

Ra Ximhai

Revista de Sociedad, Cultura y Desarrollo
Sustentable

Ra Ximhai
Universidad Autónoma Indígena de México
ISSN: 1665-0441
México

2012

MOVIMIENTO DE POLEN ENTRE MAÍCES NATIVOS DE YUCATÁN Y MANTENIMIENTO DE DIVERSIDAD GENÉTICA

Jaime Canul-Ku; Porfirio Ramírez-Vallejo; Fernando Castillo-González; José Luis Chávez-Servia; Manuel Livera-Muñoz y Luis Manuel Arias-Reyes
Ra Ximhai, septiembre - diciembre, año/Vol. 8, Número 3
Universidad Autónoma Indígena de México
Mochicahui, El Fuerte, Sinaloa. pp. 51-60.



e-revist@s

MOVIMIENTO DE POLLEN ENTRE MAÍCES NATIVOS DE YUCATÁN Y MANTENIMIENTO DE DIVERSIDAD GENÉTICA

POLLEN MOVEMENT BETWEEN NATIVE MAIZE YUCATAN AND MAINTENANCE OF GENETIC DIVERSITY

Jaime Canul-Ku^{1*}; Porfirio Ramírez-Vallejo¹; Fernando Castillo-González¹; José Luis Chávez-Servia²; Manuel Livera-Muñoz¹ y Luis Manuel Arias-Reyes³

¹Genética. Campus Montecillo. Colegio de Postgraduados. Km 36.5 Carretera México-Texcoco. 56230. Montecillo, Estado de México. Tel. 01(995)9520200 Ext. 1320. ²Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Oaxaca. 71230. Santa Cruz, Xoxocotlán, Oaxaca. ³Centro de Investigaciones y Estudios Avanzados del I.P.N. Unidad Mérida. Km 6 antigua carretera Progreso. C.P. 97310. Mérida, Yucatán. *Autor para correspondencia: canul.jaime@inifap.gob.mx; canulku2001@yahoo.com.

RESUMEN

En Yucatán, México, el cultivo de diferentes poblaciones nativas de maíz en el sistema milpa favorece el intercambio de polen. Para evaluar la relación entre el flujo de polen y la dinámica de diversidad genética en 2005 y 2006, una población de grano blanco y otra amarilla de tipo *Xmejen-nal* y *Xnuc-nal*, se asociaron con calabaza. La variedad de grano amarillo fue sembrada alrededor del blanco. Se cosecharon 540 mazorcas en 8 direcciones, de la periferia al centro, el porcentaje de grano amarillo en la variedad blanca se usó como indicador de la tasa de cruzamiento. Para cada dirección se realizaron análisis de regresión simple entre la distancia y el porcentaje de granos amarillos. Los mayores porcentajes de cruzamiento en los tipos *Xmejen-nal* (44 %) y *Xnuc-nal* (42 %) se obtuvieron en dirección noreste-suroeste en 2005; y dirección sureste-noroeste en *Xmejen-nal* (37 %) y *Xnuc-nal* (41 %) en 2006. La dirección e intensidad del viento dominante determinaron las trayectorias del polen y la tasa de cruzamiento disminuyó con la distancia a la fuente polen. El intercambio genético es promovido por el manejo y distribución de los genotipos en tiempo y espacio, y el flujo génico entre poblaciones promueve la diversidad intrapoblacional.

Palabras clave: Flujo génico, milpa, cruzamiento, viento, grano, mazorca

SUMMARY

In Yucatan, Mexico, the cultivation of different native maize populations in the system milpa, promote the interchange of pollen. To evaluate the relationship between the flow of pollen and the dynamics of genetic diversity in 2005 and 2006, a white kernel population and another yellow, both of the *Xmejen-nal* and *Xnuc-nal* types, were grown associated with squash. The yellow kernel variety was planted surrounded by the white kernel variety, 540 ears were harvested in 8 directions, from the periphery to the center, and the percentage of yellow grain in the white variety was used as indicator of out crossing rate. For each direction, regression analysis was performed between distance and yellow kernel percentage. The largest out crossing rates in *Xmejen-nal* (44 %) and *Xnuc-nal* (42 %) were obtained in the direction northeast-southwest in 2005; and in direction southeast-northwest in *Xmejen-nal* (37 %) and *Xnuc-nal* (41 %) in 2006. Both direction and intensity of dominant wind determined trajectories of pollen, and the out crossing rate was reduced with the distance to the source of pollen. Genetic interchange is promoted by management and genotype distribution in both time and space, and gene flow among populations promotes intrapopulation diversity.

Key words: Gene flow, milpa, cross, wind, kernel, ears

INTRODUCCIÓN

En México se estima que aproximadamente dos millones de familias campesinas establecen sus cultivos en sistemas agrícolas tradicionales y cubren alrededor de seis millones de hectáreas al año (Nadal, 2000; Bellon y Berthaud, 2004).

En las comunidades rurales el crecimiento poblacional, las condiciones socioeconómicas de vida, el cambio de la composición florística de la vegetación natural y las características de clima y suelo, entre otros factores; han dado como resultado una acelerada fragmentación del núcleo ejidal con parcelaciones contiguas (Bellon y Brush, 1994). En estas condiciones en el cultivo de maíz, la recombinación de genes mediante el intercambio de polen entre parcelas adyacentes es un factor importante en la generación y conservación de la diversidad genética, ya que es altamente probable que ocurra flujo génico mediante la polinización cruzada (Castillo y Goodman, 1996; Berthaud *et al.*, 2001).

