

# MEMORIA DEL FORO

---

## **Flujo genético entre maíz criollo, maíz mejorado y teocintle: implicaciones para el maíz transgénico**

**Editores técnicos:**

**J. Antonio Serratos, Martha C. Willcox  
y Fernando Castillo**

**INIFAP**

Instituto Nacional de Investigaciones  
Forestales y Agropecuarias

**CIMMYT**

Centro Internacional de  
Mejoramiento de Maíz y Trigo

**CNBA**

Comité Nacional de  
Bioseguridad Agrícola

**El Batán, Estado de México, del 21 al 25 de Septiembre de 1995**

### **El INIFAP**

El Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias (INIFAP) es un organismo público de investigación científica y tecnológica dependiente de la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural (SAGAR). La responsabilidad del INIFAP consiste en generar conocimiento y metodologías tanto científicas como tecnológicas, con el propósito de coadyuvar con el desarrollo del sector agropecuario y forestal; la generación y transferencia de tecnologías sustentables y la participación en actividades del desarrollo rural de México. Los recursos económicos del INIFAP provienen del Gobierno Federal a través de la SAGAR, de Gobiernos Estatales y de otros organismos públicos y privados del sector agropecuario y forestal.

### **El CIMMYT**

El Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) es un organismo internacional sin fines de lucro que se dedica a la investigación científica y el adiestramiento. El CIMMYT, con sede en México, colabora con instituciones de investigación agrícola en la generación de sistemas sostenibles de maíz y trigo para los agricultores pobres del mundo en desarrollo. Este es uno de los 16 centros internacionales sin fines de lucro patrocinados por el Grupo Consultivo para la Investigación Agrícola Internacional (CGIAR). El CGIAR incluye 40 países donadores, además de organismos tanto internacionales como regionales y fundaciones privadas. Además, recibe el apoyo de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), el Banco Internacional para la Reconstrucción y el Desarrollo (Banco Mundial), y el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD).

### **El CNBA**

El Comité Nacional de Bioseguridad Agrícola (CNBA) es un grupo consultivo coordinado por la Dirección General de Sanidad Vegetal (DGSV); su función es el establecer la regulación necesaria para la liberación de plantas transgénicas al ambiente, así como para la evaluación y monitoreo de las pruebas de campo con organismos modificados genéticamente que hayan sido autorizadas en México. El CNBA cuenta con la colaboración de expertos de las instituciones siguientes: Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (CINVESTAV); Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas (CP); Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias (INIFAP); Sistema Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS); Universidad Autónoma Chapingo (UACH) y la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). La Secretaría de Agricultura Ganadería y Desarrollo Rural, con fundamento en la Ley Federal de Sanidad Vegetal (Diario Oficial de la Federación del 5 de enero de 1994) y la Ley sobre Producción, Certificación y Comercio de Semillas (Diario Oficial de la Federación del 15 de julio de 1991), tiene la autoridad para establecer, a través de la DGSV, la regulación oficial para el transporte, manejo, introducción y liberación al ambiente de organismos modificados genéticamente.

**Cita correcta:** Serratos, J.A., M.C. Willcox y F. Castillo (eds.). 1996. Flujo genético entre maíz criollo, maíz mejorado y teocintle: implicaciones para el maíz transgénico. México, D. F. CIMMYT.

**ISBN:** 968-6923-52-7

**Códigos de categorías Agris:** F3O

**Clasificación decimal Dewey:** 633.1523

**Fotografías de portada:** Mike Listman.

## Prefacio

### **J. Antonio Serratos, Martha Willcox y Fernando Castillo**

Investigador del Programa de Biotecnología  
Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y  
Agropecuarias. Campo Experimental Valle de México.  
Fitomejoradora de Germoplasma Transgénico. Centro  
Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo  
(CIMMYT, Int.)

Profesor Investigador  
Departamento de Genética. Colegio de Postgraduados.

En Septiembre de 1995, el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias (INIFAP), el Comité Nacional de Bioseguridad Agrícola (CNBA) y el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), con financiamiento del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), organizaron el Foro y taller, “Flujo genético entre maíz criollo, maíz mejorado y teocintle: implicaciones para el maíz transgénico”, el cual se realizó en las instalaciones del CIMMYT en El Batán, México.

El propósito de esta reunión fue conjuntar en un grupo de trabajo a científicos de diversas disciplinas, principalmente expertos en el área de genética de maíz y teocintle, con la finalidad de analizar y discutir la información y los estudios más relevantes acerca del flujo genético entre maíz y teocintle en México, en vista de los actuales desarrollos biotecnológicos en la producción de maíz transgénico. Se intentó profundizar, junto con los expertos de diferentes áreas, en el análisis de las implicaciones que se derivan de esta interacción genética, y las consecuencias para la reglamentación en el manejo y evaluación del maíz transgénico. En este sentido, se tenía la confianza de que el intercambio de ideas e información entre expertos podría ayudar a dejar más clara la situación en un futuro próximo.

Esta reunión se consideró particularmente relevante para México, donde se ubica el área de origen, diversidad y domesticación del maíz y donde el teocintle se encuentra en estrecha asociación con el maíz en los campos de cultivo de algunas regiones agrícolas. Además, el maíz en México es la base alimentaria de una gran parte de la población.

La estructura del Foro y los talleres de discusión se definen, con modificaciones menores, en el cuadro de contenido de la presente Memoria. Los temas presentados y discutidos incluyeron: la distribución de teocintle en México, el estudio del flujo genético entre los diversos tipos de maíz y el teocintle, y la evaluación de riesgos probables ante una liberación de plantas transgénicas en su centro de origen. Las presentaciones de cada uno de los temas sirvieron como introducción para los grupos de discusión que se integraron con los científicos invitados al Foro. A cada grupo, que funcionó como un taller, se le asignó un moderador y un relator que presentarían a la reunión plenaria un informe y el resumen de la discusión generada con las preguntas específicas elaboradas por los organizadores, además de las cuestiones adicionales que surgieran durante los talleres.

Más de 20 personas — principalmente científicos mexicanos de entidades públicas de investigación y enseñanza, junto con algunos especialistas extranjeros — participaron en los seminarios, mesas de discusión y en reuniones plenarias. Entre otras actividades, los investigadores se concentraron en dos objetivos principales: 1) establecer criterios científicos para la regulación apropiada del maíz transgénico, y 2) identificar algunas líneas de investigación en aspectos básicos de bioseguridad y análisis de riesgo derivado de la introducción del maíz transgénico al ambiente.

Durante los tres días de sesiones el trabajo fue muy intenso y, por momentos, pleno de interesantes y fructíferas controversias, que en muchos aspectos rebasaron las

## Agradecimientos

Manifestamos nuestro profundo agradecimiento a las siguientes instituciones y personas:

Al Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) por su apoyo financiero para la realización del Foro y la publicación de esta Memoria.

Al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias de México (INIFAP), al Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT, Int.) y al Comité Nacional de Bioseguridad Agrícola de México (CNBA), por auspiciar el Foro y facilitar la participación de sus investigadores en esta reunión científica.

A Jesús Sánchez, Angel Kato, Francisco Cárdenas, Juan Manuel Hernández, Gregorio Martínez Valdés, Javier Trujillo, Raúl Obando y Ramón Martínez Parra por las ideas aportadas para la planeación, promoción y desarrollo del Foro.

A Roger Rowe y David Hoisington por su respaldo institucional y facilidades brindadas para llevar a cabo el Foro en las instalaciones del CIMMYT, y a Paul Julstrom por su participación en la operación logística de la reunión.

Al Servicio de Visitantes del CIMMYT -en especial a Linda Ainsworth, Laura Rodríguez y Rey Lugo- por su apoyo logístico y coordinación del Foro.

A Yolanda Cortés por la transcripción de las grabaciones de las sesiones del Foro y a Martha Larios, Esperanza Calderón y Susana Velázquez por la compugrafía de los informes en las mesas de discusión.

A Francisco Cárdenas, David Hoisington, Gregorio Martínez, Jesús Sánchez y Suketoshi Taba por su valiosa ayuda y colaboración en la edición de la presente Memoria.

A Mike Listman por su guía y paciencia durante el proceso editorial y por su apoyo en la coordinación con Miguel Mellado y Eliot Sánchez, de la unidad de Diseño Gráfico, para la producción de esta Memoria.

A todos los participantes del Foro por sus aportaciones, entusiasmo, conocimientos y experiencia, con los que contribuyeron al éxito de esta reunión científica.

## Palabras de bienvenida

### P. Roger Rowe

Subdirector General de Investigación  
Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y  
Trigo (CIMMYT, Int.)

Buenos días, señoras y señores. En nombre del CIMMYT tengo el agrado de darles la bienvenida a todos ustedes. Nos complace la oportunidad de ser anfitriones de este Foro tan importante que tratará sobre el impacto potencial de las plantas transgénicas en México.

Sean bienvenidos todos nuestros colegas de México, de los Estados Unidos y un colega de Suecia. Muchos de ustedes ya nos habían visitado anteriormente, pero para otros ésta es la primera vez que nos acompañan. Sean bienvenidos todos.

En este Foro se tratarán temas muy importantes, tópicos complejos y temas que pueden ser de gran interés. Yo les pido a ustedes concentrarse en estos temas, dar sus propios puntos de vista, pero también considerar los argumentos de sus colegas ya que al final de la jornada será su responsabilidad llegar a un

consenso acerca de las acciones a concretarse en el futuro. Todas nuestras discusiones tendrán un impacto significativo en el futuro de los productos de la transformación del maíz en México.

El CIMMYT en este caso está facilitando la reunión. Sin embargo, los resultados finales tendrán que venir de los científicos mexicanos aquí presentes, quienes posteriormente ayudarán a las entidades gubernamentales a instrumentar el curso de acción más adecuado en sus respectivas áreas de conocimiento.

Ustedes están frente a un desafío muy importante y les deseo lo mejor en las discusiones. Yo trataré de participar en las reuniones de acuerdo con lo que mi tiempo me permita, aunque no será tanto como yo quisiera. Estaré atento a su informe final y les deseo mucha suerte en su trabajo.

Nuevamente, bienvenidos todos.

## Comentarios de apertura del Foro

### Ramón Martínez Parra

Vocal de la División Agrícola  
Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y  
Agropecuarias  
Secretaría de Agricultura Ganadería y Desarrollo Rural

Buenos días a todos. Daré a Uds. unas palabras introductorias. Voy a ser lo más breve posible y sólo tocaré algunos puntos que considero importantes para este Foro.

El Comité Nacional de Bioseguridad Agrícola, del cual son miembros algunos de los participantes en este Foro, es el responsable de discutir y evaluar las solicitudes de liberación y prueba de campo de materiales transgénicos en México. Antes de este Comité hubo varias iniciativas y varios foros de debate acerca de la conveniencia de manejar plantas transgénicas en el Sector Agrícola. En virtud de la falta de elementos de juicio —técnicos, científicos y normativos— se hizo una revisión de los procedimientos seguidos por varios de los países que están más avanzados, o estaban más avanzados en aquel tiempo, en materia de regulación de material transgénico. De todas estas revisiones de procedimientos se logró muy poco; en realidad no había elementos a la mano para poder tomar decisiones en cuanto a autorizar o no el uso del material transgénico. A pesar de esto, se ha avanzado en los últimos dos o tres años y en forma empírica, muchas veces sin contar con algunos elementos necesarios para la toma de decisiones, se ha conformado un cuerpo consultivo que ha adquirido la experiencia adecuada para afrontar la tarea de evaluación de riesgos con material transgénico.

Hace aproximadamente dos años se empezó a gestar una iniciativa del Comité de Bioseguridad para analizar el impacto del maíz transgénico en México. La iniciativa se conformó más rápidamente cuando un grupo de investigadores de INIFAP y del CIMMYT, junto con el Comité Nacional de Bioseguridad Agrícola, decidieron invitar a este grupo de especialistas para discutir los elementos que les permitieran tomar mejores decisiones con respecto al maíz transgénico en diferentes aspectos normativos y de investigación.

Existe una dicotomía en cuanto a cómo podemos aprovechar mejor todas las ventajas de la tecnología moderna, y al mismo tiempo cómo proteger los recursos genéticos de México. Se dice que México es el país centro de origen del maíz y de otras especies cultivadas y se habla — por otro lado — de que en México debemos producir alimentos para una población que crece aceleradamente día a día. Necesitamos incrementar la productividad, necesitamos aprovechar todas las ventajas que posiblemente nos pueden ofrecer las plantas transgénicas, y también aprovechar las ventajas de la tecnología moderna, sin menoscabo de nuestra responsabilidad con los recursos fitogenéticos.

En ese contexto se discutió la iniciativa y se procedió a la organización de este taller. Consideramos que este grupo de científicos tiene la gran responsabilidad de darle a nuestro país las bases — y seguramente vamos a llegar a un consenso de los lineamientos un poco más específicos — de cómo conservar y proteger nuestros recursos genéticos, a la vez de cómo utilizar armónicamente los avances y logros de la biotecnología. Aquí hay un elemento que conviene mencionar: se decidió que este taller fuera exclusivo para la comunidad científica, sin la participación de empresas privadas, porque posteriormente, con los elementos discutidos por los expertos científicos, invitaremos a la mesa a las empresas privadas para tener una discusión más fructífera y mejor informada que contenga un conjunto de reglas para la evaluación del material transgénico.

Con esto en la mesa, quiero recordarles que en tres días tendremos que salir con un consenso. Estamos seguros que aquí contamos con las personas mejor calificadas para lograr este objetivo.

Gracias.

# Conocimientos actuales en relación con la transformación del maíz

**David Hoisington**

Jefe de los Laboratorios de Biotecnología Aplicada  
Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT, Int.)

## Introducción

Una de las principales razones de la reunión de este grupo es la discusión de las actividades, los productos de la ingeniería genética y los problemas que pueden entrañar estos elementos de la biotecnología. De particular interés son aquellos productos que, como el maíz transgénico, tengan que ser evaluados y, eventualmente, liberados en forma comercial en México, considerado como el centro de origen genético del cultivo. Deseo presentar un panorama general de las técnicas disponibles para transformar el maíz y de los productos que podemos esperar de este trabajo, de tal modo que todos los asistentes a esta reunión tengan una base común para la discusión en los siguientes días.

En primer término deseo agradecer a mis colegas de este Centro, Natasha Bohorova, Jefa del Laboratorio de Ingeniería Genética Aplicada y Wanggen Zhang, Jefe del Laboratorio de Biología Molecular Aplicada, su ayuda en la preparación de esta charla y su contribución a la investigación de ingeniería genética en el CIMMYT.

El proceso de transformación del maíz probablemente sea bastante diferente al utilizado en muchas otras plantas. Podemos decir que, en los países industrializados, las principales actividades y la aplicación de la tecnología en la transformación del maíz —generación de productos útiles en la agricultura— se realizan en las empresas privadas. Esto no significa que el sector público no participe en el desarrollo de la transformación del maíz por medio de ingeniería genética, sino que los investigadores de

este último sector están más interesados en el estudio de los procesos básicos.

Otro ángulo que me gustaría destacar es que, como muchas otras cosas en ciencia, la transformación genética de plantas mediante ingeniería genética todavía es un arte. Muchas disciplinas científicas constituyen el fundamento de este desarrollo biotecnológico, pero aún hay muchas incógnitas por resolver. Tal vez, la verdadera maravilla de este trabajo es el obtener un producto que se conoce en gran medida, pero el procedimiento para obtenerlo es todavía más parecido a un arte.

## ¿Por qué transformar una planta?

En el contexto de esta presentación, la ingeniería genética se usa para desarrollar productos que quisiéramos liberar al ambiente porque pensamos que representan alguna ventaja para la agricultura. Obviamente, debemos tener una razón para efectuar la transformación; debemos tener un gene o genes que queremos insertar en una planta de maíz, los cuales automáticamente mejorarán a este organismo. Más específicamente, el gene agregado deberá mejorar un carácter ya existente en la planta o proporcionar un genotipo alternativo que deseamos.

## ¿Qué se requiere?

Dado que el objetivo es insertar un segmento nuevo de ADN, debemos tener alguna forma de introducir ese producto molecular en la planta de tal modo que sea absorbido por el genomio del organismo receptor. Después de insertar el ADN nuevo en un organismo,

debemos tener alguna forma de controlar su expresión, ya sea de forma continua durante toda la vida de la planta, o en una etapa específica del desarrollo de ésta o en determinados tejidos vegetales.

La mayoría de las metodologías nos exigen la capacidad de seleccionar el segmento de ADN nuevo que ha sido introducido. Hablamos aquí de selección no desde el punto de vista fenotípico sino en los niveles celular y molecular: queremos ser capaces de seleccionar aquellas células que han absorbido el ADN nuevo y usarlas para regenerar una planta fértil. Finalmente, y quizás esto sea lo más importante para quienes asisten a este taller, los materiales resultantes deben ser sometidos a una adecuada evaluación en el campo.

