de incompatibilidad *gal* en híbridos de maíz para probador hembra dominante

El alelo *Ga1-m* está presente en el 63.2% de las 39 empresas evaluadas (Tabla 25). Este alelo neutro fertiliza el óvulo con los alelos *gal* y *Ga1-S*.

El alelo recesivo *gal* presente en 21 empresas representa el 36.8%.

La tendencia observada para *Ga1-m* se debe a que por ser alelo neutro, no existen problemas de restricción y discriminación del grano de polen cuando están presentes los otros dos alelos (*gal* y *Ga1-S*); es decir sus estigmas son receptivos tanto al grano de polen de *gal* como al grano de polen de *Ga1-S*, y el polen *Ga1-m* fecunda al genotipo *gal/gal* y a el genotipo *Ga1-S/Ga1-S*, quizás debido al tipo de germoplasma usado en los programas de mejoramiento de cada empresa, que probablemente partieron de bases diferentes, caso Monsanto y Pioneer, donde el primero presentó mayor frecuencia del alelo *Ga1-m*, y la segunda empresa presentó mayor frecuencia del alelo recesivo *gal*. Monsanto con 8 híbridos *gal/gal* contra 27 de Pioneer y el 20.5 y 57.4%, respectivamente

### Locus *tcb1*

El análisis de varianza (ANVA) para el locus *tcb1* no presentó diferencias significativas en ninguna de las dos fuentes de variación. Presentó un coeficiente de variación alto de 597.96% (Tabla 3), propio por el tipo de datos que se manejan, con una altísima frecuencia del dato cero (cero llenado de grano en mazorca), y con valor de R<sup>2</sup> considerado como moderado de 0.431.

| FV                  | Probador hembra dominante<br><i>Tcb1-S/-</i> |            |
|---------------------|--|------------|
|                     | GL   | CM         |
| Institución/Empresa | 39   | 100.753 ns |
| Accesión            | 178  | 48.857 ns  |
| Error               | 45   | 424.188 .  |
| Total               | 262  |            |
| CV                  |  | 597.96     |
| R <sup>2</sup>      |  | 0.431      |

**Tabla 3** Cuadrados medios del análisis de varianza del sistema de incompatibilidad *gal* en híbridos de maíz para probador hembra dominante

El estudio referente al factor de incompatibilidad TIC, determinó que no está presente en los híbridos comerciales de maíz.

### Anexos

| No. | Instituciones     | Probador macho recesivo<br>( <i>gal/gal</i> ) (100% grano) |          |
|-----|-------------------|--|----------|
|     |                   | Dif. entre Medias  | <i>p</i> |
| 1   | AGROSIMI          | -2.6429  | ns       |
| 2   | AGROZENAY         | -4.1675  | ns       |
| 3   | AGRYVEN S. DE R.  | -2.0833  | ns       |
| 4   | ASPROS (Testigo)  | -1.2444  | ns       |
| 5   | CALORO            | -24.105  | *        |
| 6   | CERES             | -0.6466  | ns       |
| 7   | CIMMYT            | -0.4872  | ns       |
| 8   | CONLEE            | -3.8788  | ns       |
| 9   | CRISTIANI BURKARD | 0.0  | ns       |
| 10  | DAS               | 0.0  | ns       |
| 11  | DESCONOCIDO       | 0.0  | ns       |
| 12  | DOW               | -4.25  | ns       |
| 13  | EAGLE             | 0.0  | ns       |
| 14  | EL CAMINO         | -4.2777  | ns       |
| 15  | GARST (Testigo)   | 0.0  | ns       |
| 16  | GENSEM            | 0.0  | ns       |

|    |                   |         |    |
|----|-------------------|---------|----|
| 17 | GOLDEN HARVEST    | -0.2222 | ns |
| 18 | HARTZ             | -0.6667 | ns |
| 19 | ICAMEX            | -4.2857 | ns |
| 20 | INIFAP            | 0.0     | ns |
| 21 | INIFAP??          | -6.3333 | ns |
| 22 | INIFAP-IGUALA     | -1.0668 | ns |
| 23 | INIFAP-JALISCO    | -0.2105 | ns |
| 24 | INIFAP-V-ALTOS    | -4.78   | ns |
| 25 | JAIME CAMACHO     | 0.0     | ns |
| 26 | MAX SEED          | -6.6667 | ns |
| 27 | MONSANTO          | -0.8966 | ns |
| 28 | NOVASEM           | 0.0     | ns |
| 29 | PIONEER           | -1.5928 | ns |
| 30 | SEMILLAS AMANECER | -1.5385 | ns |
| 31 | SEMILLAS BERENTZ  | -5.3333 | ns |
| 32 | SEMILLAS MAX      | 0.0     | ns |
| 33 | SEMILLAS RICA     | 0.0     | ns |
| 34 | SEMILLAS-ALSA     | 0.0     | ns |
| 35 | SYNGENTA          | -1.1    | ns |
| 36 | TAYLOR            | 0.0     | ns |
| 37 | TROPICO SEEDS     | 0.0     | ns |
| 38 | UDEG (Testigo)    | 100.0   | -  |
| 39 | UNISEM            | 0.0     | ns |
| 40 | VÍTA 755          | -50     | *  |
| 41 | ZARCO             | 0.0     | ns |