El agricultor mexicano ha mantenido y mejorado las poblaciones de maíz con base en un minucioso proceso de selección de semilla, considerando el tamaño de mazorca, hileras derechas y granos sanos y, en ocasiones algunas características de planta (Bellon y Brush, 1994; Louette y Smale, 2000;

Perales *et al.*, 2003; Chávez *et al.*, 2004b; Latournerie *et al.*, 2006). El productor maya aplica diferentes criterios que le ayudan a seleccionar su semilla año con año; en el momento de la cosecha, elige las mazorcas que reúnen las características que considera apropiadas para ser almacenadas y conservadas en trojes rústicas construidas con materiales de la región (Latournerie *et al.*, 2006). También, él ha generado sus propias tecnologías para el manejo de sistemas tradicionales; y ha acumulado la experiencia necesaria para la adecuada identificación de sus poblaciones o genotipos que mejor combinan dentro de los cultivos (Arias *et al.*, 2000; Perales *et al.*, 2005).

Los sistemas tradicionales de producción han sido estudiados con mayor interés en los últimos años en diferentes regiones de México (Bellon y Brush, 1994; Perales *et al.*, 2003; Chávez *et al.*, 2004a); el enfoque de estos estudios es muy diverso, pero todos ellos plantean la necesidad de conocer la variación genética como base para el mejoramiento y uso sustentable de los recursos fitogenéticos, ya que presentan amplia diversidad genética inter e intraespecífica (Cooper *et al.*, 2001). Recientemente ha cobrado interés el estudio de la diversidad genética autóctona en relación con los riesgos de contaminación, por la posible presencia de variedades genéticamente modificadas y el desconocimiento de los efectos del intercambio génico sobre la diversidad genética que durante muchos años ha existido y perdurado en las áreas cultivadas por los agricultores tradicionales.

Un caso relevante del sistema mesoamericano de la milpa se localiza en Yaxcabá, Yucatán, México, donde es común encontrar en una misma área de cultivo varios tipos de poblaciones nativas de maíz, con diferente ciclo de vida, color y tamaño de grano, y diferencias en características de mazorca y porte de la planta (Arias *et al.*, 2000; Camacho y Chávez, 2004), asociados con diferentes morfotipos de otras especies cultivadas, como la calabaza y el frijol. En Yaxcabá se ha reportado variación morfogénica amplia en maíz (Arias *et al.*, 2000; Burgos *et al.*, 2004; Camacho y Chávez, 2004), calabaza (Chávez *et al.*, 2003; Canul *et al.*, 2005) y frijol (Chávez *et al.*, 2003; Latournerie *et al.*, 2005), así como de usos. Sin embargo, el origen de esta diversidad no se ha estudiado con la suficiente amplitud. La presencia de varios tipos de maíces en pequeñas áreas también se presenta en los Valles Centrales de Oaxaca (Pressoir y Berthaud, 2004a, 2004b), en la parte central del estado de Chiapas (Perales *et al.*, 2005) y en otras regiones de México donde se practica la agricultura tradicional.

Bajo estas condiciones de manejo, es importante determinar si las poblaciones de un mismo cultivo, sembradas en áreas contiguas comparten algunos genes o existen barreras físicas o biológicas entre ellos que impiden su recombinación. Desde el punto de vista de la genética de la conservación, es importante cuantificar el grado de recombinación o flujo genético entre las milpas contiguas o dentro de un mismo campo de cultivo de los pequeños agricultores; una especie alógama como el maíz sigue un modelo de isla. Una manera de probar el posible intercambio de genes entre campos contiguos de maíz consiste en utilizar el fenómeno de xenia, mediante el cual se puede determinar la distancia que recorre los granos de polen entre los campos (Castillo y Goodman, 1996; Luna *et al.*, 2001; Halsey *et al.*, 2005; Bannert y Stamp, 2007).

El polen del maíz es un vector en la transmisión y flujo de información genética entre poblaciones que coinciden en espacio y tiempo (Aylor *et al.*, 2003). El intercambio de genes se da entre y dentro de poblaciones nativas y parientes silvestres de la misma especie (Spillane y Gepts, 2001), ocurre dentro y entre parcelas contiguas (Berthaud *et al.*, 2001; Mercer y Wainwright, 2008), de manera inducida o natural (Spillane y Gepts, 2001). El flujo genético en maíz depende de la sincronización entre la receptividad de los estigmas y la liberación y viabilidad de los granos de polen. Esta última, dura de una a dos horas después de su liberación, dependiendo de la humedad atmosférica (Luna *et al.*, 2001; Baltazar *et al.*, 2005). El grano de polen de maíz no tolera la desecación, ya que pierde agua y viabilidad de manera rápida, y tiene una baja tasa de movilidad por su tamaño y peso, y por consiguiente la mayor proporción queda depositado cerca de la planta fuente (Luna *et al.*, 2001; Jarosz *et al.*, 2003; Halsey *et al.*, 2005).

En trabajos experimentales se determinó con base en la expresión de xenia, que el cruzamiento entre campos de maíz puede realizarse a una distancia de 200 metros de la fuente de polen (Luna *et al.*, 2001) y en otras ocasiones hasta 300 m, con un 0.02 % de cruzamiento (Stevens *et al.*, 2004). En

California, E.U., se encontraron proporciones de cruzamientos de 0.7 y 0.6 % a 24 y 32 m de la fuente de polen en 2001 y 2002, respectivamente, y a una distancia de 750 m disminuyó hasta 0.002 % (Halsey *et al.*, 2005).