## El protocolo básico

La ingeniería genética se fundamenta en el cultivo de tejidos, proceso que ha sido conocido desde hace muchos años. Fue a comienzos de los años 1960's cuando se regeneró la primera planta de maíz a partir de células vegetales, en tanto que la capacidad de insertar ADN en las plantas ha existido desde hace 10 años.

Para dar una idea general, en la Figura 1 se presenta un esquema global del proceso. El punto de partida es una planta. Luego, mediante la polinización se obtienen plantas que producen el material vegetativo necesario para el cultivo de tejidos. La mayoría de las técnicas emplean embriones inmaduros como blanco potencial para la introducción del ADN ajeno al organismo. Cuando se les coloca en los medios de cultivo apropiados, los embriones comienzan a formar callos. Ciertas técnicas practican la introducción del ADN ajeno en esta fase. En cualquiera de los casos, una vez que se ha insertado este ADN en las células, debe haber un mecanismo para seleccionar las células transformadas, mediante el cual se obtengan subconjuntos de células que puedan ser sometidas al proceso de regeneración. Esto se logra colocando las

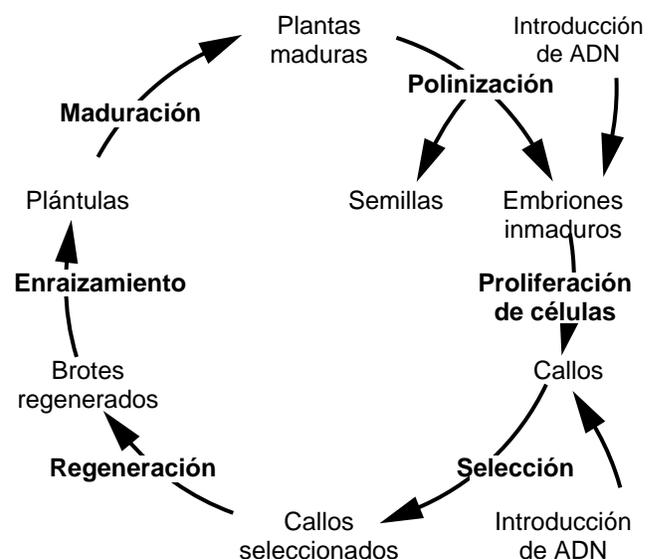
células en un medio de cultivo que contenga un agente de selección, como un herbicida o un antibiótico. Las células que sobreviven son entonces transferidas a los medios de cultivo apropiados y se desarrollan brotes de tejido verde. Los brotes son luego transferidos a otro medio para formar plántulas, las cuales pueden ser retiradas del medio de cultivo y plantadas por primera vez en el suelo. Más tarde son transplantadas a un invernadero y, si todo sale bien, maduran para convertirse en plantas completas.

En este punto tenemos una planta transgénica. Esa planta se cultiva hasta llegar a la madurez para producir semillas, las cuales se convierten en la base de las subsiguientes generaciones y ensayos de este material nuevo.

## Componentes transgénicos

La Figura 2 presenta un esquema simplificado de lo que se está introduciendo en el genoma del maíz en el proceso de la ingeniería genética. El "vector", como se le llama por su función de transmitir un gene, tiene diversos componentes simples. Algunos se usan porque normalmente insertamos el vector en una

**Figura 1. Proceso de ingeniería genética**

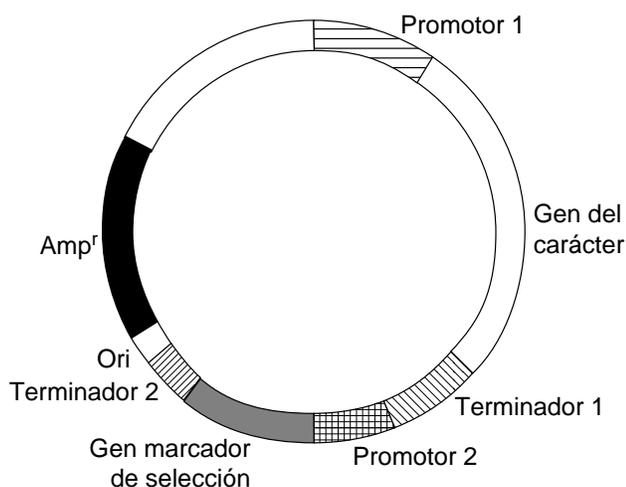


bacteria que sirve como una especie de “fábrica biológica” que replica el vector muchas veces. Otros nos permiten seleccionar células bacterianas que contienen el vector, de tal modo que podemos producir suficientes copias para emplearlas en la ingeniería genética. Como se mencionó, es necesario este sistema de marcaje para hacer la selección de los vectores adecuados. El segmento de ADN nuevo en el vector tiene que ser controlado por un promotor que lo active en los tejidos apropiados. Además de lo anterior, la mayoría de los genes requieren algún tipo de señal de terminación que detenga la transcripción de ese segmento de ADN.

## Reguladores de los genes, marcadores y genes reporteros

Lo más importante para la discusión de la ingeniería genética es el conjunto de componentes que incluye la secuencia del ADN de interés y los segmentos subordinados que regulan su expresión. Además de un gene marcador de selección, es necesario el gene para la característica de interés. El gene del carácter se puede colocar en el mismo vector o en otro separado, el cual se transforma y se introduce en la misma planta: en general, cada gene debe tener su propio promotor y terminador.

Figura 2. Vector típico de la transformación



Hay muchas formas diferentes de genes de caracteres. Se pueden poner dos genes diferentes para dos caracteres distintos en el mismo vector. También podemos tener genes de caracteres que se convierten en genes reporteros, de tal modo que podemos estudiar el proceso mismo de la transformación. Lo anterior es, en términos simplificados, el componente básico que se introduce en una planta.

Con respecto a los ensayos en el campo, un aspecto importante son los genes marcadores (Cuadro 1). Como se describió antes, al transformar el maíz estamos insertando no sólo un gene para un carácter específico sino también genes marcadores que nos permiten, mediante su expresión fenotípica, verificar el éxito de la inserción del vector en el genomio. Aquí mencionaré tres de los marcadores más comúnmente usados. El primero y probablemente el que más se usa es el llamado gene *bar*, que confiere tolerancia al herbicida Basta®. Este ha sido un marcador útil para muchos cereales y particularmente para el maíz, porque es de uso sencillo para seleccionar y obtener células transgénicas en un medio de cultivo con herbicida.

Indudablemente hay preocupación por el empleo de la tolerancia a los herbicidas como un marcador de selección, en particular porque se incrementa la posibilidad de tener un gene de tolerancia a los herbicidas en el producto final. A causa de esto, los investigadores usan otros mecanismos para confirmar el éxito de la inserción del transgene. Los genes marcadores de selección basados en la resistencia a los antibióticos han generado un considerable interés, ya que, por ejemplo, el gene *hpt* que confiere tolerancia a

### Cuadro 1. Genes marcadores seleccionables

- **bar**: fosfinotricina acetiltransferasa  
resistencia a Basta, bialofós, PPT
- **neo**: neomicina fosfotransferasa  
resistencia a la neomicina
- **hpt**: higromicina fosfotransferasa  
resistencia a la higromicina o geneticina

la geneticina o la higromicina es probablemente un mejor sistema marcador que el gene de la tolerancia a los herbicidas. Sin embargo, seleccionar las células transformadas de maíz con un medio antibiótico resulta todavía más difícil que con el herbicida.

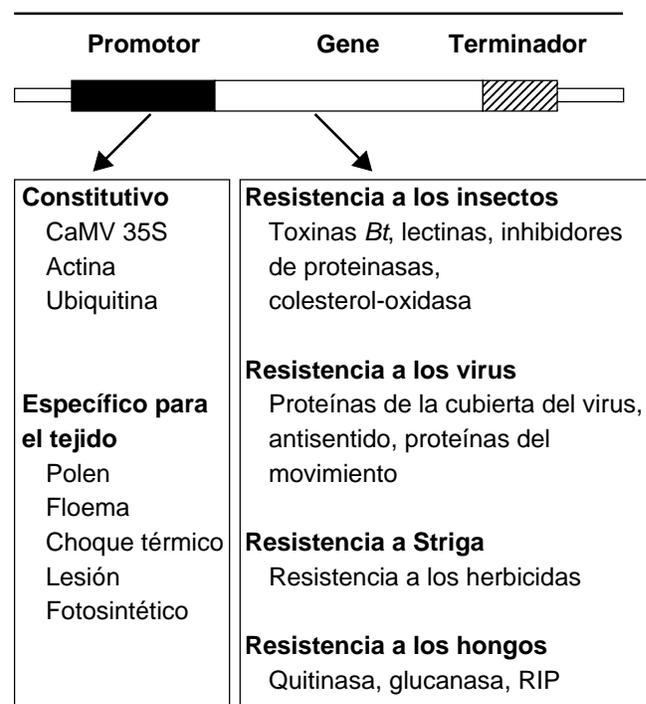
El otro punto que mencioné es la capacidad de usar un gene reportero (Cuadro 2). Se dispone de por lo menos tres sistemas principales de genes reporteros que se emplean en las plantas. Son muy útiles en las primeras etapas del desarrollo de un sistema de transformación y algunos investigadores todavía los incorporan como parte de su actividad ordinaria para confirmar que se ha producido la transformación. Probablemente uno de los más comunes sea el llamado gene GUS, el cual produce una enzima que, con un sustrato apropiado, da como resultado la típica coloración azul que se ve en las células transformadas. Por desgracia, esta técnica también mata el tejido sobre el cual se practica. No obstante, es un mecanismo muy eficaz para observar células que hayan sido transformadas, que han absorbido el ADN y lo están expresando. Otro gene reportero bastante común, en particular para el maíz, es el gene *C1*, que automáticamente produce pigmentos rojos en la mayoría de las células de maíz que se transforman. El tercer gene reportero, de uso frecuente en el pasado aunque no es así en la actualidad, es el gene *lux*, que produce una reacción de luminiscencia en la mayoría de las células. Como se mencionó, los genes reporteros en general no son productos finales, pero pueden ser muy útiles para monitorear los procesos de transformación por lo que a menudo son incorporados en el proceso definitivo y consecuentemente, también son incluidos en el producto final.

#### Cuadro 2. Genes reporteros

- **GUS:** β-glucuronidasa (coloración azul)
- **C1:** gen *C1* regulador de la antocianina en *Zea mays* (pigmentos rojos de antocianina)
- **lux:** luciferasa (luminiscencia)

En relación más estrecha con el gene del carácter de interés están ciertos componentes que regulan su expresión. Estos “promotores”, como se les llama, se presentan en dos tipos básicos (Figura 3). El primero es el promotor “constitutivo”, que activa la expresión del gene en todos los tejidos y constantemente en el tiempo. Un ejemplo es el promotor 35S del virus del mosaico de la coliflor. A pesar de que estos promotores trabajan en todos los tejidos, cada vez que uno inserta genes regulados por promotores constitutivos hay diferencias en cuanto a la especificidad para el tejido o el grado de expresión. En consecuencia, aun cuando se activan los genes, no siempre se activan en el mismo grado en todos los tejidos. En la actualidad se están llevando a cabo un gran número de investigaciones acerca de los llamados sistemas de promotores “inducibles” o específicos para el tejido. Por ejemplo, si el objetivo es manipular el polen, entonces se tienen disponibles varios promotores que pueden ser inducidos mediante el choque térmico o lesiones, o los que requieren un tejido fotosintético para expresarse.

Figura 3. Promotores y genes



## Caracteres de interés

Teniendo en cuenta esta amplia gama de promotores y sobre la base del gene que se quiera insertar y el tejido o la etapa de desarrollo en los cuales se va a expresar el gene, es muy sencillo identificar el promotor apropiado. Algo que probablemente sea más importante considerar es el gene para el carácter de interés. En el Cuadro 3 se enlistan diversos tipos de genes asociados con distintos productos útiles para el maíz o las plantas en general. Si observamos los tipos de genes que se podrían insertar, los principales caracteres de interés para los programas de mejoramiento de maíz en todo el mundo se vinculan con la resistencia a cuatro tipos de plagas del cultivo: los insectos, las bacterias, los virus y los hongos. No se ha comprobado si todos los genes enlistados producen un genotipo apropiado o mejoran el grado de resistencia, pero éstas son las opciones que tenemos los ingenieros genéticos.

En el caso de la resistencia a los insectos, se ha comprobado que los genes *Bt* son muy eficaces para controlar algunos tipos de insectos, en particular los

**Cuadro 3. Genes clonados de la resistencia**

Gene	Resistencia	Fuente
<b>INSECTOS</b>		
<i>Cry</i>	Barrenador del maíz	<i>Bt</i>
<i>Pin II</i>	Gusano de las yemas del tabaco	Papa
<i>3-Hox</i>	Gusanos de las yemas	Bacterias
<i>α-Ain</i>	Gorgojos	"Cowpea"
<b>BACTERIAS</b>		
<i>Pto</i>		Tomate
<i>Rps2</i>		<i>Arabidopsis</i>
<b>VIRUS</b>		
<i>N</i>		Tabaco
<i>Cp</i>		Virus
<b>HONGOS</b>		
<i>L6</i>	Royas del lino	Lino
<i>Chi</i>	<i>R. solani</i>	Colza, cebada
<i>β-Glu</i>	Hongos	Tabaco, cebada
<i>RIP</i>	Hongos	Cebada

lepidópteros, pero hay otros tipos de genes que pueden conferir a las plantas una resistencia más general a un rango más amplio de insectos. Estos genes incluyen los inhibidores de proteinasas y el sistema de la oxidasa de colesterol recientemente descrito por la compañía Monsanto.

En cuanto a la resistencia a los virus, los mecanismos incluyen las llamadas proteínas de la cubierta viral, las secuencias antisentido y, en fecha más reciente, la modificación del movimiento sistémico real de las partículas víricas a través de toda la planta. No conozco ejemplos exitosos, en particular en el maíz, pero en otras plantas estos mecanismos de resistencia parecen mantenerse bastante bien. Ahora hay cierto interés por estudiar la tolerancia a los herbicidas y la posibilidad de usarlos para controlar a la *Striga* parasitaria del maíz en floración, dotando a este cultivo de dicha tolerancia.

Finalmente, en relación con la resistencia del maíz a los hongos, los diversos sistemas disponibles para expresar la quitinasa, la glucanasa y las proteínas inhibidoras de ribosomas tal vez nos permitan, en el futuro, controlar a los agentes patógenos o, simplemente, proporcionar una resistencia más general a éstos.

## Técnicas para la transferencia de genes

Además de tener un gene para insertar, es preciso contar con un mecanismo mediante el cual podamos insertarlo. En los últimos años, las investigaciones de ingeniería genética han seguido tres métodos básicos para la transferencia de transgenes a los cultivos: la electroporación de protoplastos, la transferencia mediada por *Agrobacterium* y el bombardeo de partículas. Se puede decir, al menos en el caso del maíz, que si bien la electroporación de protoplastos es una tecnología muy adecuada para estudiar la expresión general de los genes en las células de maíz

transformadas, no ha sido muy útil como parte de un sistema de aplicación eficiente, sencillamente porque los protoplastos de maíz son difíciles de regenerar para convertirse en plantas fértiles. De los otros dos métodos, la “pistola de genes” es probablemente el método preferido para el maíz, pero hay informes recientes de la transformación del arroz con *Agrobacterium* y hay optimismo en cuanto a que se puedan encontrar cepas similares para usarlas en la transformación del maíz.

La mayoría de las actividades mencionadas al inicio de esta presentación emplean embriones inmaduros de maíz. Estos se cosechan después de 10 a 15 días de la polinización en el campo. En nuestro laboratorio, los embriones se transforman usando una pistola de genes. Cuando se ha colocado un gene reportero, en dos o tres días se puede ver la expresión específica en células que han sido transformadas por el nuevo producto génico y que están expresando activamente el gene. Esto confirma que se ha producido la transformación, si bien no demuestra necesariamente que el nuevo gene del carácter de interés ha sido incorporado en el genomio. Después del proceso de selección, que dura unas semanas, se pueden producir sectores de callos o callos enteros que están expresando uniformemente el gene reportero.

Esto es una evidencia de que el producto génico deseado ha sido incorporado en los genomas de las células que constituían el objetivo de la transformación, que se ha transferido a las células de la progenie, y que se pueden regenerar plantas a partir de determinados callos. En general, se seleccionan los callos en un medio de cultivo que contiene herbicida; la mayoría de ellos mueren porque no contienen el gene marcador de selección. Los callos que crecen normalmente en este medio de selección y en las condiciones apropiadas, comienzan a regenerarse en plántulas. De manera muy sencilla, estas plántulas pueden ser cortadas, colocadas en medios de cultivo apropiados, inducidas a formar raíces y transferidas a invernaderos donde crecen hasta alcanzar la madurez.