\* = comparaciones significativas al nivel 0.05

**Tabla 4** Promedios de llenado de grano en mazorca de los híbridos comerciales con probador macho recesivo (*gal*) y prueba de Dunnett al 0.05 de probabilidad

| No. | Instituciones     | Probador hembra dominante<br>( <i>Gal-S/GalS</i> ) |          |            |              |
|-----|-------------------|--|----------|------------|--------------|
|     |                   | Dif. / Medias                                      | <i>p</i> | (0% grano) | (100% grano) |
| 1   | AGROSIMI          | 93.03  | *        | -6.97      | ns           |
| 2   | AGROZENAY         | 50.0   | *        | -50.0      | *            |
| 3   | AGRYVEN S. DE R.  | 40.667   | *        | -59.333    | *            |
| 4   | ASPROS (Testigo)  | 100.0  | *        | 100.0      | -            |
| 5   | CALORO            | 90.0   | *        | -10.0      | ns           |
| 6   | CERES             | 78.268   | *        | -21.732    | *            |
| 7   | CIMMYT            | 53.167   | *        | -46.833    | *            |
| 8   | CONLEE            | 87.292   | *        | -12.708    | ns           |
| 9   | CRISTIANI BURKARD | 91.667   | *        | -8.333     | ns           |
| 10  | DAS               | 50.0   | *        | -50.0      | *            |
| 11  | DESCONOCIDO       | 0.0  | ns       | -100.0     | *            |
| 12  | DOW               | 95.5   | *        | -4.5       | ns           |
| 13  | EAGLE             | 73.5   | *        | -26.5      | *            |
| 14  | EL CAMINO         | 2.5  | ns       | -97.5      | *            |
| 15  | GARST (Testigo)   | 0.0  | -        | -100.0     | *            |
| 16  | GENSEM            | 53.333   | *        | -46.667    | *            |

|    |                   |         |    |         |    |
|----|-------------------|---------|----|---------|----|
| 17 | GOLDEN HARVEST    | 0.0     | ns | -100.0  | *  |
| 18 | HARTZ             | 52.571  | *  | -47.429 | *  |
| 19 | ICAMEX            | 98.0    | *  | -2.0    | ns |
| 20 | INIFAP            | 43.333  | *  | -56.667 | *  |
| 21 | INIFAP??          | 67.5    | *  | -32.5   | *  |
| 22 | INIFAP-IGUALA     | 6.0     | ns | -94.0   | *  |
| 23 | INIFAP-JALISCO    | 65.529  | *  | -34.471 | *  |
| 24 | INIFAP-V-ALTOS    | 96.667  | *  | -3.333  | ns |
| 25 | JAIME CAMACHO     | 20.0    | ns | -80.0   | *  |
| 26 | MAXSEED           | 36.833  | *  | -63.167 | *  |
| 27 | MONSANTO          | 68.131  | *  | -31.869 | *  |
| 28 | NOVASEM           | 76.833  | *  | -23.167 | *  |
| 29 | PIONEER           | 35.961  | *  | -64.039 | *  |
| 30 | SEMILLAS AMANECER | 59.584  | *  | -40.416 | *  |
| 31 | SEMILLAS BERENTZ  | 67.5    | *  | -32.5   | *  |
| 32 | SEMILLASMAX       | 20.0    | ns | -80.0   | *  |
| 33 | SEMILLASRICA      | 34.636  | *  | -65.364 | *  |
| 34 | SEMILLAS-ALSA     | 93.75   | *  | -6.25   | ns |
| 35 | SYNGENTA          | 25.0    | *  | -75.0   | *  |
| 36 | TAYLOR            | 5.555   | ns | -94.445 | *  |
| 37 | TROPICOSEEDS      | 65.0    | *  | -35.0   | *  |
| 38 | UDEG (Testigo)    | 55.42.9 | *  | -44.571 | *  |
| 39 | UNISEM            | 17.667  | ns | -82.333 | *  |
| 40 | VITA 755          | 20.0    | ns | -80.0   | *  |
| 41 | ZARCO             | 87.5    | *  | -12.5   | ns |