El flujo de genes entre poblaciones de maíz afecta su estructura genética; por consiguiente, es fundamental el estudio del movimiento de polen, estimado con base en la distancia que recorrerían los granos de acuerdo a las condiciones ecogeográficas de los sistemas tradicionales. Bajo este contexto, el objetivo fue determinar la distancia que recorre el grano de polen de maíz y su relación con el mantenimiento de la diversidad genética entre poblaciones nativas, manejadas y conservadas en el sistema milpa en Yaxcabá, Yucatán, México.

MATERIALES Y MÉTODOS

En mayo del 2005 se colectaron semillas de dos poblaciones nativas del tipo Xmejen nal, una de color blanco y otra de color amarillo, ambos con ciclo de vida de 2.5 meses y semillas de dos poblaciones del tipo Xnuc nal, que presenta un ciclo de 4 meses. Los dos tipos pertenecen a la raza Tuxpeño. Las colectas se hicieron en Yaxcabá, Yucatán, localizada a los 20° 32' de LN y 88° 49' de LW con una altitud de 30 m.

En 2005 una vez establecido el temporal, el 16 de junio en la milpa de un productor cooperante se sembraron las dos poblaciones de Xmejen nal, en una superficie de 60 metros (m) de largo en la dirección norte-sur por 40 m de ancho en la dirección este-oeste, asociadas con una población nativa de calabaza con denominación local Xnuc cum (*Cucurbita moschata*), que alcanza la floración femenina 80 días después de la siembra (Canul *et al.*, 2005). El maíz de color amarillo se estableció en cuatro hileras en toda la periferia de la superficie y en la porción central restante de la milpa se sembró el maíz de color blanco. La distancia entre surcos y entre matas fue de un metro. El color del endospermo se usó como marcador, el amarillo es dominante sobre el blanco y sirvió para estimar cuanta distancia recorre el polen (García *et al.*, 1998; Ma *et al.*, 2004), desde la periferia hacia el centro de la milpa.

En otra milpa del mismo agricultor y el mismo día 16 de junio de 2005, se establecieron las dos poblaciones de maíz tipo Xnuc nal, asociada con la calabaza Xtop (*C. argyrosperma*), que alcanza la floración femenina a los 46 después de la siembra (Canul *et al.*, 2005), en un lote de 80 m de largo en la dirección norte-sur y de 40 m en la dirección este-oeste; en cuatro surcos en la periferia se sembró el maíz amarillo y en la superficie central restante el de color blanco, entre surcos y entre matas hubo una distancia de un metro. También el color amarillo del endospermo sirvió como marcador. De manera similar en el temporal de 2006 en la milpa del mismo productor cooperante se realizó la siembra el 16 de junio siguiendo la misma metodología y utilizando las mismas poblaciones nativas de maíz.

El manejo de las dos milpas se realizó con base en las prácticas tradicionales del sistema como es la aplicación de herbicida Cerillo® inmediatamente después de la siembra y la aplicación de fertilizante a dosis de 36N-92P-00K. Cuando el cultivo alcanzó la madurez fisiológica se procedió a la dobla para proteger a la mazorca de daños por humedad, plagas y enfermedades.

La cosecha se realizó en el mes de enero de 2006 y 2007 en ambas milpas, se inició en cada extremo, los primeros cinco puntos de muestreo fueron en surcos seguidos de maíz blanco, en cada uno se eligieron al azar cinco mazorcas bien formadas; los puntos de muestreos subsecuentes se tomaron en surcos de manera alternada hasta llegar al centro de la milpa. Este procedimiento se aplicó en cada uno de los ocho sentidos, en promedio se tomaron 13 puntos de muestreos con 5 mazorcas en cada dirección dando un total de 65 mazorcas de la periferia hacia el centro de la milpa y considerando los ocho sentidos se obtuvieron 520 mazorcas (Figura 1).

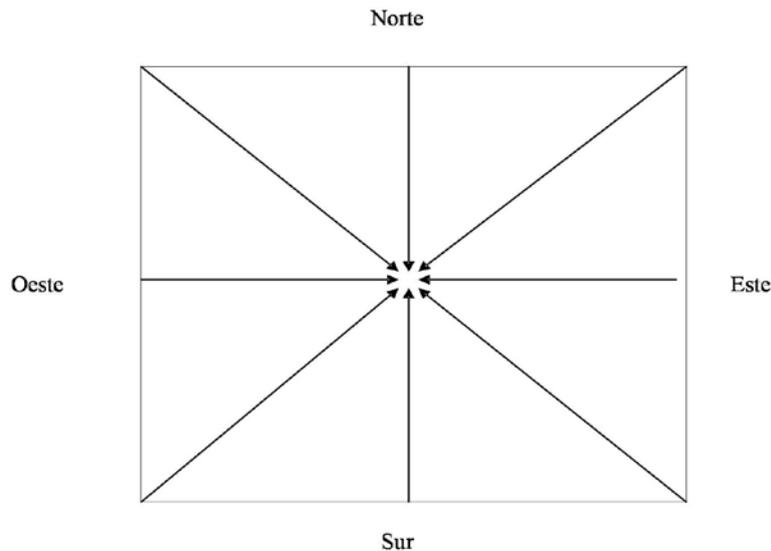


Figura 1. Direcciones de muestreos de mazorcas de maíz en milpa de Yaxcabá, Yucatán, en 2006 y 2007.