Por supuesto, durante el proceso se realizan otros ensayos para comprobar que el transgene está presente, pero quizás una de las demostraciones más contundentes sea observar el fenotipo definitivo sometido al factor desfavorable al cual se supone que el gene nuevo conferirá resistencia. Hemos infestado plantas transformadas mediante el gene *cry IA(b)* — que se supone confiere resistencia a una plaga del maíz tropical (*Diatraea saccharalis*)— con 40 a 50 larvas por planta de esa especie en nuestros invernaderos, y logramos un control muy bueno. El paso siguiente es determinar cómo se puede incorporar el carácter en el germoplasma adecuado, llevarlo al campo y posteriormente proporcionarlo a los clientes como un mecanismo para combatir las plagas insectiles.

Además de observar el fenotipo, que es en definitiva lo que uno querría ver, hay muchas formas bioquímicas y moleculares de estudiar las plantas transgénicas. Esto subraya el hecho de que la ingeniería genética no es por completo un arte sino también una ciencia muy exacta. Por ejemplo, es muy sencillo determinar la cantidad exacta de copias de un transgene en plantas transformadas y también, saber exactamente dónde está insertado en el genomio. A diferencia de muchos procesos en el mejoramiento tradicional o las cruzas amplias, ésta es una ciencia muy exacta. Sabemos precisamente dónde se colocan esos genes, el grado exacto de transcripción y traducción y qué cantidad del producto se obtiene. Podemos estudiar el transgene, tejido por tejido o según la etapa de desarrollo de la planta, lo cual nos permite conocer su estado exacto. También podemos estudiar la herencia del gene, para verificar que se hereda como un factor mendeliano y su estabilidad en toda la progenie. En consecuencia, tenemos un producto bastante exacto, a pesar del “arte” que intervino en su producción.

## Otras consideraciones

Finalmente, ¿cuáles son los conocimientos actuales en el caso del maíz? Es preciso considerar un par de factores importantes. En primer lugar, la eficiencia de

todo el proceso, usando la biolística, es más bien baja: menos del 1%. En otras palabras, cuando se bombardean 100 embriones, se puede esperar que menos de *uno* de ellos sea un evento estable, si se considera que esto requiere que el ADN nuevo no sólo sea incorporado en el genoma sino también que sea estable, que haya un grado suficiente de expresión del gene y que éste sea heredado como un factor mendeliano individual. Por consiguiente, dada la eficiencia más bien baja, hay que bombardear una cantidad bastante grande de individuos para generar eventos de transformación que valga la pena conservar.

Lo que es particularmente importante y se relaciona con el aspecto del arte es el hecho de que el maíz transformado con *Bt* será liberado en forma comercial en los Estados Unidos de América en 1996. Por lo menos dos empresas han recibido la aprobación del gobierno estadounidense para lanzar ese producto. Esto, probablemente, es la mejor ilustración de que el maíz transgénico es viable y que las empresas privadas consideran que tendrá cierto valor en el mercado comercial. También se dispone de maíz resistente a los herbicidas, pero no sé si está orientado directamente a la comercialización en este momento.

En cualquier caso, ya no estamos limitados por la falta de genes para insertar. Casi minuto a minuto se obtienen genes nuevos útiles y las alternativas se vuelven casi ilimitadas al combinar genes con diferentes promotores o, incluso, en sistemas de genes múltiples. Para casi cualquier carácter del maíz que uno pudiera pensar en mejorar, se puede identificar un mecanismo o un conjunto de genes que podrían ser útiles. Todavía no se ha comprobado todo, pero hay opciones y éstas se van a ampliar considerablemente en los próximos años.

Tampoco es un gran problema el grado de expresión. Se ha comprobado que, con promotores tanto constitutivos como específicos para el tejido o inducibles, podemos obtener altos grados de

expresión. Por ejemplo, los genes *Bt* en el maíz se pueden expresar para producir concentraciones de proteína 10,000 veces más elevadas que las necesarias para matar a los insectos, sin que haya ninguna reducción significativa del comportamiento agronómico de la planta. Por consiguiente, podemos obtener grados extremadamente altos de producción de proteína o de expresión genética en las plantas para casi cualquier tipo de producto. Obviamente, la eficiencia de la transformación es algo limitada: es preciso efectuar grandes cantidades de transformaciones y seguir los productos para identificar los mejores que se desea usar. El sistema mediado por *Agrobacterium* tal vez nos permita mejorar algo esta situación, pero todavía no se ha comprobado.

Un problema que se torna más importante y que requerirá mucha atención es el llamado fenómeno de "silenciamiento de los genes", en el que los genes recién insertados se desactivan. Este fenómeno se conoce desde hace mucho tiempo, pero ahora hay más interés por comprenderlo. Se están realizando muchos estudios para determinar cómo se produce un gene estable y el mecanismo mediante el cual las plantas pueden activar y desactivar los genes. Creo que tendremos algunas opciones en los próximos años para obtener mejores productos que permanezcan estables y se expresen una vez insertados, pero ésta es un área problemática. Es una de las razones por las que se hace necesario examinar los productos transgénicos nuevos en condiciones de campo durante varios años, con el fin de asegurarse de que el gene se expresa en forma estable.

Obviamente, existen ciertas limitaciones no científicas para este trabajo las cuales, en la actualidad, tal vez tienen más peso que algunas de las científicas. Por ejemplo, toda el área de las patentes. No sólo el proceso de transformación está protegido como propiedad intelectual sino que también muchos de los genes, los promotores e incluso los marcadores de selección, están patentados por alguien en alguna

parte del mundo. En consecuencia, quien desarrolla un producto de maíz transgénico no lo posee por completo, sino que lo comparte con muchos propietarios. Todavía resta ver cómo todas las personas involucradas se sentarán alrededor de la misma mesa para tratar de decidir la liberación de un producto; después de todo, la mayoría no serán científicos sino abogados o apoderados de los propietarios de las patentes. Uno debe estar dispuesto a aceptar esta circunstancia antes de trabajar con materiales transgénicos.

Más importantes —y obviamente la razón de que nos hayamos reunido aquí— son las normas de bioseguridad vigentes por el simple hecho de insertar un fragmento nuevo de ADN en una planta. Estos reglamentos son, para mí, una de las limitaciones más importantes para este trabajo, ya que cubren no sólo la fase de laboratorio sino que también restringen la capacidad de llevar un producto al campo con la rapidez necesaria para evaluarlo en las condiciones apropiadas. Esto último plantea una grave limitación para, incluso, las pruebas más sencillas de la utilidad de muchos transgenes que potencialmente se podrían insertar en el maíz en el futuro.

## **Preguntas y respuestas después de la presentación de David Hoisington**

### **R. Rowe:**

Entiendo que es posible extraer el gene marcador de selección después de la transformación de la planta. ¿Es posible extraer el gene BASTA® después de usarlo para producir la planta transformada? ¿Es cierto? ¿Es muy difícil?

### **D. Hoisington:**

Sí, es posible. Uno de los mecanismos más sencillos sería tener el gene marcador de selección y el gene del carácter de interés en dos vectores separados. Aun cuando esto a menudo da como resultado fenómenos de cointegración, sería posible separarlos. En la

actualidad hay muchos estudios que tratan de ver cómo se podría retirar el gene. No conozco ningún sistema de uso cotidiano, pero los sistemas de recombinación, los llamados sistemas *Cre-lox* a partir de bacterias, parecen bastante promisorios para retirar un gene específico.

### **B. Benz:**

Una vez que estos genes son incorporados en el germoplasma de interés, ¿en qué medida son transferibles a otras líneas? Por ejemplo, en líneas endogámicas o híbridos, ¿se hace con facilidad la transferencia? ¿se pierde algo en el proceso?

### **D. Hoisington:**

No, si el gene ha sido insertado en forma estable —y la mayoría de los objetivos deseados son eventos de inserción individuales— entonces, se comporta como un gene dominante individual en las plantas. En general no hay mucha diferencia entre el estado homocigótico (dos copias) y el estado heterocigótico (una copia) del gene. Comúnmente hay un grado suficiente de expresión, aun en forma híbrida, para conferir un buen grado de resistencia. Esto es en realidad una ventaja, dada la escasa eficiencia en la transformación: una vez que se tiene un buen producto, éste puede ser usado en los programas de cruza tradicionales para trasladar el transgene a una gran variedad de germoplasma. Este es uno de los métodos que adoptaremos aquí en el CIMMYT. No hay razón para tratar de transformar cada línea endogámica que tengamos. Podemos identificar una o dos líneas muy buenas para introducir los genes. Luego, mediante esquemas de cruzamiento convencional, usando marcadores moleculares para seguir los genes y eliminar el genotipo del progenitor donador, se puede con rapidez transferir el gene a una gran variedad de materiales; es decir, en el curso de una o dos generaciones, excepto por el problema del silenciamiento de genes. Este problema surge, esporádicamente, cuando se efectúa un cruzamiento y a veces el gene es desactivado. Todavía estamos tratando de entender por qué sucede esto algunas

veces y otras no. Ese no es un fenómeno exclusivo de los transgenes; probablemente se produce en muchos genes. Cualquiera que sea genetista y haya manipulado germoplasma con genes específicos sabe que hay una tremenda variación en la expresión de cualquier gene en cualquier planta y, a menudo, también existe inestabilidad en esos genes. Esto no es algo excepcional, sólo que ahora parece que verdaderamente tenemos una razón para investigar esas dificultades.

**N. Ellstrand:**

¿Cuál es la preocupación actual en la industria acerca de la protección de la propiedad intelectual? La fabricación de los productos es muy costosa, las patentes son complicadas. ¿Están preocupados por la posibilidad de perder productos transgénicos como resultado de robo o del flujo de genes hacia los cultivos de otros?

**D. Hoisington:**

Mi opinión es que el sector privado no está tan preocupado una vez que se lanza el producto. En parte porque, como usted menciona, es bastante costoso patentarlo y protegerlo. Probablemente sea todavía más costoso vigilar un producto. Obviamente, cuando hay adquisición y empleo flagrantes del transgene de alguien es bastante sencillo identificar esto, pero no creo que las empresas se pongan a vigilar a todos. Pienso que el objetivo básico es sacar algo tan pronto como sea posible, ser los primeros y luego obtener productos cada vez mejores. Los primeros productos de la ingeniería genética son como los modelos T de los autos: corren y son útiles, pero las empresas pueden decir: "Esperen a que tengamos las versiones perfeccionadas; serán muy poderosas".

**M. Goodman:**

Es probable que algunos de los presentes no sepan que el maíz resistente a los herbicidas se ha vendido desde hace varios años en los Estados Unidos, pero, por supuesto, ese maíz no fue desarrollado mediante transgenes sino recurriendo a la mutagénesis.

**D. Hoisington:**

Sí, eso es muy cierto. De hecho, tenemos los mecanismos de las plantas hospederas para muchos de los genes que estamos insertando.

**R. Quintero:**

Hasta ahora muchas de las plantas han sido transformadas usando sólo un gene, un gene específico en el que estamos interesados. ¿Cree usted que esto va a cambiar en el futuro? Digamos, ¿veremos en el futuro plantas individuales resistentes a los insectos, los herbicidas y algo más?

**D. Hoisington:**

Definitivamente así es. Pienso que aquí es donde se está avanzando más y probablemente los mejores ejemplos están en el área de la resistencia a los hongos. Sabemos que, por ejemplo, la simple inserción del gene de la quitinasa realmente no confiere resistencia a los hongos, pero cuando se combina con las glucanasas o las proteínas inhibidoras ribosómicas, el efecto sinérgico de esos dos elementos es fenomenal y en verdad se pueden obtener altos grados de resistencia. Este es un caso en el cual se tienen que implementar sistemas de genes múltiples. De hecho, ahora hay informes de resistencia heredada cuantitativamente mediante la ingeniería genética. Creo que esto es cierto aun en el caso de la resistencia a los insectos. Los genes *Bt* son muy buenos porque son muy específicos: se enfocan hacia un conjunto bien definido de especies de insectos y eso proporciona un mecanismo muy seguro de acción insecticida. Sin embargo, obviamente hay preocupación por lo que sucederá con el grado general de resistencia de las poblaciones de insectos a la expresión de la endotoxina en las plantas transgénicas. En vista de lo anterior, se analizan varios mecanismos usando otros genes de *Bt*, sistemas como el de la oxidasa del colesterol y otros inhibidores de proteinasas. Por consiguiente creo que sí, en el futuro habrá una combinación de transgenes en las plantas. La mayor parte de este trabajo se concentra en la resistencia; sin embargo, otra área de investigación

que en el futuro puede ser bastante importante desde una perspectiva comercial, es la de los productos del metabolismo secundario de las plantas. Esos productos obviamente requerirán de diferentes procesos para ser puestos en marcha.

**R. Quintero:**

Si sucede eso, tendrá que agregar otro problema a su lista: la inocuidad de los alimentos. Con el tomate, por ejemplo, el público se pregunta: "¿es inocuo este alimento?" Si comenzamos a agregar más genes y proteínas nuevas, entonces este problema de la inocuidad de los alimentos también será muy importante, especialmente en el caso del maíz. ¿Cómo ve usted las tendencias de la investigación en esta área?

**D. Hoisington:**

Bueno, definitivamente la inocuidad de los alimentos es uno de los componentes de la bioseguridad; creo que allí es donde la ubicaría. Si los productos van a ser para el consumo, entonces ese será uno de los aspectos a considerar.

**B. Benz:**

¿Cuál es la longevidad prevista de algunas de estas líneas transgénicas? ¿Un año, dos años... alguna idea? ¿Qué ha previsto el CIMMYT?

**D. Hoisington:**

Yo diría que en la mayoría de los casos la longevidad es muy breve, de uno o dos años. Eso es lo que creo ahora, con los genes actuales, al menos para los Estados Unidos o para los mercados de los países

industrializados. Tal vez el Programa de Maíz del CIMMYT podría abordar esta interrogante de la permanencia del germoplasma en los países en desarrollo. Sin embargo, creo que la longevidad de una planta transgénica podría ser mayor que la de una línea endogámica en el mercado comercial estadounidense.

**N. Ellstrand:**

¿Cuáles son las perspectivas de que el maíz sea transformado para generar productos industriales? He conversado con algunos ingenieros genéticos y hablan de usar el maíz para producir sustancias farmacéuticas, como el compuesto usado en las píldoras anticonceptivas.

**D. Hoisington:**

Bueno, es factible. Como mencioné, tenemos los genes, podemos activarlos y no hay obstáculos técnicos mayores; por lo tanto, se puede hacer. Que en verdad se haga, probablemente se relacione más con el valor comercial del producto y con que una empresa considere que se podría obtener algo rentable. Ustedes recordarán que uno de los aspectos curiosos de la transformación del maíz es que está muy ligada al sector privado y, en consecuencia, se impulsa por un motivo utilitario en estos momentos. Si bien se podría hacer algo y hacerlo en otra planta a causa del interés científico básico, tal vez no se logre en el maíz sencillamente porque el sector privado no ha considerado que esto sea un sistema rentable.

# El teocintle en México: Panorama retrospectivo y análisis personal

H. Garrison Wilkes  
Profesor de Biología  
Universidad de Massachusetts

## Introducción

La presencia en este Foro de tres de los principales expertos en el estudio del teocintle constituye un tributo para los organizadores de esta conferencia. Dos de esos expertos son mexicanos y conocen el estado actual del teocintle mejor que yo. Pienso que mi única y modesta contribución a este taller es la perspectiva histórica de las poblaciones de teocintle en los últimos 35 años. Cuando comencé a trabajar en el teocintle en 1960 (Wilkes, 1985), no teníamos los extensos conocimientos sobre las poblaciones del teocintle con que contamos en la actualidad gracias a los Dres. Jesús Sánchez (Sánchez y Ordaz, 1987) y T. Angel Kato Y. (Kato Y., 1976; 1984).

Antes de entrar en los detalles de la historia natural del teocintle, me gustaría contarles algo que simboliza el tema de mi presentación. Imaginemos que uno quiere salvar la pureza del complejo genético del teocintle; busca una gran vasija de barro y deposita dentro de ésta a todas las poblaciones de teocintle. Por seguridad, coloca la vasija sobre un estante. Entonces, se da cuenta de que existe un riesgo biológico para ese complejo genético y se preocupa por la seguridad y la pureza del complejo; ¿será amenazado por el riesgo biológico? Sin embargo, no se ha advertido que hay un gran agujero en el fondo de la vasija y el complejo genético se derrama; de pronto, ya no hay más complejo genético: se ha producido la extinción, la vasija está vacía.