**Tabla 5** Promedios de llenado de grano en mazorca de los híbridos comerciales con probador hembra dominantes (Gal-S) y prueba de Dunnett al 0.05 de probabilidad

| No. | Institución/Empresa | N <sup>1</sup> | Promedio | Desv. Std. |
|-----|---------------------|----------------|----------|------------|
| 1   | AGROSIMI            | 5              | 0.00     | 0.00       |
| 2   | AGROZENAY           | 2              | 0.00     | 0.00       |
| 3   | AGRYVEN S. DE R.    | 6              | 0.00     | 0.00       |
| 4   | ASPROS              | 7              | 16.44    | 21.97      |
| 5   | CALORO              | 1              | 0.00     | .          |
| 6   | CERES               | 16             | 4.84     | 10.20      |
| 7   | CIMMYT              | 19             | 5.82     | 16.12      |
| 8   | CONLEE              | 9              | 1.67     | 3.54       |
| 9   | CRISTIANI BURKARD   | 3              | 0.00     | 0.00       |
| 10  | DAS                 | 2              | 0.00     | 0.00       |
| 11  | DESCONOCIDO         | 1              | 0.00     | .          |
| 12  | DOW                 | 2              | 9.00     | 12.73      |
| 13  | EAGLE               | 8              | 8.88     | 24.70      |
| 14  | EL CAMINO           | 6              | 0.00     | 0.00       |
| 15  | GARST               | 3              | 0.00     | 0.00       |
| 16  | GENSEM              | 4              | 0.00     | 0.00       |
| 17  | GOLDEN HARVEST      | 7              | 1.10     | 2.25       |
| 18  | HARTZ               | 8              | 7.63     | 12.74      |
| 19  | ICAMEX              | 3              | 20.62    | 24.71      |
| 20  | INIFAP              | 3              | 0.00     | 0.00       |

|    |                   |    |       |       |
|----|-------------------|----|-------|-------|
| 21 | INIFAP-IGUALA     | 6  | 0.00  | 0.00  |
| 22 | INIFAP-JALISCO    | 6  | 0.00  | 0.00  |
| 23 | INIFAP-V-ALTOS    | 6  | 19.75 | 28.74 |
| 24 | INIFAP??          | 1  | 0.00  | .     |
| 25 | JAIME CAMACHO     | 1  | 0.00  | .     |
| 26 | MAX SEED          | 2  | 0.00  | 0.00  |
| 27 | MONSANTO          | 43 | 4.91  | 13.13 |
| 28 | NOVASEM           | 2  | 0.00  | 0.00  |
| 29 | PIONEER           | 50 | 0.54  | 2.45  |
| 30 | SEMILLAS ALSA     | 1  | 0.00  | .     |
| 31 | SEMILLAS AMANECER | 4  | 0.42  | 0.84  |
| 32 | SEMILLAS BERENTZ  | 3  | 3.33  | 5.77  |
| 33 | SEMILLAS MAX      | 2  | 0.00  | 0.00  |
| 34 | SEMILLAS RICA     | 8  | 0.00  | 0.00  |
| 35 | SYNGENTA          | 4  | 0.00  | 0.00  |
| 36 | TAYLOR            | 1  | 0.00  | .     |
| 37 | TROPICO SEEDS     | 2  | 0.00  | 0.00  |
| 38 | UDEG              | 2  | 0.00  | 0.00  |
| 39 | UNISEM            | 3  | 0.00  | 0.00  |
| 40 | ZARCO             | 1  | 0.00  | .     |

**Tabla 6** Promedios en el llenado de grano en mazorca de los híbridos comerciales con probadores hembra dominante del locus de incompatibilidad tcb1 (De acuerdo a la prueba de Dunnett)

|          | Gal-m (%) | gal (%) |
|----------|-----------|---------|
| Pioneer  | 42.6      | 57.4    |
| Monsanto | 76.9      | 23.1    |
| Dow      | 100.0     | 0.0     |

**Tabla 7** Porcentajes de los alelos Gal-m y gal de tres empresas que están solicitando liberación de híbridos transgénicos en México

## Agradecimiento

Al agradecimiento a la SEP-SES (Subsecretaría de Educación Superior de la SEP) por el apoyo recibido, bajo el convenio PROMEP/103.5/12/3537.

## Conclusiones

Las barreras genéticas expresadas en los diferentes probadores debidas a los alelos Gal-S y Tcb1-S, no son afectadas por efectos ambientales. Las diferencias observadas entre probadores se atribuyen a la presencia de modificadores o inhibidores de la acción de dichos genes.