Las muestras se identificaron registrando el sentido y con numeración progresiva desde la parte exterior hacia el interior de la milpa. Posteriormente en gabinete se desgranaron las mazorcas y se contó el número de granos de color amarillo y de granos de color blanco contenidos en cada mazorca. Por último, en cada sentido y punto de muestreo se determinó el porcentaje de grano de color amarillo contenidas en cada una de las mazorcas de color blanco.

Con la información obtenida en cada milpa se realizaron análisis de regresión para cada uno de los ocho sentidos tomando la distancia desde el borde como una variable independiente y el porcentaje de granos amarillos como una variable dependiente; con base en la significancia estadística de la R^2 el modelo de regresión que mejor ajustó los datos fue el inverso del efecto lineal y cuadrático, $y = b_0 + b_1(1/x) + b_2(1/x)^2$, donde x es la distancia en m (SAS, 2000).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con base en la expresión de xenia, en 2005 en el maíz de grano blanco tipo Xmejen nal el mayor cruzamiento se obtuvo en la dirección noreste-suroeste (44 %), primer punto de muestreo adyacente a la fuente de polen, y fue seguido por la dirección oriente-poniente (33 %). Sin embargo, en 2006 la sureste-noroeste presentó la mayor proporción de cruzamiento (37 %), seguido de oriente-poniente (33 %); en ambos años las direcciones poniente-oriental y suroeste-noreste presentaron tasas de cruzamiento muy bajas (1 %). Estas variaciones resultan del cambio en la dirección del viento dominante de un año a otro (Figura 2).

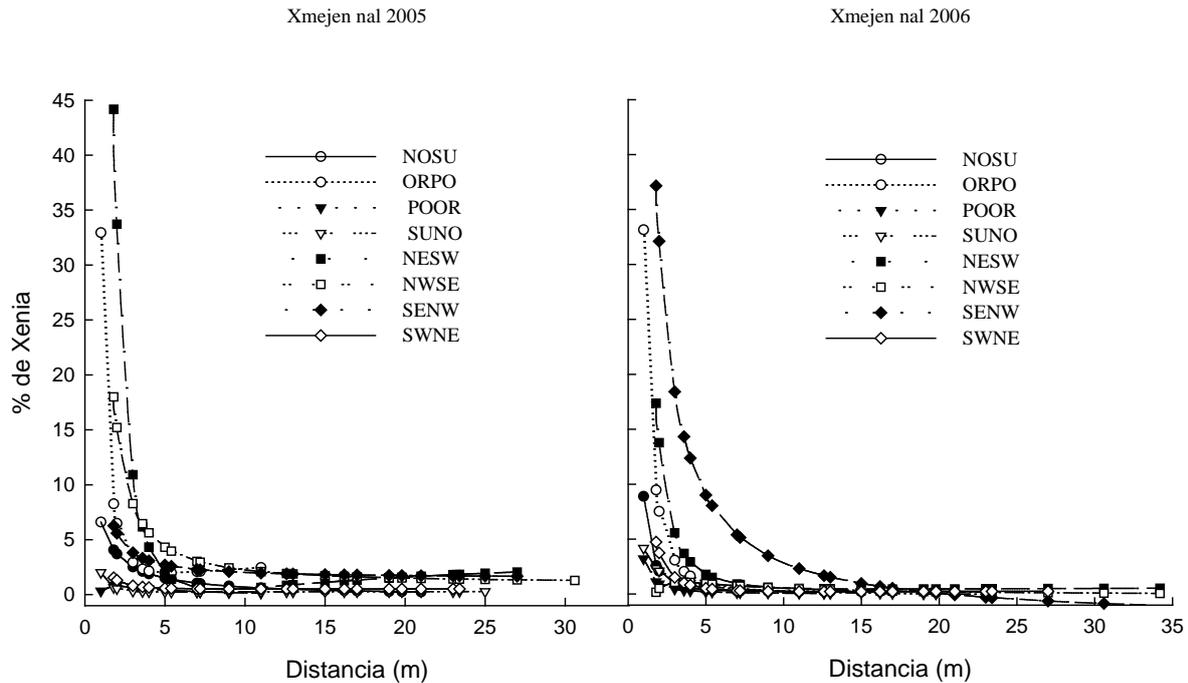


Figura 2. Movimiento de polen valorado a través de la xenia de polen de maíz amarillo sobre maíz blanco en tipo Xmejen nal en el sistema milpa de Yaxcabá, Yucatán.

En los dos años de evaluación en tipo Xmejen nal la tendencia en el movimiento de polen fue similar. En la Figura 2 se observa que a medida que las plantas se alejaron de la fuente de polen, hacia el centro de la milpa, los porcentajes de granos amarillos contenidos en las mazorcas de granos blancos fueron menores; en tanto que, en el punto de muestreo adyacente a la fuente de polen se obtuvieron los más altos cruzamientos, reduciéndose de manera drástica después de tres metros de distancia hasta llegar casi cero a 15 metros. En los puntos de muestreo ubicados en las direcciones en favor del viento dominante presentaron los porcentajes más altos de cruzamiento, a diferencia de las direcciones en contra del viento donde la proporción fue menor, de tal forma que a los pocos metros de la fuente polen ya no se observó la expresión de xenia. El movimiento de polen mostró una reducción drástica en 2005 en comparación con 2006, cuando la caída en la curva de ajuste fue menos pronunciada (Figura 2), lo que indicaría que la intensidad de los vientos fue mayor en 2006.