Después de haber observado las poblaciones de teocintle en México en los últimos 35 años, puedo decirles con seguridad que, con pocas excepciones,

esas poblaciones no existirán dentro de 35 años. Cualquier cosa que decidamos acerca de la bioseguridad tendrá un efecto marginal en las poblaciones actuales de teocintle, a menos que vaya acompañada de un plan de manejo para detener el desplazamiento del hábitat de las poblaciones que sobreviven en la actualidad.

## El teocintle en México

En los sistemas biológicos se produce la autorreplicación y la autorregulación, y sabemos, gracias a los sitios arqueológicos, que el teocintle ha existido en muchos lugares de México por lo menos durante dos mil años. Sin embargo, en las últimas décadas se han dado rápidos cambios en el uso de la tierra y el desarrollo económico del sector rural. La “mejora” que tiene el efecto individual más importante en cuanto a empujar al teocintle hacia la extinción es el alambre de púas. Es decir, el uso más intensivo de la tierra con el pastoreo. Hace 35 años se podía caminar 30 km en algunos lugares y no se veía un solo cerco de alambre de púas; había cercas de piedra, pero ningún poste ni alambrado. Había poco ganado, muchas milpas y teocintle. Ahora, uno camina 100 ó 200 m y hay una cerca, ganado vacuno o, peor, cabras, y nada de teocintle. Básicamente, el teocintle no tiene ningún mecanismo de protección contra los animales que pastan (Wilkes, 1988).

Lo que se ha vuelto evidente es que, sin una política de conservación para proteger al teocintle, las cuestiones de biotecnología son un punto muerto. El problema político es el establecer medidas adecuadas para proteger *in situ* a las poblaciones sobrevivientes

y, al mismo tiempo, esforzarse por aumentar los rendimientos del maíz mediante mejores sistemas de labranza, mejores fertilizantes, uso adecuado de plaguicidas, semillas y también la biotecnología: todo el paquete que acompaña al uso más intensivo de la tierra. La mejor parte de este dilema es que hay incentivos económicos por parte de la industria biotecnológica y aspectos políticos que promueven la conservación *in situ*. México tiene la oportunidad de ponerse a la cabeza de los países del mundo, si decide ser una de las primeras naciones en resolver el problema de la evaluación de los riesgos, la bioseguridad y en equilibrar el desarrollo rural con la conservación. En México se tienen: (1) los conocimientos científicos, (2) los parientes silvestres que hibridan con el cultivo y (3) un rápido ritmo de desarrollo rural; todos los factores necesarios para enfrentar el dilema y llevar a cabo un estudio de caso para la comunidad mundial. México ya ha encabezado al mundo con el establecimiento de la reserva nacional, la primera de su tipo, para la conservación *in situ* del único teocintle perenne diploide silvestre (*Zea diploperennis*) en la Sierra de Manantlán, en Jalisco (Benz, 1988). Esta reserva de la biósfera protege al teocintle endémico, recientemente descubierto, y a una extensa área que contiene el bosque montañoso subtropical más septentrional que queda en el hemisferio. La Reserva de la Biósfera de la Sierra de Manantlán fue creada por decreto presidencial en 1987 e incorporada en la red internacional de Reservas de la Biósfera de la UNESCO-MAB en 1988. El reto es continuar con otros sitios que son el hábitat del teocintle.

Hace 35 años, cuando comencé mi tesis sobre el teocintle, la literatura botánica era fragmentaria y sólo E. Hernández Xolocotzi, de la Escuela Nacional de Agricultura, Chapingo, conocía la distribución geográfica y la biología de campo del teocintle. El único sitio definido era el de Chalco, donde se encontraba una población sobreviviente de teocintle bien establecida. En esa época, el mejor mapa de la

distribución del teocintle se encontraba en la obra de Wellhausen *et al.* (1952). Posteriormente, me enteré de que el mapa se basaba en un informe preparado por Hernández Xolocotzi y C. L. Gilly, de la Universidad Estatal de Iowa. La copia original presentada a E. J. Wellhausen, de la Fundación Rockefeller en México (predecesora del CIMMYT), constituyó la base de la versión en español de las Razas del Maíz en México, publicada en 1951. La versión en español en esencia era idéntica a la inglesa, excepto por la sección sobre el teocintle, que era más completa y extensa. Por desgracia, tanto el informe original como la copia de Hernández Xolocotzi se perdieron y, por consiguiente, nuestro conocimiento del teocintle era en 1960 fragmentario o basado en la literatura más antigua de comienzos de siglo. En contraste, ahora sabemos de más de 100 sitios de poblaciones, algunos de tan sólo unas cuantas hectáreas y aislados por varios cientos de kilómetros de la siguiente población más cercana. En la actualidad, la distribución del teocintle se conoce mejor que la de cualquier otro pariente silvestre de un cereal importante como el trigo, el arroz o la cebada.

## Historia natural del teocintle

Tanto el teocintle como el maíz son únicos entre las gramíneas porque tienen las flores masculinas y femeninas en lugares separados. La inflorescencia masculina se desarrolla en posición terminal en la panoja y la inflorescencia femenina en la mazorca (del maíz) o la espiga (del teocintle), que ocupan una posición lateral en la planta. La morfología favorece la contaminación efectiva mediante la polinización por conducto del viento. La semilla individual del teocintle está encerrada en un segmento duro del raquis llamado cápsula del grano, y es dispersada cuando el tejido del raquis en la vaina forma una zona de abscisión y se desarticula. Este es un carácter importante de tipo silvestre que distingue al teocintle —como planta no domesticada que se autosiembra— del maíz. Aun en las poblaciones donde se hibridan el maíz y el teocintle, las cantidades masivas de polen del

maíz cultivado no han podido diluir genéticamente al raquis desarticulante de tipo silvestre del teocintle. Se han encontrado híbridos del maíz en todas las poblaciones de teocintle conocidas en México y Guatemala (Wilkes, 1972b), pero el flujo de genes no ha alterado la fuerte presión de selección en favor de la cápsula fructífera cerrada y dura, o el raquis desarticulante que caracteriza al teocintle como planta silvestre en la flora de México. A comienzos de los años 70, George Beadle examinó unas 500,000 vainas de un número igual de plantas y no encontró una sola gluma inferior blanda; tal es la fuerza de la presión de selección en favor de los caracteres que protegen la supervivencia del teocintle.

La distribución del teocintle no es uniforme ni en la vertiente occidental de México, ni en Guatemala. Las razas existen como poblaciones semiaisladas, cada una de ellas con cierto grado de aislamiento ecogeográfico. La mayoría de las poblaciones geográficas están aisladas en el sentido espacial por la topografía irregular de altas montañas y valles profundos. Estas son las condiciones que, en teoría, favorecen el rápido cambio genético (evolución). Los ambientes de estas poblaciones geográficas no son idénticos; varían en cuanto a la extensión del ciclo de crecimiento, la disponibilidad de agua y la intensidad de la luz solar (incluyendo la luz ultravioleta). De esta forma, el teocintle anual ha producido razas fisiológicamente diferentes, cada una de las cuales ha adquirido un limitado patrón morfológico y ecológico de nudos cromosómicos y diferenciación genética (Wilkes, 1967; 1977).

## La distribución del teocintle

Las poblaciones de teocintle existentes en la naturaleza se limitan a dos regiones. Una es la vertiente occidental de México y América Central, en la zona subtropical de temporada seca, con lluvias estivales, que se encuentra a una altitud de entre 800 (a veces 500) y 1,800 m sobre el nivel del mar, y la

segunda es la de la Mesa Central de México (1,650-2,000 m sobre el nivel del mar), también con lluvias estivales. La población de teocintle en el Valle de México (2,200-2,450 m sobre el nivel del mar) y sus extensiones en Puebla y el Valle de Toluca son una anomalía. La vegetación está constituida por matorrales espinosos deciduos o bosques. El ciclo de crecimiento desde junio hasta octubre (de agosto a junio en Huehuetenango, Guatemala, a menos de 30 km de la frontera mexicana en Chiapas) comienza con las lluvias de verano y, para agosto/septiembre (noviembre/diciembre en Huehuetenango) ha llegado a la etapa media de floración. La época de floración de la mayoría de las poblaciones de teocintle es paralela a la de las razas indígenas locales de maíz. La anomalía más difícil de resolver son las poblaciones de teocintle en Amatlán, Morelos, y Malinalco, Estado de México. Ambos sitios están situados donde una vez estaban los antiguos jardines botánicos de los aztecas. Ambas poblaciones abarcan cuanto más unas pocas hectáreas. ¿Se trata de reliquias de los jardines aztecas? ¿Fue introducido el teocintle en el Valle de México a partir del jardín botánico azteca de Xochimilco, sólo para escapar a través del valle hasta Chalco? Yo pensaba que era ridículo explorar estas cuestiones pero, con el descubrimiento de poblaciones muy aisladas en Amatlán y Malinalco, he llegado a pensar nuevamente en esa posibilidad.

El teocintle, una planta silvestre muy variable, tiene grupos anuales y perennes. Los anuales que producen semilla, todos ellos diploides ( $2n = 20$ ) se encuentran en ocho grupos de población geográficamente aislados, seis en México y dos en Guatemala. Algunas de las poblaciones son pequeñas; la más pequeña ocupa menos de 1 km<sup>2</sup>, mientras que la más grande abarca miles de kilómetros cuadrados. Hay dos teocintles perennes; ambos producen rizomas y existen sólo en hábitats restringidos en el estado de Jalisco en México. Uno es el diploide perenne (*Zea diploperennis*), recientemente descubierto, y el otro es el perenne tetraploide (*Zea perennis*), reconocido desde hace

mucho tiempo. Los teocintles anuales son todos diploides e, históricamente, la designación binomial ha sido *Zea mexicana*, aunque recientemente algunos investigadores han dividido este grupo en varias especies y subespecies (Iltis y Doebley, 1980; 1984).

Aquí he evitado conscientemente emplear términos taxonómicos (razas o especies y subespecies) para los diversos grupos del teocintle anual. Todavía no es evidente para mí que esas distinciones latinas aporten claridad. En cambio, en este trabajo se hará referencia a las poblaciones que juntas incluyen todos los grupos taxonómicos, con denominación asignada, del teocintle anual. Si se quieren establecer diferencias entre los teocintles anuales, lo más adecuado es separar la población del sur de Guatemala (raza Guatemala o *Zea luxurians*) de todos los teocintles mexicanos y del teocintle del norte de Guatemala en el departamento de Huehuetenango (Doebley *et al.*, 1987). Esta población de la raza Guatemala en Jutiapa, Jalapa y Chiquimula, es la más parecida a *Tripsacum* y, posiblemente, la más primitiva de todos los teocintles desde el punto de vista taxonómico (Wilkes, 1972b). La semilla es alargada (trapezoidal y no triangular) y las flores masculinas en la panoja son distintas de las de todas las otras poblaciones de teocintles anuales. Los cromosomas se caracterizan por los nudos terminales, una característica que no se encuentra en el maíz. La planta tiene tendencia a ramificarse en el tallo principal desde la base hacia arriba (un carácter semejante al de *Tripsacum*), mientras que todos los otros teocintles anuales se ramifican de la punta hacia abajo. Además, ésta es la única raza de teocintle que muestra una tendencia al perennialismo. También, cuando se cruza con el maíz, este teocintle del sur de Guatemala retiene en la F<sub>1</sub> más caracteres del teocintle, como las espiguillas individuales, que las otras poblaciones anuales. La población muestra, también, una tasa de fecundidad más baja en el polen de las F<sub>1</sub> cuando se efectúa el intercrucamiento entre todas las poblaciones anuales. Evidentemente, el teocintle de Jutiapa es el más diferente de todos los teocintles anuales, pero esto no significa necesariamente que sea

ancestral. Desde el punto de vista morfológico, se asemeja más a los teocintles perenes que a las formas anuales.

La distribución del teocintle a lo largo de la vertiente occidental de México y Guatemala es paralela a la de las antiguas civilizaciones mexicanas de la mesa central y los mayas. Por tanto, sabemos que el teocintle ha sido simpátrico con las milpas por miles de años. Aun hoy, el hábitat de teocintle se encuentra en algunas de las mejores tierras agrícolas del país. En los estados mexicanos de Jalisco, Guanajuato y Michoacán, la planta crece principalmente a lo largo de las cercas de piedra que bordean las milpas, no como una maleza que invade los campos sino como un raro sobreviviente, desplazado de la tierra, que hace su última parada en lo que resta de la estrecha franja de suelo no labrado. En algunos lugares, como Chalco, el teocintle ha invadido con éxito las milpas como una “imitación” del maíz cultivado. Allí el teocintle y el maíz son tan similares en apariencia, que los agricultores no pueden distinguir fácilmente a uno del otro en las etapas tempranas de crecimiento, por lo que no arrancan el teocintle de sus milpas a comienzos del ciclo de cultivo.

Muchas de estas milpas se usan para pastorear el ganado lechero y las cubiertas endurecidas de la semilla del teocintle pasan por el tracto digestivo del ganado sin ser digeridas, por lo que tienen oportunidad de germinar. Desde Chalco, este teocintle mimético del maíz de altitudes elevadas ha viajado en los camiones que transportan estiércol fuera del Valle de México, para establecerse en Toluca y Puebla. La población más grande —considerada como silvestre y preferida por los biólogos moleculares como forma ancestral del maíz— es la que se presenta sobre cientos de kilómetros cuadrados en las montañas entre los 800 y los 1,650 m sobre el nivel del mar, alrededor del río Balsas, principalmente en el estado de Guerrero pero también extendiéndose en Michoacán y Jalisco (500 m sobre el nivel del mar).

## El mejor lugar para los experimentos sobre el flujo de genes

En varios sitios de la Mesa Central de México, el teocintle ha desaparecido en épocas recientes a causa del uso más intensivo de la tierra y el pastoreo. Los lugares donde abundaba el teocintle alrededor de las milpas son ahora campos de fresas. En las zonas más secas, el sorgo ha sustituido al maíz y al teocintle, que al hacerse más visible en estos campos, no persiste durante mucho tiempo. En general, la distribución de la planta se está contrayendo y algunas subpoblaciones vulnerables se acercan a la extinción, si bien ninguna está amenazada por la eliminación inmediata. Las poblaciones de teocintle de la Mesa Central se han vuelto las más fragmentadas y, en mi opinión, son las mejores para realizar experimentos sobre el flujo de genes por dos razones:

1. No hay ninguna población silvestre grande que actúe como reservorio y, como las poblaciones están aisladas en el espacio, se podría controlar el daño si se nos fuera de las manos el intercambio genético.
2. Sobre la base de mis observaciones al mapear cada planta en el campo y seguir la frecuencia y la posición de los híbridos  $F_1$  en el año siguiente, puedo generalizar con confianza que, cuando el teocintle está presente con una frecuencia baja, hay más contaminación con el maíz como progenitor del polen. Cuando se duplica la abundancia del teocintle, se reduce la frecuencia absoluta y relativa de los híbridos  $F_1$ .

Escogería un sitio en algún lugar a lo largo de los límites estatales entre Michoacán, Guanajuato y Jalisco. Esta también me parece una región donde las variedades elite/híbridos/materiales transgénicos de maíz tendrán su primer contacto con las plantas silvestres de teocintle. Desde hace mucho, por siglos,

en esta región el teocintle ha coexistido con el maíz sin “diluirlo” genéticamente. No creo que los experimentos de flujo de genes con materiales transgénicos representen un riesgo biológico serio (Wilkes, 1972a).