Ninguno de los genes responsables de la incompatibilidad no recíproca se encontró en los híbridos comerciales de maíz evaluados, sin embargo, debido a la presencia en altas proporciones del alelo neutro Gal-m, las barreras existentes en las razas de maíz, poblaciones y criollos además del teocintle pueden ser no suficientes para evitar el flujo genético no deseado.

Las frecuencias

### Referencias

- DE LA CRUZ L.L. 2007. Sistemas de incompatibilidad genética en maíz y teocintle (*Zea spp.*) en México. Tesis de doctorado. Posgrado en ciencias agrícolas y forestales. Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad de Guadalajara. 81 p.
- DE LA CRUZ L.L., J.J. SÁNCHEZ G., J. RON P., F. SANTACRUZ R., E. RODRÍGUEZ G., J. A. RUÍZ C. y M.M. MORALES R. 2008. Probadores de maíz para factores de incompatibilidad gametofítica. *Revista Fitotecnia Mexicana* 31: 341-349.
- DEMEREC M. 1929. Cross-sterility in maize. *Z Indukt Abstammungs-Vererbungs.* 50: 281-291.
- ELLSTRAND N. C. 1997. Evaluating the risks of transgene flow from crops to wild species. In: *Gene flow among maize landraces, improved maize varieties, and teosinte: implications for transgenic maize.* J.A. Serratos, M.C. Willco, and F. Castillo-González (eds.). Mexico, D.F. CIMMYT. pp. 81-84.
- EMERSON R.A. 1934. Relation of the differential fertilization genes, *Ga ga*, to certain other genes of the *Su-Tu* lineage group of maize. *Genetics* 19: 137-156
- EVANS M.M.S. and J.L. KERMICLE. 2001. Teosinte crossing barrier-1, a locus governing hybridization of teosinte with maize. *Theoretical and Applied Genetics* 103: 259-265.
- KERMICLE J.L. 1997. Cross compatibility within the genus *Zea*. In: *Gene flow among maize landraces, improved maize varieties, and teosinte: implications for transgenic maize.* Serratos, Willcox and Castillo (Eds). Mexico, D.F. CIMMYT. pp. 40-43.
- KERMICLE J.L. 2001. Genetic barriers that restrict hybridization in corn and teosinte. *Annual Corn and Sorghum Seed Research Conference* 56:17-24.
- KERMICLE J.L. 2006. A selfish gene governing pollen-pistil compatibility confers reproductive isolation between maize relatives. *Genetics* 172: 499-506.
- KERMICLE J.L. and J.O. ALLEN. 1990. Cross-incompatibility between maize and teosinte. *Maydica* 35: 399- 408.
- KERMICLE J.L. and M.M.S. EVANS. 2005. Pollen-pistil barriers to crossing in maize and teosinte result from incongruity rather than active rejection. *Sexual Plant Reproduction* 18: 187-194.
- MANGELSDORF P.C. and D.F. JONES. 1926. The expression of Mendelian factors in the gametophyte of maize. *Genetics* 11: 423-455.
- MOYLE L.C. and E.B. GRAHAM. 2005. Genetics of hybrid incompatibility between *Lycopersicon esculentum* and *L. hirsutum*. *Genetics* 169: 355-373.
- NASRALLAH J.B., J.C. STEIN, M.K. KANDASAMY and M.E. NASRALLAH. 1994. Signaling the arrest of pollen tube



development in self-incompatible plants. *Science* 266: 1505-1507.

NELSON O.E. 1953. A genic substitute for isolation in hybrid corn seed production. *Economic Botany* 7: 382-384.

NELSON O.E. 1996. The gametophyte factors of maize. In: *The maize Handbook*. M. Freeling & V. Walbot (Eds.). Springer-Verlag. p. 496-453.

SAS INSTITUTE INC. 2009. SAS/STAT ® 9.2. User's guide, second edition. Cary, N. C.: SAS Institute Inc.

SANCHEZ A. M., M. BOSCH, M. BOTS, J. NIEUWLAND, R. FERON and C. MARIANI. 2004. Pistil factors controlling pollination. *Plant Cell* 16: S98-S106.

SCHWARTZ D. 1950. The analysis of case of cross sterility in maize. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 36: 719-724.

SMALE M. and T. McBRIDE. 1996. Understanding global trends in the use of wheat diversity and international flows of wheat genetic resources. Part 1 of CIMMYT 1995/96 world wheat facts and trends: understanding global trends in the use of wheat diversity and international flows of wheat genetic resources. Mexico, D.F.: CIMMYT. pp. 1-32.

URETA M. S., M. CANTAMUTTO, A. CARRERA, C. DELUCCHI and M. POVERENE. 2008. Natural hybrids between cultivated and wild sunflowers (*Helianthus* spp.) in Argentina. *Genetic Resources and Crop Evolution* 55: 1267-1277.