En tipo Xnuc nal el movimiento del polen fue semejante al tipo Xmejen nal, con ligeras variantes. En 2005, la mayor proporción de cruzamiento (42 %) fue en el primer punto de muestreo del sentido noreste-suroeste, seguido de norte-sur (32 %); mientras que, en sur-norte (6 %) y sureste-noroeste (2 %) los cruzamientos fueron menores. En 2006, la dirección sureste-noroeste presentó la mayor proporción de cruzamiento (41 %) seguido del sur-norte y oriente-poniente (37 %); mientras que, en poniente-oriental y suroeste-noreste fue inferior a 4 %, todos en el primer punto de muestreo adyacente a la fuente de polen. Los mayores cruzamientos ocurrieron en las direcciones en favor del viento y cuando está en contra no favorece el transporte de los granos de polen, como resultado en los primeros metros de la fuente polen ya no se observa el efecto de xenia. En 2006, la caída de la curva fue menos drástica comparado con 2005, indicando que la intensidad de los vientos fue mayor en 2006 (Figura 3).

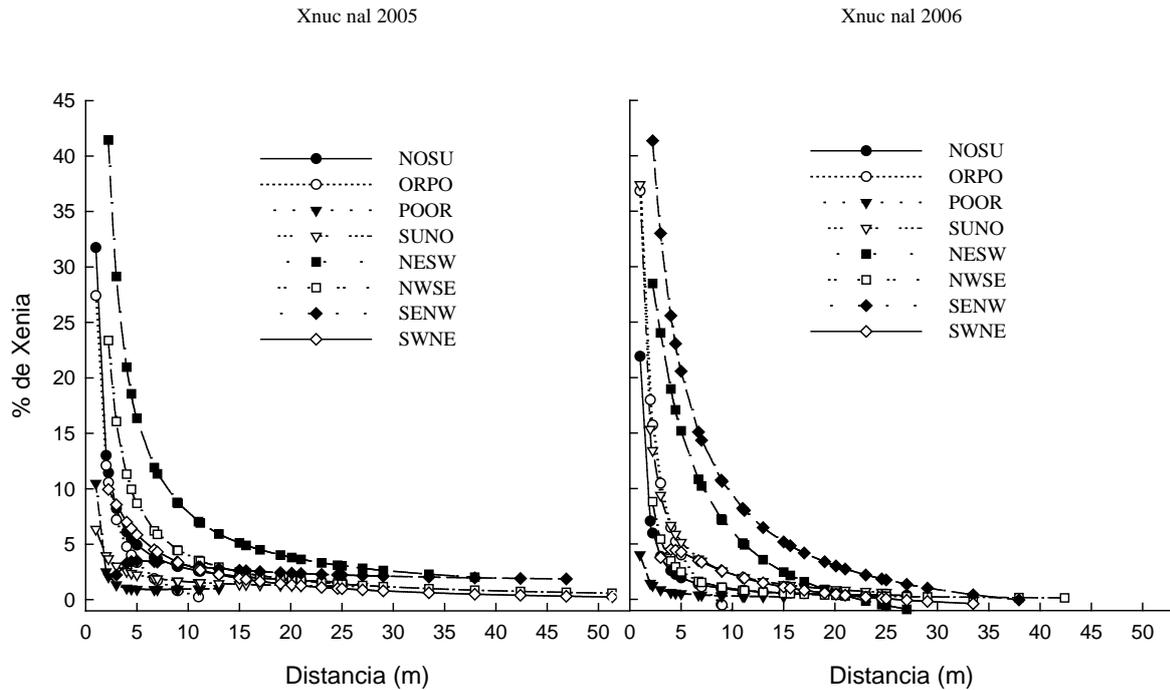


Figura 3. Movimiento de polen valorado a través de la xenia del polen de maíz amarillo sobre maíz blanco tipo Xnuc nal en el sistema milpa de Yaxcabá, Yucatán.

En los tipos Xmejen nal y Xnuc nal durante los dos años de evaluación la intensidad del flujo de polen, valorado en función de la distancia del movimiento del polen disminuyó al aumentar la distancia. La distancia a la que se movió el polen dependió de la presencia de los vientos dominantes en cada uno de los años de evaluación; y disminuyó el nivel del flujo del polen de manera drástica después de los primeros puntos de muestreo inmediatos a la fuente de polen en todas las direcciones. Este resultado coincide con lo reportado por Berthaud *et al.* (2001) en sistemas tradicionales de Cuzalapa, Jalisco, en el cultivo de maíz, se obtuvieron de 10 a 20 % de granos púrpura en las primeras hileras de variedades blanca y amarilla, y menos de 1 % después de 2 a 3 metros, estabilizándose la proporción después de una gran distancia.