## Evaluación de la amenaza de extinción

Si bien es difícil definir con mucha precisión el peligro de extinción, la Comisión para la Supervivencia de las Especies de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza y sus Recursos (IUCN), con sede en Suiza, ha establecido algunos criterios útiles. Seis categorías propuestas por la IUCN —extinta, en peligro, vulnerable, rara, indeterminada y estable— pueden ser aplicadas con facilidad al teocintle (Cuadro 1, Figura 1). Algunas poblaciones (la de Honduras, que era una extensión del teocintle de Jutiapa) ya están extintas y por lo menos una (la del sur de Guatemala) está en peligro y no se puede esperar que persista mucho más tiempo en la naturaleza sin algunos sitios de protección *in situ*. Sin embargo, la mayoría de los teocintles, con excepción de la población del Balsas, pueden ser considerados vulnerables; es decir, están disminuyendo a tal grado que, si no se hace nada, estarán en peligro. Las poblaciones consideradas raras —las de Nabogame (Chihuahua), Durango y Oaxaca— son tan escasas que podrían ser eliminadas con facilidad, pero en la actualidad no están bajo una amenaza inmediata y son más o menos estables. Las poblaciones indeterminadas (las de la Mesa Central y de Huehuetenango son una sombra de su tamaño anterior, pero parecen persistir) son aquellas cuyo estado es incierto. A causa de la amenaza representada por el rápido cambio en el uso de la tierra, la población de Huehuetenango está avanzando de indeterminada a población en peligro. Aquí, en el Valle de México, todavía se cultiva ampliamente el maíz desde Amecameca hasta Chalco y el teocintle no está amenazado, pero eso podría cambiar a medida

**Cuadro 1. Poblaciones de teocintle en México y Guatemala****(● = rara, se presenta en un solo lugar; ■ = indeterminada; ▲ = estable; ○ = en peligro).**

Población y su estado	Nombre común	Lugar	Extensión	Hábitat
<b>Nabogame ●</b>	maicillo.	Valle Tarahumara en la Sierra Madre del estado de Chihuahua, unos 16 km al noroeste de Guadalupe y Calvo.	No más de 30 km <sup>2</sup> en el fondo del valle.	A lo largo de los márgenes de las milpas y en los bosquecillos de sauces que bordean las corrientes de agua.
<b>Durango ●</b>	maicillo.	Valle de Guadiana, a 10 km de Durango, en el estado de Durango.	No más de 20 km <sup>2</sup> .	Limitado a las tierras no cultivadas a lo largo de los canales de riego.
<b>Mesa Central ■</b>	maíz de coyote.	Poblaciones aisladas en toda la meseta central en Jalisco, Michoacán y Guanajuato. La población continua más grande está en la región al norte del lago Cuitzeo.	En la antigüedad fue una población continua que abarcaba miles de kilómetros cuadrados, pero ahora existe en áreas aisladas dispersas, que rara vez tienen más de 10 km <sup>2</sup>	Se presenta en los campos cultivados y a lo largo de éstos o en las áreas cercadas protegidas del pastoreo
<b>Chalco ■</b>	acece o acece (inconveniente o desagradable).	Valle de México desde Amecameca hasta Xochimilco, Chalco y Los Reyes. Poblaciones aisladas alrededor de Texcoco.	La población principal se concentra en un área de 300 km <sup>2</sup> alrededor de Chalco. La semilla ha viajado a Toluca y Puebla en el estiércol del ganado lechero.	Se le encuentra casi exclusivamente en las milpas como una "imitación" del maíz, pero también como maleza a lo largo de los caminos.
<b>Balsas ▲</b>	maíz de huiscatote (correcaminos).  maíz de pájaro, atzintzintle.	Los cerros que rodean la cuenca del río Balsas. La población está distribuida en forma discontinua, con una parte situada al sur de Chilpancingo, en el estado de Guerrero, y la otra en el borde septentrional de la cuenca, extendiéndose en Michoacán y la costa de Jalisco.	La población al sur de Chilpancingo abarca cientos de kilómetros cuadrados, mientras que la otra se extiende por miles de kilómetros cuadrados en los estados de Guerrero, Michoacán y México.	A veces se le observa en las milpas, pero en general se le encuentra en las densas laderas, especialmente a lo largo de las barrancas u otras áreas donde hay escurrimiento de la lluvia. Coloniza con éxito las milpas en barbecho. Los alambrados de púas y el ganado están cambiando este hábitat.
<b>Oaxaca ●</b>	Cocoxie (correcaminos)	San Francisco de Honduras, a 5 km de San Pedro Juchatengo, en la Sierra Madre del sur de Oaxaca.	No más de 20 km <sup>2</sup> , aunque pueden existir áreas aisladas externas. Es preciso explorar más el estado de Oaxaca para detectar poblaciones.	Crece en las laderas y en las milpas que rodean al pueblo.
<b>Huehuetenango ○</b>	milpa de rayo, salic.	Cerros y valles del departamento de Huehuetenango alrededor del pueblo guatemalteco de San Antonio Huista, cerca de la frontera con México.	Probablemente no más de 300 km <sup>2</sup> .	Se le encuentra a lo largo de los senderos, en los campos y en las laderas con milpas en barbecho. Las cercas de alambre de púas y el ganado han cambiado radicalmente este hábitat.
<b>Guatemala ○</b>	milpa silvestre, teocintle.	Distribuido en forma discontinua en el sureste de Guatemala en los cerros y valles de Jutiapa, Jalapa y Chiquimula.	Una vez estuvo distribuido en forma continua y abarcaba 500 ó más km <sup>2</sup> , pero ahora la distribución es fragmentada y la población más grande abarca cuanto más 1 km <sup>2</sup> .	Se presenta en pequeños sitios aislados a lo largo de los campos o en otras áreas protegidas del pastoreo.

Tamaño de las poblaciones: Balsas &gt; Mesa Central &gt; Chalco &gt; Nabogame &gt; Durango = Oaxaca.

Necesidad más importante: Más exploración en Oaxaca y Chiapas.

que la mancha urbana avance sobre las tierras de cultivo y, por consiguiente, la categoría de indeterminada es apropiada. En Los Reyes, el teocintle está ahora limitado a unas cuantas hectáreas. Alrededor de Texcoco y Chiconcuac, se introdujo el teocintle hace unos 20 años y se ha establecido una población considerable (Cuadro 1, Figura 1).

Las principales razones de la contracción de las poblaciones de teocintle son: (1) la intensificación del uso de la tierra (que se relaciona con la construcción de caminos y la introducción del alambre de púas para cercar los campos), (2) el “sumergimiento” genético de las pequeñas poblaciones aisladas que son contaminadas por el maíz y que, por consiguiente, pierden su capacidad de dispersar la semilla, y (3) la producción de un cultivo comercial, como el sorgo de baja altura, en lugar del maíz, que hace visible la presencia del teocintle. Según las estimaciones más optimistas, la distribución actual del teocintle llega a alrededor de la mitad de lo que era en 1900, como lo evidencian los especímenes de los herbarios y las

descripciones por escrito (Harshberger, 1893; Collins, 1921). La desaparición de las poblaciones restantes se acelerará a medida que se construyan más caminos y se intensifique el uso de la tierra. Hace apenas 20 años, una tercera parte de las poblaciones de teocintle estaba lejos de los caminos y otra tercera parte era accesible sólo por caminos de terracería, difíciles de recorrer. Ahora, todas las poblaciones de teocintle son accesibles por caminos que se pueden transitar fácilmente en automóvil. Es interesante destacar que el factor decisivo para la supervivencia del teocintle en una región, es la siembra difundida del maíz en la mayor parte del territorio. Otras formas de uso de la tierra son mucho más devastadoras para la presencia continua del teocintle.

## Evaluación personal y agradecimiento

En primer lugar, deseo expresar mi gratitud al pueblo mexicano que me ha proporcionado hospitalidad e información en el transcurso de los años. Me gustaría agradecer especialmente al ya fallecido Profesor E. Hernández Xolocotzi, de Chapingo, y al Sr. Guerrero, de Teloloapan. En segundo lugar, quiero reconocer la energía y la capacidad de la comunidad científica mexicana, que ha crecido en los últimos 35 años. Por último, creo que debemos admitir que México se está desarrollando con mucha rapidez, por lo que el teocintle se convertirá en una especie en peligro de extinción si no se avanza alguna planificación para la conservación *in situ*. Se nos presenta la oportunidad



**Figura 1. Actualización del estado de las poblaciones de teocintle en México y Guatemala.**

de equilibrar la evaluación de riesgos en bioseguridad y las implicaciones políticas de las medidas de conservación. Evidentemente, debemos tener en cuenta que en toda discusión de las políticas, estamos influyendo en los hábitat locales y, cuando se está rehaciendo el mundo en términos humanos para hacerlo más productivo, no pensamos en las plantas silvestres. Nos concentramos en aumentar el rendimiento de los cultivos. La semilla del teocintle silvestre que está en el banco de germoplasma es la que conserva la pureza del teocintle tal como existe en la actualidad. Como consecuencia de este simple hecho, es preciso evaluar total y cuidadosamente la integridad y la calidad del almacenamiento de la semilla de teocintle que está ahora en los bancos de germoplasma.

Una vez que se haya completado el respaldo de los bancos de germoplasma, el segundo paso será establecer experimentos para medir en condiciones de campo el flujo de genes del maíz al teocintle. Hace 30 años no existían los instrumentos para hacer esto y la medida aceptable era la presencia de híbridos  $F_1$  y pro genie de retrocruzamiento. Hoy éstas son, cuando más, respuestas parciales. No sabemos cuál fue la eficacia de esos híbridos  $F_1$  y la pro genie posterior en el traslado de genes entre los grupos taxonómicos del maíz y el teocintle. En mi opinión, el mejor lugar para hacer estos experimentos de “liberar y medir” es en las poblaciones aisladas de teocintle de la Mesa Central, porque: (1) pueden ser monitoreados con facilidad, (2) no existe una gran población silvestre que pueda actuar como un reservorio de genes, (3) la frecuencia del teocintle en estos campos es baja en comparación con la abundancia del polen de maíz; estas son las tres condiciones para la intro gresión de genes. Si se piensa que los estudios en poblaciones silvestres son demasiado arriesgados, se podría efectuar la simulación en aislamiento genético de otras poblaciones de teocintle en, digamos, Hermosillo o Ciudad Obregón, en el estado de Sonora, al noroeste de México. El trabajo preliminar que hice años atrás

indica que una frecuencia del teocintle inferior al 1% es más eficaz para la producción de híbridos  $F_1$ . Cuando la frecuencia del teocintle se acerca al 5%, la cantidad absoluta de híbridos  $F_1$  disminuye, lo que indica una saturación de polen de teocintle y una ventaja preferencial para el teocintle y la polinización por éste.

Un segundo aspecto de los experimentos es que no sabemos prácticamente nada acerca de los procesos de selección de la semilla de maíz que realizan los agricultores de las regiones donde coexisten el maíz, el teocintle y sus híbridos. Comprendo que la preocupación es por el flujo de genes hacia el teocintle, pero, con muy poco esfuerzo adicional, habría la oportunidad de medir el movimiento de genes del teocintle y/o las variedades élite de maíz (transgénicas, híbridas e, incluso, de otra raza indígena) hacia el material criollo que tienen los agricultores. De esta forma, se podría determinar la eficacia de la selección de mazorcas para semilla por el agricultor y el fomento o el bloqueo de esa intro gresión. Nuevamente, pienso que la Mesa Central es un excelente lugar para estos estudios.

Los problemas de bioseguridad que plantean los materiales transgénicos para los parientes silvestres del maíz, tanto los grupos del teocintle como los miembros del género *Tripsacum*, son reales y deben ser considerados cuidadosamente. Mi propia opinión es que el rápido desarrollo rural y los cambios en la política sobre el uso de la tierra representan un riesgo mayor para la supervivencia de las poblaciones de teocintle. Creo que se pueden efectuar sin peligro estudios de evaluación del riesgo y, lo que es más importante, esos estudios pueden llevar a un mejor conocimiento del flujo de genes entre un cultivo y su pariente silvestre simpátrico. Hay una gran oportunidad de hacer investigaciones fundamentales. Existen los instrumentos y ya se cuenta con la capacidad aquí en México; el próximo paso es la voluntad política de comenzar.

## Literatura citada

- Benz, B.F. 1988. *In situ* conservation of the genus *Zea* in the Sierra de Manantlán Biosphere Reserve. En: CIMMYT. *Recent Advances in the Conservation and Utilization of Genetic Resources: Proceedings of the Global Maize Germplasm Workshop*, pp. 59-69. Mexico, D.F. CIMMYT.
- Collins, G.N. 1921. Teosinte in Mexico. *J Hered* 12:339-350.
- Doebley J.F., M.M. Goodman, and C.W. Stuber. 1987. Patterns of variation between maize and Mexican annual teosinte. *Econ Bot* 41:234-246.
- Harshberger, J. 1893. Maize, a botanical and economic study. Contributions from the Botanical Laboratory, University of Pennsylvania 1:75-202.
- Iltis, H.H. and J.F. Doebley. 1980. Taxonomy of *Zea* (Gramineae) II. Subspecific categories in the *Zea mays* complex and a generic synopsis. *Am J Bot* 67:994-1004.
- Iltis, H.H. and J.F. Doebley. 1984. *Zea* — Biosystematical odyssey. In W.F. Grant (ed.), *Plant Systematics*, pp. 587-616. Duluth: Academic Press.
- Kato Y., T.A. 1976. Cytological studies of maize (*Zea mays* L.) and *teosinte* (*Zea mexicana* Schrader Kunt.) in relation to their origin and evolution. University of Massachusetts Experiment Station Bulletin no. 635, Amherst.
- Kato Y., T.A. 1984. Chromosome morphology and the origin of maize and its races. En: M. Hecht, B. Wallace, and G.T. Prance (eds.). *Evolutionary Biology*, pp. 219-253. New York: Plenum Publishers.
- Sánchez G. J.J., and L. Ordaz S. 1987. Teosinte in Mexico. Systematic and Ecogeographic Studies on Crop Genepools. Rome: IBPGR.
- Wellhausen, E.J., L.M. Roberts, and E. Hernández X. in collaboration with P.C. Mangelsdorf. 1952. Races of Maize in Mexico: their origin. characteristics and distribution. Cambridge, Bussey Institution, Harvard University.
- Wilkes, H.G. 1967. Teosinte: The Closest Relative of Maize. Cambridge: Bussey Institution of Harvard University.
- Wilkes, H.G. 1972a. Genetic erosion in teosinte. *Plant Genetic Resources Newsletter* 28:3-10 FAO-Rome.
- Wilkes, H.G. 1972b. Maize and its wild relatives. *Science* 177:1071-1077.
- Wilkes, H.G. 1977. Hybridization of maize and teosinte in Mexico and Guatemala and the improvement of maize. *Econ Bot* 31:254-293.
- Wilkes, H.G. 1985. Teosinte: The closest relative of maize revisited. *Maydica* 30:209-223.
- Wilkes, H.G. 1988. Teosinte and the other wild relatives of maize. En: *Recent Advances in the Conservation and Utilization of Genetic Resources: Proceedings of the Global Maize Germplasm Workshop*, pp. 70-80. Mexico D.F. CIMMYT.

# Distribución del teocintle en México

J. Jesús Sánchez y José Ariel Ruiz Corral

Campo Experimental Centro de Jalisco

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias (INIFAP)

## Introducción

El Territorio de la República Mexicana es una de las regiones del mundo con mayor riqueza florística y se ha señalado como centro de origen y diversidad de plantas cultivadas que han adquirido gran importancia en el ámbito mundial. De esos cultivos originarios y/o domesticados en Mesoamérica, el maíz, el frijol, el chile, la calabaza y el tomate son los más importantes en la dieta del pueblo mexicano; en forma conjunta se cultivan en México aproximadamente 10 millones de hectáreas de tales especies en una gran diversidad de sistemas de producción.

México está ubicado en tercer lugar a nivel mundial en diversidad biológica; posee el 10% de la flora del mundo, aproximadamente 30000 especies de plantas, de las cuales 21600 —agrupadas en 2500 géneros— son fanerógamas (Rzedowski, 1993). Una de las características más importantes de la diversidad florística de México es que el 12% de los géneros y 50-60% de todas sus especies son endémicas; es decir, su distribución está restringida al territorio nacional; este es el caso de algunas especies de teocintle (*Zea* spp.).

Los parientes silvestres del maíz llamados colectivamente teocintles están representados por especies anuales y perennes diploides ( $2n = 20$ ) y por una especie tetraploide ( $2n = 40$ ); se encuentran dentro de las áreas tropicales y subtropicales de México, Guatemala, Honduras y Nicaragua, ocurriendo como poblaciones aisladas de tamaños variables que ocupan desde menos de uno hasta varios cientos de  $\text{km}^2$ .

Al teocintle, considerado el pariente más cercano del maíz, algunos autores le han atribuido una gran

influencia en el incremento de la variabilidad y la formación de las principales razas de maíz en México (Wellhausen *et al.*, 1951; Mangelsdorf y Reeves, 1959; Mangelsdorf, 1974; 1986; Wilkes, 1979), debido entre otras razones al sistema de reproducción que permite la hibridación natural en ambos sentidos, lo cual hace posible un constante flujo de genes (Wilkes, 1970; 1977a; Benz *et al.*, 1990). Por su parte, otros investigadores han indicado que al parecer no hay introgresión (Kato, 1984) entre el maíz y el teocintle en ambos sentidos, o es muy reducida (Doebley, 1990a; 1990b) y no se sabe con precisión hasta que punto el teocintle ha participado en la formación de las razas de maíz en México.