En maíz se ha demostrado que la tasa de deposición de los granos de polen disminuye al aumentar la distancia (García *et al.*, 1998; Luna *et al.*, 2001; Ma *et al.*, 2004; Halsey *et al.*, 2005; Wang *et al.*, 2006); en este estudio con dos tipos de maíz se obtuvieron resultados similares, ya que en los primeros puntos de muestreo se obtuvo una alta proporción de cruzamiento y al acercarse al centro de la milpa la tasa disminuyó hasta llegar a cero (Figuras 2 y 3); al respecto Wang *et al.* (2006) señalan que la proporción de fertilización es afectada por la distancia de la fuente de polen, el tipo de cultivar y la interacción entre cultivar y distancia. De manera general, se han encontrado altos porcentajes de cruzamiento en las primeras plantas adyacentes a la fuente polen, disminuye de manera drástica en los primeros metros y al aumentar la distancia se reduce hasta llegar a cero (Ma *et al.*, 2004; Halsey *et al.*, 2005; Luna *et al.*, 2001; García *et al.*, 1998).

También, el porcentaje de cruzamiento en maíz depende de la dirección del viento, de la sincronización de la exposición y receptividad de los estigmas de las poblaciones involucradas y de la liberación del polen; de las condiciones del lugar como la topografía, la precipitación, la velocidad y la dirección del viento (Aylor *et al.*, 2003; Ma *et al.*, 2004; Messeguer *et al.*, 2006), y del año del estudio (Ma *et al.*, 2004; Goggi *et al.*, 2006).

Durante el período de liberación de los granos de polen el efecto de los vientos dominantes es más relevante, puesto que a favor del viento se presentan altas tasas de fertilización con polen de poblaciones adyacentes como ocurrió en este trabajo (Figura 2 y 3); mientras que, en contra del viento dominante el porcentaje es muy bajo. Otro factor que afecta la tasa de fertilización es la velocidad del

viento durante el período de liberación, ya que no son constantes y los cambios repentinos tanto en dirección como en velocidad pudieran modificar los porcentajes de cruzamiento (Ma *et al.*, 2004; Goggi *et al.*, 2006).

Los cambios en la dirección y la velocidad del viento son factores que influyen en la dinámica de la diversidad genética, pero también inciden otros que actúan para mantener la estructura genética de las poblaciones; como el caso de los maíces de Yucatán, donde el sistema milpa se caracteriza por la combinación y convivencia simultánea de varias razas de maíz con características fenotípicas bien definidas, dando lugar a nuevas combinaciones, como el de Xmejen nal que es producto del cruzamiento de dos razas tardías locales con Nal tel. La presencia de vientos dominantes durante el período de floración (García *et al.*, 1998) y el establecimiento de varios tipos de maíz en un mismo lote (Mercer y Wainwright, 2008) han condicionado a la dinámica de la diversidad genética presente en este cultivo.

En la actualidad la determinación del nivel de polinización cruzada entre las poblaciones nativas de maíz es fundamental, debido a que los granos de polen funcionan como un vector en la transferencia de genes (Mercer y Wainwright, 2008). Se ha generado mucha información en maíz y se señala que la distancia que recorre el polen es muy variable, va desde unos cuantos metros hasta distancias cercanas a 800 (Halsey *et al.*, 2005).

El conocimiento que el agricultor tiene sobre las condiciones climáticas y edáficas del lugar de siembra, el tipo de vegetación y, en general, de las condiciones ambientales bajo las cuales han evolucionado las poblaciones nativas de maíz, es fundamental para la toma de decisiones en el arreglo en espacio y tiempo, de sus poblaciones en sus lotes de siembra. Con respecto al control del flujo genético, las decisiones se toman de acuerdo a la presencia de los vientos dominantes durante el periodo de floración con el fin de evitar que se contaminen los materiales; además, la selección de semilla es un proceso minucioso en el que se tiene cuidado en la depuración de mazorcas y granos para mantener la identidad del material.

No obstante, es difícil determinar la proporción en la cual el intercambio de semilla y la polinización cruzada entre milpas adyacentes actúan como fuente del flujo génico, ya que la milpa tradicional presenta varias características como la superficie, el arreglo en tiempo y espacio, las barreras naturales como la vegetación y la topografía del área. A estos elementos contribuye el intercambio de semillas en diferentes formas (Latournerie *et al.*, 2006).

En Yucatán, el agricultor reconoce cada población con base en características fenotípicas de planta, espiga, mazorca, grano y fundamentalmente, en los días a floración tanto masculina como femenina; en forma similar a lo que ocurre en otras regiones del país (Perales *et al.*, 2005). Esto le ha permitido mantener las características propias de cada población y pueden considerarse identidades genéticas independientes (Chávez *et al.*, 2003). Este conocimiento local permite a los agricultores diseñar milpas en donde es posible mantener diferentes tipos de maíz, desde los más precoces como Nal tel y Xmejen nal hasta los tardíos de tipo Dzit bacal y Xnuc nal. También aplica estrategias de siembra diferencial, y con las primeras lluvias establece los maíces precoces y cuando ya se ha establecido el temporal siembra los tardíos.

El flujo génico en maíz, que ocurre en campo de agricultores de Yaxcabá, Yucatán, está determinado por la sincronización de la exposición y receptividad de los estigmas y de la liberación del polen; de las condiciones del lugar como la topografía, la precipitación, la velocidad y la dirección del viento; el manejo con base en prácticas locales, el arreglo en tiempo y espacio de los tipos de maíz y, el proceso minucioso de selección de las semillas que hace el agricultor ciclo tras ciclo.