Desde hace algunos años, hay preocupación por los posibles cambios en la estructura genética básica de las especies silvestres relacionadas con cultivos, por la posibilidad de que los nuevos cultivo puedan convertirse en malezas, y por otros tipos de impactos ambientales asociados con la siembra comercial de variedades de plantas obtenidas mediante métodos de ingeniería genética (variedades transgénicas).

Con base en evidencias moleculares, Doebley (1990b) concluyó que ocurre flujo genético entre maíz y teocintle en ambas direcciones y que a pesar que dicho flujo es reducido, existe la posibilidad de que los genes incorporados al maíz por medio de ingeniería genética puedan ser transferidos al teocintle y bajo ciertas circunstancias, difundirse a través de las diferentes poblaciones de teocintle. Las condiciones indicadas por Doebley (1990b) son: (1) que el gene transferido no interfiera con características tales como los mecanismos de dispersión de las semillas, las cuales le permiten al teocintle sobrevivir como planta

silvestre; (2) que el gene transferido le confiera al teocintle alguna ventaja que lo haga competitivamente superior a las poblaciones naturales sin dicho gene; y (3) que las variedades de maíz obtenidas por métodos de ingeniería genética sean sembradas en las áreas de distribución natural del teocintle.

Este trabajo describe la distribución geográfica de las poblaciones de teocintle en México y se dan los resultados de investigación para determinar los requerimientos climáticos de las diferentes poblaciones de teocintle y las áreas potenciales de distribución, con base en un sistema de información geográfica. Se considera que la información presentada en este documento será de gran utilidad en la planeación de estudios relacionados con las pruebas de campo o autorización de siembras comerciales de materiales transgénicos de maíz.

## **Distribución del teocintle**

La distribución del teocintle en México se extiende desde la porción sur de la región cultural conocida como Aridamérica, en la Sierra Madre Occidental del estado de Chihuahua y Valle de Guadiana en Durango, hasta la frontera con Guatemala incluyendo prácticamente toda la porción occidental de Mesoamérica. En las diferentes regiones de México existen poblaciones de teocintle con características morfológicas y genéticas que permiten su diferenciación. Un aspecto que cabe resaltar en relación con la distribución geográfica de teocintle, es que las poblaciones no tienen una distribución uniforme, sino que hay condiciones específicas de clima, suelo e influencia humana, donde es posible localizarlas.

Entre los informes más antiguos sobre la existencia de teocintle, se encuentra el de Carl Lumholtz (1902), quien en su libro México Desconocido (Unknown Mexico, Vol. I, página 429), escribió:

“En los alrededores de Nabogame crece una planta llamada maicillo o maizmillo; es más pequeña que una planta ordinaria de maíz y sus mazorcas son muy pequeñas. Crece entre el maíz y tiene que ser eliminada ya que daña a las plantas buenas. Varios mexicanos me aseguraron que, cuando se cultiva, las mazorcas se desarrollan; después de tres años, las mazorcas crecen considerablemente más y pueden ser usadas como alimento. Un hombre en Cerro Prieto cultiva esta clase únicamente; otros lo mezclan con el maíz común. Me dijeron que gente de la Tierra Caliente viene a recolectarlo tomando un almud para mezclarlo con su semilla de maíz. Se me dijo que la combinación da resultados espléndidos en suelo fértil. ¿Será ésta la planta silvestre original de la cual el maíz común ha sido cultivado? Si fuera correcta la información que recibí acerca de esto en Mexquitic, Jalisco, entonces dicha pregunta debe contestarse negativamente, ya que mi informante ahí, señaló que la planta es trianual. En esa localidad, la planta es llamada maíz de pájaro y se cultiva como sustituto del maíz común o para elaborar atole. Los indios Huicholes también lo conocen y lo cultivan; ellos lo llaman tats”.

La información de Nabogame ha sido confirmada por diversos recolectores; sin embargo, en lo que respecta a Cerro Prieto, localidad situada en el noroeste del estado de Durango, no se han realizado exploraciones recientes, mientras que en la zona huichol, a pesar de haberse realizado diversas exploraciones, no se han encontrado indicios de la existencia de teocintle.

También a principios del presente siglo, López y Parra (1908) señaló que el teocintle existía en varios lugares de la República Mexicana; entre otros, en la parte oriental de Chalco, en el estado de México, creciendo en las faldas del volcán Popocatepetl; en gran parte del estado de Chiapas; en las inmediaciones de la ciudad de Guadalajara, Jalisco en un lugar conocido como “Barranca Chica”; en Moroleón dentro del estado de Guanajuato y en algunos lugares del estado de Sonora.

Después de varias expediciones sin éxito a los alrededores de Durango, Collins (1921) encontró teocintle creciendo a lo largo de canales de riego en el Rancho Alcalde (hoy Francisco Villa), 20 km al este de la Ciudad de Durango, en el estado de Durango. Esta población no fue redescubierta sino hasta principios de la década de 1980 (Doebly, 1983), pese a los esfuerzos por localizarla durante la década de 1960 (Wilkes, comunicación personal). Adicionalmente, Collins (1921) localizó teocintle en los alrededores de Chalco, en el estado de México, dentro de campos de maíz y avena; en el estado de Jalisco encontró el teocintle perenne en el mismo sitio mencionado por Hitchcock en 1910, es decir 1.6 km al sur de la estación del tren de Zapotlán (hoy Ciudad Guzmán).

Bukasov (1926), con la finalidad de conocer las regiones en que se encontraba el teocintle en México, visitó diversas regiones y concluyó que en el norte del país había poco, y que de acuerdo con la literatura disponible, existía más en Durango, San Luis Potosí, Valle de México, Guanajuato, Jalisco, Hidalgo y Chiapas.

Wellhausen *et al.* (1951) presentaron un mapa de la distribución del teocintle en México pero desafortunadamente no hay texto alguno que acompañe al mapa ni se señalan en forma precisa las localidades de ocurrencia del teocintle.

Wilkes (1967) citó que Collins, Kempton y Stadelman en 1937 visitaron la Sierra Madre Occidental en Chihuahua y localizaron teocintle en Cerro Prieto y Nabogame, localidades mencionadas por Lumholtz (1902). Wilkes viajó a través de México y encontró teocintle en la mayoría de localidades en las que éste había sido previamente mencionado o recolectado. Adicionalmente a sus colecciones, preparó un mapa (Wilkes, 1967; 1977b y 1985) en que se muestran los sitios de ocurrencia de teocintle desde el sureste de Honduras hasta el norte de México. Para algunos de los puntos no se menciona la localidad.

Como resultado de sus exploraciones de 1977 a 1980, Guzmán (1982) presentó la distribución del teocintle en el estado de Jalisco, en la cual se señalan cinco localidades para *Zea diploperennis*, cuatro para *Zea perennis* y siete para teocintles anuales.

Wilkes (1986) comunicó el redescubrimiento de teocintle en el estado de Oaxaca en dos localidades: (a) Loxicha, también conocida como San Agustín Loxicha —debido a la muestra de herbario del botánico danés Fredrick Liebmann en 1842—, aquí la población de teocintle es pequeña, de menos de 2 km<sup>2</sup> y fue recolectada en las cercanías de Loxicha a una altitud de 1200 m, y (b) en las cercanías de San Pedro Juchatengo a una altitud de 1150 m, la cual fue descubierta en 1985 por José M. López del Colegio de Postgraduados (Hernández X., 1987).

Desafortunadamente, en la mayoría de los informes antiguos disponibles en la literatura, no se mencionan localidades específicas ni se presentan mapas que permitan ubicar las poblaciones de teocintle. En los casos de los estados de Chiapas, Sonora, Hidalgo, San Luis Potosí y la “Barranca Chica”, en las inmediaciones de la ciudad de Guadalajara, en el estado de Jalisco, a pesar de los esfuerzos de diferentes colectores, hasta el momento no se ha tenido éxito ni se cuenta con información que permita localizar poblaciones de teocintle en dichos estados.

En la actualidad, los mapas más completos sobre la distribución del teocintle en México son los publicados por Kato (1976) y Sánchez y Ordaz (1987).

## **Descripción de las áreas de distribución de teocintle**

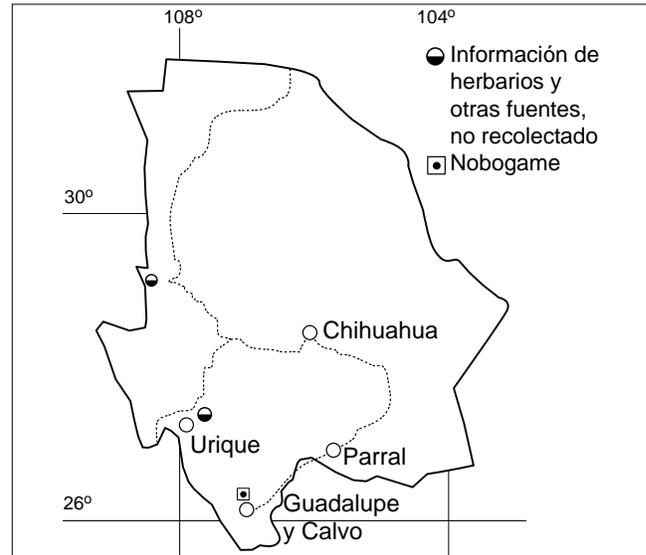
La descripción que aquí se presenta se basa en gran parte en el trabajo de Sánchez y Ordaz (1987) y en exploraciones adicionales llevadas a cabo por Sánchez y Aguilar de 1987 a 1991, Wilkes y Sánchez (1993), Wilkes y Taba (1993) y Sánchez y Chuela (1995). En el

Cuadro 1 se consigna la información sobre localización geográfica de las poblaciones conocidas mediante muestras de semilla y muestras de herbario; se incluye además la localización geográfica de poblaciones ubicadas con base en información etnobotánica. La Figura 1 muestra la ubicación geográfica de las poblaciones a nivel nacional; con base en dicha figura, las áreas de distribución de teocintle en México pueden dividirse de la siguiente manera:

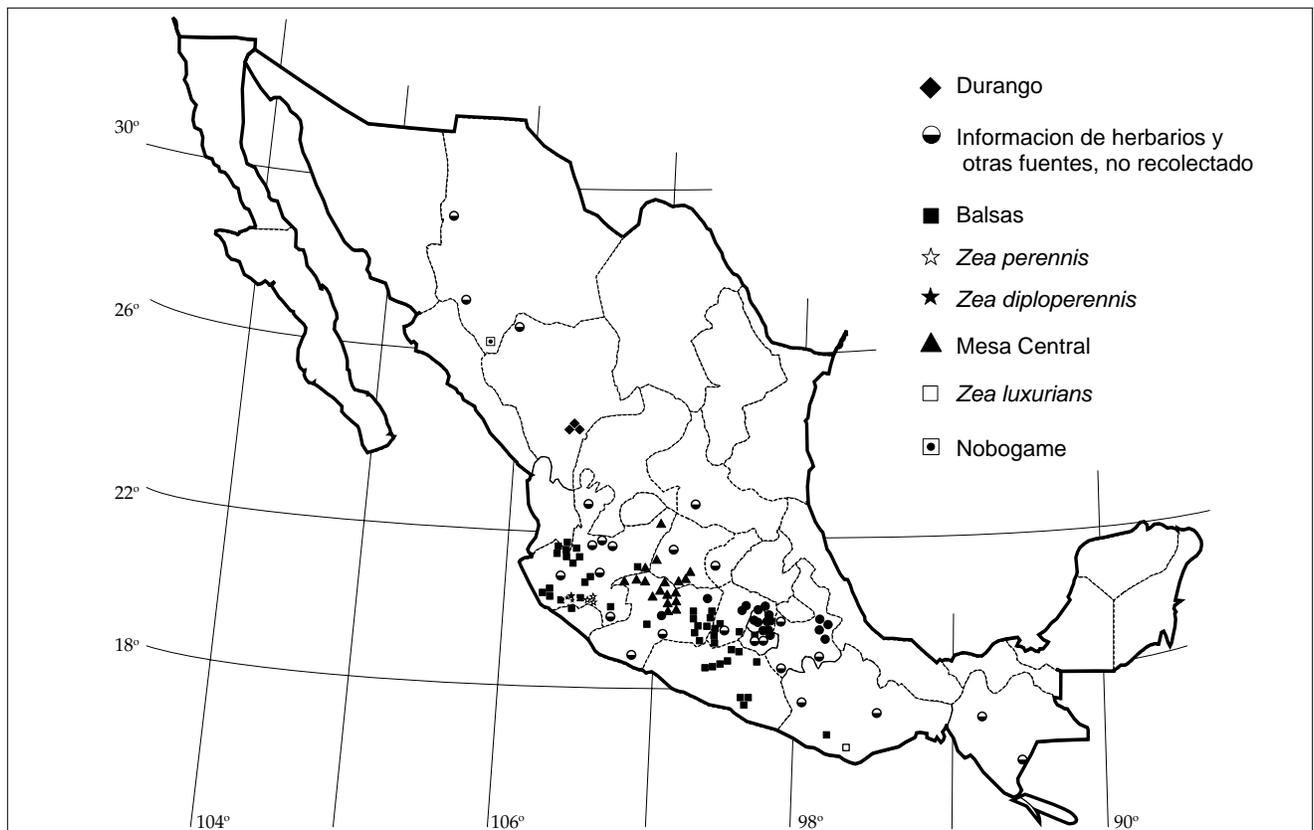
**Valle de Nabogame, Chihuahua**

Este es un valle pequeño de aproximadamente 50 km<sup>2</sup> situado a 26° 15' de latitud norte (LN) y 106° 58' de longitud oeste (LO), en la Sierra Madre Occidental, aproximadamente a 16 km al noroeste de Guadalupe y Calvo, en el sur del estado de Chihuahua (Figura 2)

y a una altitud media de 1850 m. El clima es templado (Cw) (García, 1973). Este valle se encuentra rodeado de laderas boscosas cubiertas de pinos y de pequeños valles, con altitudes promedio de 2250 m. La mayor parte del valle de Nabogame se cultiva con maíz y



**Figura 2. Distribución de teocintle en el Estado de Chihuahua.**



**Figura 1. Distribución de teocintle en México.**

**Cuadro 1. Información sobre localización geográfica de las poblaciones de teocintle conocidas para México.**

Lugar	Municipio	Estado	Alt.	Latitud	Longitud	Raza o Especie	Clave de Colector(es)
Nabogame	Guadalupe y Calvo	Chih.	1850	26° 14'	106° 58'	Nobogame	K-1-78, JYL-83
Urique	Urique	Chih.	600	27° 13'	107° 51'	?	NC
Chiapas		Chis.					Wilkes (com. pers.)
El Sauz	Minatitlán	Col.	1100	19° 27'	104° 2'	Balsas	MAS-15
San Antonio	Minatitlán	Col.	850	19° 26'	104° 1'	Balsas	MAS-14
Sn. Antonio Tecomitl	Milpa Alta	D.F.	2400	19° 13'	99° 0'	Chalco	K-68-1
San Mateo	Xochimilco	D.F.	2300	19° 14'	99° 7'	Chalco	K-68-2
Xochimilco	Xochimilco	D.F.	2200	19° 15'	99° 5'	Chalco	K-68-3
Puente Dalila-Hda. de Dolores	Durango	Dgo.	1950	24° 1'	104° 32'	Mesa Central	JYL-87
Puente Gavilán	Durango	Dgo.	1950	24° 1'	104° 29'	Mesa Central	JYL-86
Francisco Villa (3 km E)	Durango	Dgo.	1900	24° 11'	104° 24'	Mesa Central	Doebley 625, JYL-88
Amates Grandes (km 40 Telol.-Arcelia)	Acapetlahuaya	Gro.	1150	18° 23'	100° 4'	Balsas	K-67-11, JYL-121El Crustel
(Km 44-47 Telol.-Arcelia)	Acapetlahuaya	Gro.	970	18° 20'	100° 7'	Balsas	K-67-12, JYW-306
Villa de Ayala	Acapetlahuaya	Gro.	1500	18° 22'	100° 2'	Balsas	W-47750, JYL-120
Km 55 Teloloapan-Arcelia	Arcelia	Gro.	1050	18° 21'	100° 11'	Balsas	W-71-3
Cerro de Los Chivos	Arcelia	Gro.	814	18° 17'	100° 13'	Balsas	Wilkes 67
Achotla	Arcelia	Gro.	500	18° 17'	100° 14'	Balsas	H (Wilkes 67)
Km 75 Teloloapan-Arcelia	Arcelia	Gro.	1600	18° 15'	100° 21'	Balsas	W-71-2
La Rosa 20 km de Ayutla	Ayutla	Gro.				Balsas	NC (R. Bye com. pers.)
Chilapa	Chilapa	Gro.				Balsas	Wilkes (com. pers.)
Palo Blanco	Chilpancingo	Gro.	1260	17° 24'	99° 28'	Balsas	W-47259, K-76-16, JYL-109
Mazatlán	Chilpancingo	Gro.	1350	17° 26'	99° 28'	Balsas	W-47335, K-67-5,6,JYL-106
Ocotito	Chilpancingo	Gro.	900	17° 15'	99° 32'	Balsas	W-47276, 47279
San Miguel Palmas	Huitzucó	Gro.	1250	18° 14'	99° 12'	Balsas	NC
Paso Morelos	Huitzucó	Gro.	1225	18° 17'	99° 11'	Balsas	JYW-305
Ranchos Nuevos (km 25 Telol.-Arcelia)	Ixcapuzalco	Gro.	1620	18° 24'	99° 58'	Balsas	W-47711, JYL-119, K-67-10
Zacatlancillo	Ixcapuzalco	Gro.	1720	18° 23'	99° 58'	Balsas	W-47744, JYW-307
Km 7 Ixcateopan-Pachivia	Ixcateopan	Gro.	1500	18° 28'	99° 48'	Balsas	JYL-112
Los Sabinos	Ixcateopan	Gro.	1200	18° 25'	99° 44'	Balsas	W-53912
Km 48 Iguala-Teloloapan	Ixcateopan	Gro.	1560	18° 22'	99° 46'	Balsas	K-67-7
Ixcateopan	Ixcateopan	Gro.	1920	18° 30'	99° 48'	Balsas	W-53923, C-8-78, JYL-111
Ahuacatitlán	Ixcateopan	Gro.	1640	18° 20'	99° 48'	Balsas	C-9-78
Ahuehuetzingo	Mochitlán	Gro.	1180	17° 25'	99° 26'	Balsas	C-6-78
El Salado	Mochitlán	Gro.	1150	17° 24'	99° 24'	Balsas	K-76-14, MAS-20
Acahuzotla	Mochitlán	Gro.	1100	17° 21'	99° 29'	Balsas	W-47269, JYL-107
El Rincón	Mochitlán	Gro.	820	17° 17'	99° 30'	Balsas	K-69-14, C-7-78
Taxco	Taxco	Gro.	1755	18° 33'	99° 36'	Balsas	W-49094, 49092
Km 52 Iguala-Teloloapan	Teloloapan	Gro.	1570	18° 21'	99° 47'	Balsas	K-67-8
Rincon del Sauce (3 km E Teloloapan)	Teloloapan	Gro.	1650	18° 20'	99° 50'	Balsas	W-47692, 47732
Km 55 Iguala-Teloloapan	Teloloapan	Gro.	1500	18° 19'	99° 48'	Balsas	W-71-4, JYL-113
Alcholoa (km 11 Teloloapan-Arcelia)	Teloloapan	Gro.	1450	18° 24'	99° 54'	Balsas	K-67-9, JYL-117
Manuel Doblado	M. Doblado	Gto.	1710	20° 45'	101° 50'	Mesa Central	W-46452, K-69-1, 2, JYL-55
Piñicuaró	Moroleón	Gto.	2150	20° 3'	101° 14'	Mesa Central	K-69-11
Moroleón-Piñicuaró	Moroleón	Gto.	2100	20° 5'	101° 13'	Mesa Central	K-69-10
Silao	Silao	Gto.	1780	20° 57'	101° 26'	?	H (Wilkes 67)
Uriangato	Uriangato	Gto.	1925	20° 10'	101° 5'	Mesa Central	W-45037, K-69-7, JYW-309
Uriangato (Cerro 8 km E)	Uriangato	Gto.	1850	20° 10'	101° 8'	Mesa Central	W-45121
Yuriria	Yuriria	Gto.	1740	20° 13'	101° 8'	Mesa Central	NC
Quexpan-Las Raíces	Ameca	Jal.	1200	20° 36'	104° 13'	Balsas	JMYA-275
San Jerónimo	Ayotlán	Jal.	1550	20° 24'	102° 20'	Balsas ?	JYL-2,3,4,5
La Huertita	C. Castillo	Jal.	1000	19° 34'	104° 23'	Balsas	Guzmán s.n., MAS-11
Los Depósitos	Ciudad Guzmán	Jal.	1650	19° 40'	103° 35'	<i>Z. perennis</i>	Guzmán s.n.
San Miguel Cuzalapa	Cuautitlán	Jal.	2250	19° 32'	104° 13'	<i>Z. diploperennis</i>	K-2-78
Las Joyas	Cuautitlán	Jal.	1800	19° 35'	104° 17'	<i>Z. diploperennis</i>	Guzmán-1120
Manantlán	Cuautitlán	Jal.	1350	19° 37'	104° 12'	<i>Z. diploperennis</i>	Ittis et al-1190, JYL-68
La Ventana	Cuautitlán	Jal.	2250	19° 32'	104° 13'	<i>Z. diploperennis</i>	Guzmán-777, MAS-13
10 km SW Degollado	Degollado	Jal.	1650	20° 23'	102° 11'	Mesa Central ?	Puga-11066
Ejutla	Ejutla	Jal.	1140	19° 54'	104° 10'	Balsas	NC
San Lorenzo	Ejutla	Jal.	1000	19° 57'	103° 59'	Balsas	NC
El Coyotomate	Ejutla	Jal.	1300	19° 58'	104° 4'	Balsas	JSG-205
El Palmar (Cerro La Mesa)	Ejutla	Jal.	980	19° 57'	104° 4'	Balsas	Puga-11065, JYL-73
Los Naranjos de Enmedio	Ejutla	Jal.	960	19° 55'	104° 5'	Balsas	JSG-331
Oconahua 3 km NE	Etzatlán	Jal.	1370	20° 43'	104° 7'	Balsas	JSG-335
7 km NE Zacatongo	Guachinango	Jal.	1000	20° 50'	104° 34'	Balsas	JYL-45
Km 10 Guachinango-La Ciénega	Guachinango	Jal.	1420	20° 37'	104° 24'	Balsas	JMYA-301
Km 10 Las Garzas-Guachinango	Guachinango	Jal.	1000	20° 46'	104° 25'	Balsas	NC

K = T.A. Kato Y., MAS = M. Aguilar S., C = T. Cervantes S., W = G.H. Wilkes, JYL = J.J. Sánchez G. y L. Ordaz S., JSG = J.J. Sánchez G., JYW = J.J. Sánchez G. y G.H. Wilkes, JMYA = J.J. Sánchez G., M. Aguilar S. y A. Arregui E., JSG y MCH = J.J. Sánchez G. y M. Chuela B., JSG, JMHC, K, FCG = J.J. Sánchez G., J.M. Hernández C., T.A. Kato Y. y F. Castillo G., H = Muestra de herbario, IB (UNAM) = Instituto de Biología, UNAM, NC = Muestra aún no recolectada.

**Cuadro 1. Información sobre localización geográfica de las poblaciones de teocintle conocidas para México.**

Lugar	Municipio	Estado	Alt.	Latitud	Longitud	Raza o Especie	Clave de Colector(es)
El Aguacate	Guachinango	Jal.	1500	20° 28'	104° 18'	Balsas	NC
La Ciénega de los Ahumada	Guachinango	Jal.	1320	20° 41'	104° 30'	Balsas	JMYA-298
Llano Grande	Guachinango	Jal.	1100	20° 46'	104° 31'	Balsas	K-84
El Tablillo	Guachinango	Jal.	1090	20° 48'	104° 33'	Balsas	JYL-43
El Saucito	Jilotlán	Jal.	1460	19° 18'	103° 5'	Balsas	Guzmán y Anaya-32, JYL-142
Agua Caliente	Juchitlán	Jal.	1000	19° 59'	104° 3'	Balsas	Cobia-Olmedo s.n., JSG-203
La Estancia	Lagos de Moreno	Jal.	1920	21° 30'	101° 51'	Mesa Central	Guzmán y Pérez-110
Zacatongo	Mascota	Jal.	620	20° 48'	104° 35'	Balsas	JYL-40
La Roblera	Tecalitlán	Jal.	1400	19° 10'	103° 6'	Balsas ?	NC
El Rodeo-La Lima	Tolimán	Jal.	1460	19° 33'	104° 3'	Balsas	Iltis <i>et al.</i> 28888, JSG-200
Jirosto	V. Purificación	Jal.	500	19° 45'	104° 46'	Balsas	Iltis & Nee 1480, JSG-202
El Chino (Talpitita)	V. Purificación	Jal.	500	19° 40'	104° 45'	Balsas	C-21-78
Pabelo	V. Purificación	Jal.	660	19° 53'	104° 38'	Balsas	NC
Los Cimientos	V. Purificación	Jal.	520	19° 42'	104° 49'	Balsas	JYL-74
La Tinaja	Venustiano Carranza	Jal.	2100	19° 39'	103° 35'	<i>Z. perennis</i>	JSG y LOS-63
Piedra Ancha	Venustiano Carranza	Jal.	2100	19° 38'	103° 35'	<i>Z. perennis</i>	Guzmán s.n., JYL-15
La Mesa	Venustiano Carranza	Jal.	2130	19° 38'	103° 34'	<i>Z. perennis</i>	C-20-78, JYL-17
El Aguacate	Amatepec	Méx.	1100	18° 42'	100° 19'	Balsas	C-13-78, JYL-168
Palmar Chico	Amatepec	Méx.	940	18° 41'	100° 24'	Balsas	C-12-78, JYL-167
Salitre de Palmarillo	Amatepec	Méx.	960	18° 43'	100° 18'	Balsas	NC
Pueblo Nuevo-El Sitio	Amatepec	Méx.	1100	18° 45'	100° 19'	Balsas	JYL-169
7 km S Palmar Chico	Amatepec	Méx.	800	18° 39'	100° 24'	Balsas	JYL-165
2 km N Amecameca	Amecameca	Méx.	2390	19° 8'	98° 46'	Chalco	C-3-78, JYL-94
Soyatzingo	Amecameca	Méx.	2450	19° 5'	98° 47'	Chalco	JYL-96
San Pedro Nexapa	Amecameca	Méx.	2505	19° 5'	98° 45'	Chalco	C-4-78, JYL-95
Km 3 Chiconcuac-Lechería	Atenco	Méx.	2250	19° 34'	98° 55'	Chalco	JYL-1
Km 6 Chalco-Amecameca	Chalco	Méx.	2200	19° 15'	98° 51'	Chalco	C-1-78
Km 9 Chalco-Miraflores	Chalco	Méx.	2200	19° 15'	98° 51'	Chalco	K-71-1
Chalco	Chalco	Méx.	2220	19° 16'	98° 55'	Chalco	K-68-4, JYL-91
Miraflores	Chalco	Méx.	2200	19° 13'	98° 48'	Chalco	K-65-1,2
Crucero Chalco-Miraflores	Chalco	Méx.	2200	19° 15'	98° 51'	Chalco	JYL-92
Chapultepec	Chapultepec	Méx.	2540	19° 12'	99° 37'	Chalco	JSG, JMHC, K, FCG-319
Zoquiapan	Ixtapaluca	Méx.	2270	19° 19'	98° 51'	Chalco	K-68-6
San Francisco Acuautila	Ixtapaluca	Méx.	2300	19° 21'	98° 53'	Chalco	K-69-12, JYL-102
Juchitepec	Juchitepec	Méx.	2490	19° 6'	98° 53'	Chalco	K-67-2
Km 5.5 Los Reyes-Textoco	Los Reyes	Méx.	2200	19° 24'	98° 57'	Chalco	Doebly-482
Los Reyes	Los Reyes	Méx.	2200	19° 22'	98° 59'	Chalco	Wilkes 67, JYW-304
Malinalco	Malinalco	Méx.	1850	18° 57'	99° 30'	Balsas	JYL-159
Mexicaltzingo	Mexicaltzingo	Méx.	2600	19° 13'	99° 35'	Chalco	Taba 93
El Pedregal Guadalupe Victoria	Ocoyoacac	Méx.	2500	19° 16'	99° 28'	Chalco	JSG, JMHC, K, FCG-318
Km 4 Zuluapan-V. de Bravo	Otzoloapan	Méx.	1320	19° 10'	100° 19'	Balsas	JYL-178
Km 8 Zuluapan-Tingambato	Otzoloapan	Méx.	1260	19° 9'	100° 23'	Balsas	JYL-176
Agua Zarca (km 7 Zacazonapan-Otzoloapan)	Otzoloapan	Méx.	1400	19° 6'	100° 18'	Balsas	JSG-185
Ozumba de Alzate	Ozumba	Méx.	2340	19° 3'	98° 49'	Chalco	K-66-1, JYL-97
Sto. Tomás de los Plátanos	Sto. Tomás	Méx.	1380	19° 11'	100° 17'	Balsas	JSG-184
Km 12 Tejupilco-Bejucos	Tejupilco	Méx.	1410	18° 55'	100° 13'	Balsas	NC
La Cabecera (km 8 Tejupilco-Bejucos)	Tejupilco	Méx.	1320	18° 54'	100° 12'	Balsas	JYL-161
Las Anonas	Tejupilco	Méx.	980	18° 48'	100° 23'	Balsas	JSG-186
Las Juntas (km 16 Tejupilco-Bejucos)	Tejupilco	Méx.	1200	18° 53'	100° 15'	Balsas	JYL-163
El Puerto (km 18 Luvianos-Zacazonapan)	Tejupilco	Méx.	1180	18° 59'	100° 19'	Balsas	JYL-170
Temamatla	Temamatla	Méx.	2400	19° 11'	98° 53'	Chalco	K-67-1, JYL-105
Temascaltepec	Temascaltepec	Méx.	1720	19° 3'	100° 2'	?	H (Wilkes 67)
Tenango del Aire	Tenango	Méx.	2400	19° 9'	98° 52'	Chalco	JYL-101
Tepetlixpa	Tepetlixpa	Méx.	2320	19° 1'	98° 50'	Chalco	K-67-3,4, JYL-99
Boyeros	Textoco	Méx.	2200	19° 30'	98° 55'	Chalco	Doebly-479, JYL-135
Km 52 México-Amecameca	Tlalmanalco	Méx.	2490	19° 10'	98° 47'	Chalco	JYL-93
Tlalmanalco	Tlalmanalco	Méx.	2400	19° 12'	98° 48'	Chalco	K-68-5, C-2-78
Colorines	V. de Bravo	Méx.	1620	19° 10'	100° 12'	Balsas	JYL-172
Km 2 Zacazonapan-Otzoloapan	Zacazonapan	Méx.	1580	19° 5'	100° 18'	Balsas	JYL-171
El Guayabo	?	Mich.	1000			Balsas	W-48091
B. Juárez (km 24 Zitácuaro-Tuzantla)	Benito Juárez	Mich.	1300	19° 18'	100° 25'	Balsas	JYL-124
Laureles (km 26 Zitácuaro-Tuzantla)	Benito Juárez	Mich.	1100	19° 17'	100° 25'	Balsas	JYL-126
Km 37-43 Zitácuaro-Tuzantla	Benito Juárez	Mich.	850	19° 16'	100° 28'	Balsas	K-67-25, JYW-310
2 km W Cd. Hidalgo	Cd. Hidalgo	Mich.	2040	19° 42'	100° 34'	Chalco ?	W-48897, JYL-128
Chucándiro	Chucándiro	Mich.	1800	19° 54'	101° 20'	Mesa Central	W-48715, K-69-5, JYL-53

K = T.A. Kato Y., MAS = M. Aguilar S., C = T. Cervantes S., W = G.H. Wilkes, JYL = J.J. Sánchez G. y L. Ordaz S., JSG = J.J. Sánchez G., JYW = J.J. Sánchez G. y G.H. Wilkes, JMYA = J.J. Sánchez G., M. Aguilar S. y A. Arregui E., JSG y MCH = J.J. Sánchez G. y M. Chuela B., JSG, JMHC, K, FCG = J.J. Sánchez G., J.M. Hernández C., T.A. Kato Y. y F. Castillo G., H = Muestra de herbario, IB (UNAM) = Instituto de Biología, UNAM, NC = Muestra aún no recolectada.