El mantenimiento de la diversidad genética en el sistema milpa puede ser debido a los siguientes factores: 1) la distribución espacial de las poblaciones nativas de maíz considerando los vientos dominantes (García *et al.*, 1998) durante el período de floración, 2) el proceso de selección de mazorcas tanto en el campo como en la troje, dado que en el campo se seleccionan las mazorcas en la

parte central dejando unas cuantas hileras de borde, pues a partir de 5 metros el porcentaje de cruzamiento es bajo (Jemison y Vayda, 2001) y en troje se consideran características de mazorca y sanidad; 3) el mantenimiento de una cultura rica en conocimientos del medio geográfico en que habita y el material biológico que usa; y 4) el amplio conocimiento del sistema milpa; y de otras estrategias complementarias como la siembra en pequeñas áreas cerca de la vivienda del agricultor de maíces precoces como Nal tel y Xmejen nal.

LITERATURA CITADA

- Arias, L., J. Chávez, V. Cob, L. Burgos y J. Canul. 2000. **Agromorphological characters farmer perceptions: México.** In *Conserving agricultural biodiversity in situ: a scientific basis for sustainable agriculture*, D. I. Jarvis, B. Sthapit and L. Sears (eds.). IPGRI, Rome, Italy. p. 95-100.
- Aylor, D. E., N. P. Schultes and E. J. Shields. 2003. **An aerobiological framework for assessing cross-pollination in maize.** *Agricultural and Forest Meteorology* 119:111-129.
- Baltazar, B., J. Sánchez, L. Cruz and J. B. Schoper. 2005. **Pollination between maize and teosinte: an important determinant of gene flow in México.** *Theoretical and Applied Genetic* 110:519-522.
- Bannert, M. and P. Stamp. 2007. **Cross-pollination of maize at long distance.** *European Journal of Agronomy* 27:44-51.
- Bellon, M. R. and S. B. Brush. 1994. **Keepers of maize in Chiapas, México.** *Economic Botany* 48:196-209.
- Bellon, M. R. and J. Berthaud, J. 2004. **Transgenic maize and the evolution of landraces diversity in México: the importance of farmers' behavior.** *Plant Physiology* 134:883-888.
- Berthaud, J., J. C. Clément, L. Emperaire, D. Louette, F. Pinton, J. Sanou and G. Second. 2001. **The role of local-level geneflow in enhancing and maintaining genetic diversity.** In *Broadening the genetic base of crop production*, H. D. Cooper, C. Spillane, T. Hodgkin (eds.). CABI Publishing, New York, USA. p. 81-103.
- Burgos, L., J. Chávez y J. Ortiz. 2004. **Variabilidad morfológica de maíces criollos de la península de Yucatán, México.** In *Manejo de la diversidad de los cultivos en los agroecosistemas tradicionales*, J. Chávez, J. Tuxill y D. I. Jarvis (eds.). IPGRI, Cali, Colombia. p. 58-66.
- Camacho, T. y J. Chávez S. 2004. **Diversidad morfológica del maíz criollo de la región centro de Yucatán, México.** In *Manejo de la diversidad de los cultivos en los agroecosistemas tradicionales*, J. Chávez, J. Tuxill y D. I. Jarvis (eds.). IPGRI, Cali, Colombia. p. 47-57.
- Canul, J., P. Ramírez, F. Castillo y J. Chávez. 2005. **Diversidad morfológica de calabaza cultivada en el centro-oriente de Yucatán, México.** *Revista Fitotecnia Mexicana* 28:339-349.
- Castillo, F. y M. M. Goodman. 1996. **Investigaciones acerca del flujo genético entre maíz mejorado y maíz criollo.** In *Flujo genético entre maíz criollo, maíz mejorado y teocinte: implicaciones para el maíz transgénico*, J. A. Serratos, M. C. Willcox y F. Castillo (eds.). CIMMYT, México, D. F. p. 72-77.
- Chávez, J., P. Ramírez, F. Castillo, J. Canul y V. Interián. 2003. **Diversidad genética de un sistema tradicional de policultivo en México: variación isoenzimática.** *Revista de Ciencias Agrícolas* 20:99-117.
- Chávez, J., J. Tuxill y D. I. Jarvis. 2004a. **Manejo de la Diversidad de los Cultivos en los Agroecosistemas Tradicionales.** IPGRI, Cali, Colombia. 255 p.
- Chávez, J., J. Canul, L. Burgos y F. Márquez. 2004b. **Beneficios potenciales del mejoramiento participativo de maíz en el sistema roza-tumba-quema de Yucatán, México.** In *Manejo de la diversidad de los cultivos en los agroecosistemas tradicionales*, J. Chávez, J. Tuxill y D. I. Jarvis (eds.). IPGRI, Cali, Colombia. p. 175-187.
- Cooper, H. D., C. Spillane and T. Hodgkin. 2001. **Broadening the genetic base of crops: an overview.** In *Broadening the genetic base of crop production*, H. D. Cooper, C. Spillane and T. Hodgkin (eds.). CABI Publishing, New York, USA. p. 1-23.
- García, M., J. Figueroa, R. Gomez, R. Townsend and J. B. Schoper. 1998. **Pollen control during transgenic hybrid maize development in México.** *Crop Science* 38:1597-1602.

- Goggi, A. S., P. Caragea, H. Lopez S., M. Westgate, R. Artritt and C. Clark. 2006. **Statistical analysis of outcrossing between adjacent maize grain production fields.** *Field Crops Research* 99:147-157.
- Halsey, M. E., K. M. Remund, C. A. Davis, M. Qualls, P. J. Eppard and S. A. Berberich. 2005. **Isolation of maize from pollen-mediated gene flow by time and distance.** *Crop Science* 45:2172-2185.
- Jarosz, N., B. Loubet, B. Durand, A. McCartney, X. Foueillassar and L. Huber. 2003. **Field measurements of airborne concentration and deposition rate of maize pollen.** *Agricultural and Forest Meteorology* 119:37-51.
- Jemison, J. M. and M. E. Vayda. 2001. **Cross pollination from genetically engineered maize: wind transport and seed source.** *AgBioForum* 4:87-92.
- Latournerie, L., E. Yupit, J. Tuxill, M. Mendoza, L. Arias, G. Castañón y J. Chávez. 2005. **Sistema tradicional de almacenamiento de semilla de frijol y calabaza en Yaxcabá, Yucatán.** *Revista Fitotecnia Mexicana* 28:47-53.
- Latournerie, L., J. Tuxill, E. Yupit, L. Arias, J. Cristobal and D. I. Jarvis. 2006. **Traditional maize storage methods of Mayan farmers in Yucatan, México: implications for seed selection and crop diversity.** *Biodiversity and Conservation* 15:1771-1795.
- Louette, D. and M. Smale. 2000. **Farmers' seed selection practices and traditional maize varieties in Cuzalapa, Mexico.** *Euphytica* 113:25-41.
- Luna, S., J. Figueroa, B. Baltazar, R. Gomez, R. Townsend and J. B. Schoper. 2001. **Maize pollen longevity and distance isolation requirements for effective pollen control.** *Crop Science* 41:1551-1557.
- Ma, B. L., K. D. Subedi and L. M. Reid. 2004. **Extent of cross-fertilization in maize by pollen from neighboring transgenic hybrids.** *Crop Science* 44:1273-1282.
- Mercer, K. L. and J. D. Wainwright. 2008. **Gene flow from transgenic maize to landraces in México: an analysis.** *Agriculture, Ecosystems and Environment* 123:109-115.
- Messeguer, J., G. Peñas, J. Ballester, M. Bas, J. Serra, J. Salvia, M. Palaudemas and E. Melé. 2006. **Pollen-mediated gene flow in maize in real situations of coexistence.** *Plant Biotechnology Journal* 4:633-645.
- Nadal, A. 2000. **The Environmental and Social Impacts of Economic Liberalization on Corn Production in México.** A Study Commissioned by Oxfam GB and WWF International: WWF and Oxfam GB, Gland, Switzerland. 130 p.
- Perales, H. R., S. B. Brush and C. O. Qualset. 2003. **Dynamic management of maize landraces in central México.** *Economic Botany* 57:21-34.
- Perales, H. R., B. F. Benz and S. B. Brush. 2005. **Maize diversity and ethnolinguistic diversity in Chiapas, México.** *PNAS* 102:949-954.
- Pressoir, G. and J. Berthaud. 2004a. **Patterns of population structure in maize landraces from the central valleys of Oaxaca in México.** *Heredity* 92:88-94.
- Pressoir, G. and J. Berthaud. 2004b. **Population structure and strong divergent selection shape phenotypic diversification in maize landraces.** *Heredity* 92:105-101.
- SAS, Institute Inc. 2000. **SAS User's Guide.** Release 8.1. ed. SAS Institute, Inc. Cary, NC.
- Spillane, C. and P. Gepts. 2001. **Evolutionary and genetic perspectives on the dynamics of crop gene pools.** In *Broadening the genetic base of crop production*, H. D. Cooper, C. Spillane and T. Hodgkin (eds.). CABI Publishing, New York, USA. p. 25-70.
- Stevens, W. E., S. A. Berberich, P. A. Sheckell, C. C. Wiltse, M. E. Halsey, M. J. Horak and D. J. Dunn. 2004. **Optimizing pollen confinement in maize grown for regulated products.** *Crop Science* 44:2146-2153.
- Wang, J., X. Yang, Y. Li and P. Elliott. 2006. **Pollination competition effects on gene-flow estimation: using regular vs. male-sterile bait plants.** *Agronomy Journal* 98:1060-1064.

Jaime Canul-Ku

Genética. Campus Montecillo. Colegio de Postgraduados. Km 36.5 Carretera México-Texcoco. 56230. Montecillo, Estado de México. Tel. 01(995)9520200 Ext. 1320. Autor para correspondencia: canul.jaime@inifap.gob.mx; canulku2001@yahoo.com.

Porfirio Ramírez-Vallejo

Genética. Campus Montecillo. Colegio de Postgraduados. Km 36.5 Carretera México-Texcoco. 56230. Montecillo, Estado de México. Tel. 01(995) 952 0200 Ext. 1320.

Fernando Castillo-González

Genética. Campus Montecillo. Colegio de Postgraduados. Km 36.5 Carretera México-Texcoco. 56230. Montecillo, Estado de México. Tel. 01(995) 952 0200 Ext. 1320.

José Luis Chávez-Servia

Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Oaxaca. 71230. Santa Cruz, Xoxocotlán, Oaxaca.

Manuel Livera-Muñoz

Genética. Campus Montecillo. Colegio de Postgraduados. Km 36.5 Carretera México-Texcoco. 56230. Montecillo, Estado de México. Tel. 01(995) 952 0200 Ext. 1320.

Luis Manuel Arias-Reyes

Centro de Investigaciones y Estudios Avanzados del I.P.N. Unidad Mérida. Km 6 antigua carretera Progreso. C.P. 97310. Mérida, Yucatán.