**Cuadro 1. Información sobre localización geográfica de las poblaciones de teocintle conocidas para México.**

Lugar	Municipio	Estado	Alt.	Latitud	Longitud	Raza o Especie	Clave de Colector(es)
Km 1.5 Churintzio-La Noria	Churintzio	Mich.	1790	20° 10'	102° 5'	Mesa Central	JYC-342
Km 8-9 Churintzio-Purepero	Churintzio	Mich.	1900	20° 2'	102° 7'	Mesa Central	NC
Km 3.5 Churintzio-La Noria	Churintzio	Mich.	1760	20° 12'	102° 6'	Mesa Central	JYC-341
Cerro Churintzio	Churintzio	Mich.	1850	20° 9'	102° 5'	Mesa Central	W-45320, K-69-3, JYL-48
5-7 km SW Cojumatlán	Cojumatlán	Mich.	1700	20° 6'	102° 53'	Mesa Central ?	JYL-75
Copándaro	Copándaro	Mich.	1800	19° 53'	101° 13'	Mesa Central	W-48699, 48703, 48723, C-18-78
2 km S Cuamio	Cuitzeo	Mich.	1810	20° 1'	101° 8'	Mesa Central	W-45132, JYL-54
Cuitzeo	Cuitzeo	Mich.	1840	19° 58'	101° 8'	Mesa Central	W-48731
Hda. La Estancia	Huandacareo	Mich.	1830	19° 59'	101° 17'	Mesa Central	JYL-51, 52
La Tiringucha (km 18 Huetamo-Morelia)	Huetamo	Mich.	670	18° 43'	100° 58'	Balsas	JYL-123
Cerro Huetamo	Huetamo	Mich.	900	18° 37'	100° 53'	Balsas	W-47890
Quenchendio (km 24 Huetamo-Morelia)	Huetamo	Mich.	740	18° 49'	100° 58'	Balsas	K-67-13, JSG-187
Huetamo	Huetamo	Mich.	580	18° 32'	100° 54'	Balsas	W-47942
Eréndira	Huetamo	Mich.	710	18° 50'	100° 56'	Balsas	C-17-78
El Salitre	Ixtlán	Mich.	1530	20° 10'	102° 23'	Mesa Central	JYL-134
El Salitre 1-2 km SE	Ixtlán	Mich.	1530	20° 11'	102° 22'	Mesa Central	JSG y MCH-328
Quinceo	Morelia	Mich.	2000	19° 45'	101° 14'	Mesa Central	Iltis & Cochrane 276
Morelia	Morelia	Mich.	1920	19° 44'	101° 11'	Mesa Central	JYL-132
Poturo	N. Churumuco	Mich.	520	18° 49'	101° 37'	Balsas ?	NC
Penjamillo de Degollado	Penjamillo	Mich.	1700	20° 6'	101° 56'	Mesa Central	JYW-308
Km 6 Puruándiro-Villachuato	Puruándiro	Mich.	1840	20° 5'	101° 33'	Mesa Central	JYL-49
Pastor Ortíz	Puruándiro	Mich.	1800	20° 18'	101° 36'	Mesa Central	NC
Puruándiro	Puruándiro	Mich.	1890	20° 5'	101° 31'	Mesa Central	K-69-8, 9
Km 2 Puruándiro-Las Tortugas	Puruándiro	Mich.	1880	20° 7'	101° 27'	Mesa Central	JYL-50
Taretan	Taretan	Mich.	1100	19° 20'	101° 55'	Balsas	NC
Las Colonias	Taretan	Mich.	1180	19° 23'	101° 55'	Balsas	JSG-196
Tiquicheo	Tiquicheo	Mich.	420	18° 54'	100° 44'	Balsas	W-48041
Riva Palacio (El Guajolote)	Tiquicheo	Mich.	600	18° 59'	100° 45'	Balsas	NC
La Ceibita (km 50 Huetamo-Morelia)	Tiquicheo	Mich.	660	18° 53'	100° 49'	Balsas	JSG-190
San Carlos (km 112 Huetamo-Morelia)	Tiquicheo	Mich.	1000	19° 14'	100° 47'	Balsas	K-67-15
Las Juntas (km 43 Huetamo-Morelia)	Tiquicheo	Mich.	720	18° 51'	100° 54'	Balsas	K-67-14, JSG-189
El Fresnal	Tumbiscatio	Mich.	?	18° 25'	102° 33'	Balsas ?	NC
Km 46 Zitacuaro-Tuzantla	Tuzantla	Mich.	880	19° 13'	100° 31'	Balsas	K-67-24
Km 3 Tingambato-Tuzantla	Tuzantla	Mich.	950	19° 5'	100° 28'	Balsas	K-67-22
Km 27 Tingambato-Tuzantla	Tuzantla	Mich.	1040	19° 11'	100° 33'	Balsas	K-67-23
Tzintzuntán	Tzintzuntán	Mich.	2050	19° 37'	101° 34'	Mesa Central	NC
Patambicho	Tzintzuntán	Mich.	2100	19° 37'	101° 35'	Mesa Central	G. Prior s.n.
Tzitzio	Tzitzio	Mich.	1500	19° 36'	100° 55'	Balsas	W-48096,48101, JYL-130
5 km SE Devanador	Tzitzio	Mich.	1000	19° 17'	100° 48'	Balsas	JSG-191
Km 127 Huetamo-Morelia	Tzitzio	Mich.	1120	19° 22'	100° 52'	Balsas	K-67-15, JSG-192
4 km S Paso Ancho	Tzitzio	Mich.	1100	19° 27'	100° 54'	Balsas	JSG-193
Queretanillo (km 24 Temascal-Huetamo)	Tzitzio	Mich.	1310	19° 30'	100° 55'	Balsas	W-48085, C-15-78
Chinapa (km 51 Temascal-Huetamo)	Tzitzio	Mich.	930	19° 23'	100° 54'	Balsas	C-16-78
Panindicuaro-V. Jiménez	V. Jiménez	Mich.	1950	19° 57'	101° 45'	Mesa Central	W-45461
Los Espinos	V. Jiménez	Mich.	1950	19° 54'	101° 46'	Mesa Central	W-45470
Villa Jiménez	V. Jiménez	Mich.	1900	19° 55'	101° 44'	Mesa Central	W-45447, K-69-4, MAS-18
Opoeco	Villa Escalante	Mich.	2320	19° 24'	101° 36'	Chalco ?	JSG-194
Jalapa	Zinaparo	Mich.	1840	20° 11'	102° 2'	Mesa Central	JYL-47
Cuatla	Cuatla	Mor.	1300	18° 49'	98° 57'	?	Wilkes 67
Amatlán (Ahuatenco)	Tepoztlán	Mor.	1700	18° 59'	99° 2'	Balsas	JSG-183
Yautepec	Yautepec	Mor.	1210	18° 53'	99° 4'	?	H (Wilkes 67)
Los Copales	Amatlán de Cañas	Nay.	900	20° 48'	104° 24'	Balsas	K-84, JYM-264
San Agustín Loxicha		Oax.	1200			Balsas	Wilkes-86
San Cristobal Honduras	S. Pedro Juchatepec	Oax.	1120	16° 20'	97° 2'	Balsas	JSG-197
Caltepec	Caltepec	Pue.	1900	18° 11'	97° 29'	?	IB (UNAM)
Chinantla	Chinantla	Pue.	1100	18° 12'	98° 16'	?	NC
Sta. Inés 4 km NW Cd. Serdán	Ciudad Serdán	Pue.	2600	18° 55'	97° 27'	Chalco	J. Acosta G. 93
San Martín Texmelucan	S.M. Texmelucan	Pue.	2250	19° 17'	98° 26'	?	Wilkes 67
Ejido Sta. Cruz	San Juan Atenco	Pue.	2425	19° 5'	97° 33'	Chalco	JSG, JMHC, K, FCG-311
Ejido San Antonio	San Juan Atenco	Pue.	2440	19° 4'	97° 32'	Chalco	JSG, JMHC, K, FCG-313
Km 11 San Salvador el Seco-Tlalchichuca	San Nicolás B. Aires	Pue.	2355	19° 10'	97° 33'	Chalco	JSG, JMHC, K, FCG-317
Km 3 San Salvador el Seco-Coatepec	San Salvador el Seco	Pue.	2425	19° 7'	97° 38'	Chalco	JSG, JMHC, K, FCG-316
Querétaro	Querétaro	Qro.	1820	20° 36'	100° 24'	?	H (Wilkes 67)
San Luis Potosí	S.L. Potosí	SLP	1860	22° 9'	100° 59'	?	H (Wilkes 67)

**K** = T.A. Kato Y., **MAS** = M. Aguilar S., **C** = T. Cervantes S., **W** = G.H. Wilkes, **JYC** = J.J. Sánchez G. y Margarito Chuela, **JYL** = J.J. Sánchez G. y L. Ordaz S., **JSG** = J.J. Sánchez G., **JYW** = J.J. Sánchez G. y G.H. Wilkes, **JMYA** = J.J. Sánchez G., M. Aguilar S. y A. Arregui E., **JSG y MCH** = J.J. Sánchez G. y M. Chuela B., **JSG, JMHC, K, FCG** = J.J. Sánchez G., J.M. Hernández C., T.A. Kato Y. y F. Castillo G., **H** = Muestra de herbario, **IB (UNAM)** = Instituto de Biología, UNAM, **NC** = Muestra aún no recolectada.

avena; el teocintle se encuentra creciendo entre el maíz y en las márgenes de los arroyos Nabogame, Tarahumare y Tejamanil que cruzan el valle. Como podrá observarse en la Figura 2, además de Nabogame, hay información de la existencia de dos poblaciones adicionales en el estado de Chihuahua: una en la Barranca de Urique y la otra en los límites con el estado de Sonora en las cercanías del Río Papigochic; esta última localidad aparece en la Figura 44 de Wellhausen *et al.* (1951).

### Valle de Guadiana, Durango

Este valle forma parte de la Altiplanicie Mexicana y tiene una altitud media de 1890 m, situado a 24° LN y 104° 30' LO (Figura 3). Esta porción tiene un clima de estepa (BS) con vegetación predominante de plantas xerófilas. El área del Valle de Guadiana, en los alrededores de la ciudad de Durango, se siembra en su mayor parte en condiciones de riego con cultivos como maíz, sorgo y chile. El teocintle se encuentra en forma abundante a la vera de arroyos y canales de riego en un área al este y noroeste distante entre 8 y 20 km de la ciudad de Durango en los lugares conocidos como "Hacienda de Dolores-Puente Dalila" y "Puente Gavilanes", y al noroeste en las inmediaciones de Francisco Villa (Hacienda Alcalde); este último lugar había sido recolectado por Palmer en 1896 (Doebley, 1983) y comunicado por Collins (1921). En la Figura 3 se señala un punto al noroeste del estado correspondiente a Cerro Prieto, localidad mencionada por Lumholtz (1902) y por Collins *et al.* en 1937 (citado por Wilkes, 1967).

### Occidente de México

En esta región (Figura 4) se presentan grandes contrastes en el clima, debido a la conformación variada del relieve y a la influencia de masas de agua, tanto

marítimas como lacustres. Las precipitaciones pluviales de las áreas donde se localiza el teocintle van de 500 a 1900 mm y las temperaturas medias anuales de 16 a 27 °C.

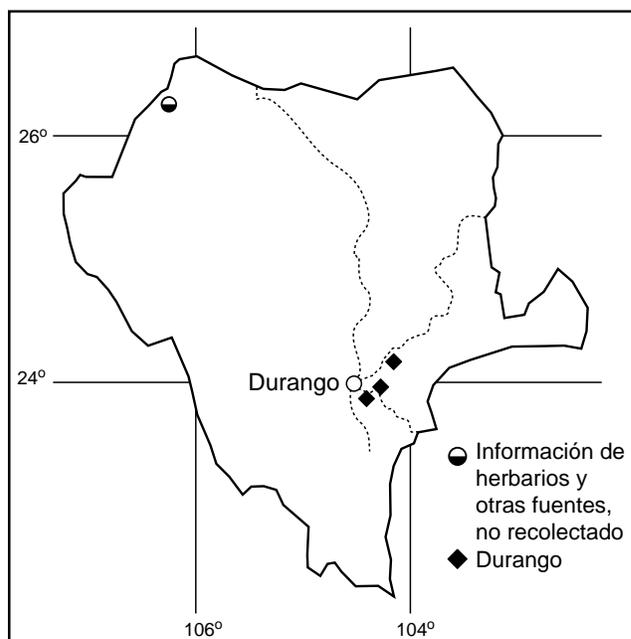


Figura 3. Distribución del teocintle en el estado de Durango.

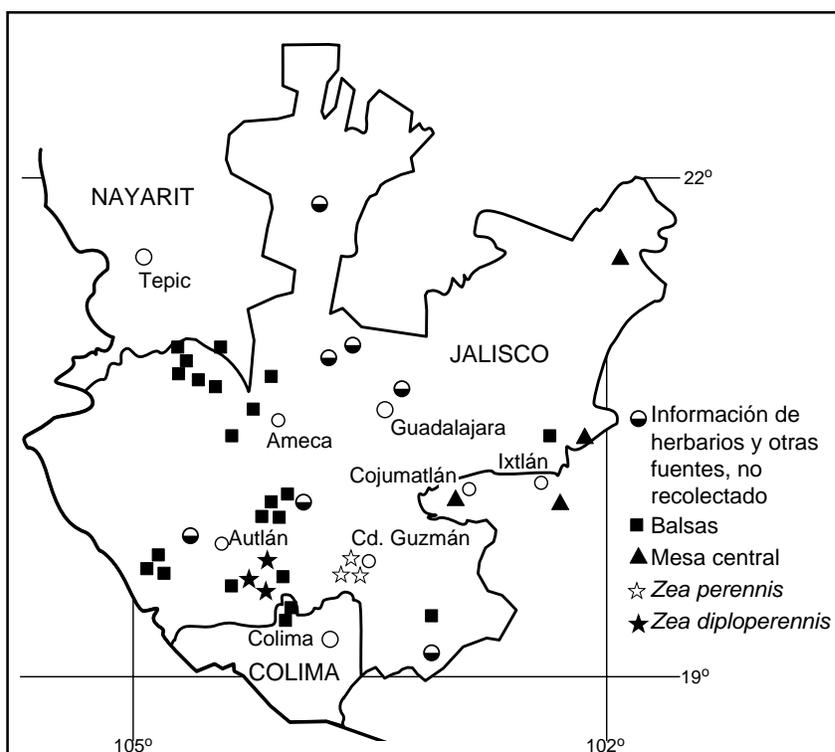


Figura 4. Distribución del teocintle en el Occidente de México.

El teocintle se encuentra en los climas templados (Cw) de la ladera norte del Nevado de Colima en donde se localiza *Zea perennis* y en la Sierra de Manantlán, en donde se encuentra *Zea diploperennis*. Los teocintles anuales se encuentran en clima semicálido tipo (A)C como en San Jerónimo, Jalisco; en climas cálidos semisecos tipo Aw<sub>0</sub> como El Palmar, Jalisco, y Amatlán de Cañas, Nayarit; y en climas cálidos subhúmedos tipo Aw<sub>2</sub> como Jirosto y La Huertita, Jalisco.

Dentro de esta región las poblaciones más importantes son:

- (i) **Costa Sur.** Hacia la costa del Pacífico se le encuentra en el Saucito, lugar cercano a Jilotlán de los Dolores, Jalisco; al extremo este de la Sierra de Manantlán en La Lima y El Rodeo, Jalisco y San Antonio-El Sauz en Colima; al noreste de Autlán en El Palmar, Naranjo de Enmedio, El Coyotomate y Aguacaliente, Jalisco; al oeste de Villa Purificación en Jirosto, Los Cimientos y El Chino.
- (ii) **Este y sureste del Lago de Chapala.** Al este del Lago de Chapala se encuentran tres localidades; Degollado y San Jerónimo en Jalisco y El Salitre en Michoacán; al sureste se encuentra una pequeña población en las cercanías de Cojumatlán, Mich.
- (iii) **Cuenca de los ríos Ameca y Atenguillo.** En la Cuenca del Río Atenguillo, al noroeste del estado, el teocintle se encuentra en Zacatongo, El Tablillo, Llano Grande, La Ciénega de los Ahumada y Guachinango en Jalisco, mientras que en la Cuenca del Río Ameca se encuentra en Oconahua y Quexpan-Las Raíces en Jalisco y Amatlán de Cañas en Nayarit.

- (iv) **Lagos de Moreno.** Esta población fue recolectada por última vez a fines de la década de 1970. En 1984 se visitó el lugar con el fin de obtener semilla para el Banco de Germoplasma de Maíz del INIFAP sin que se tuviera éxito; de acuerdo con los administradores de la Hacienda la Estancia, el teocintle fue eliminado cortando las plantas antes de que llegaran a la floración, labor que duró aproximadamente tres años.

El resto de puntos que se encuentran en la Figura 4 corresponden a información de diferentes fuentes; en ninguno de los casos se cuenta con semilla ni se ha verificado la existencia de las poblaciones.

### El Bajío

Esta área forma parte de la Altiplanicie Mexicana y está situada entre los 19 y 21° LN y de los 100 hasta los 102° LO (Figura 5), con altitudes que varían de 1500 a 2000 m, con clima templado moderadamente lluvioso y una amplitud de precipitación anual de 700 a 1000 mm. Tiene invierno seco no riguroso, temperaturas medias anuales de 16 a 22°C, y verano cálido. La

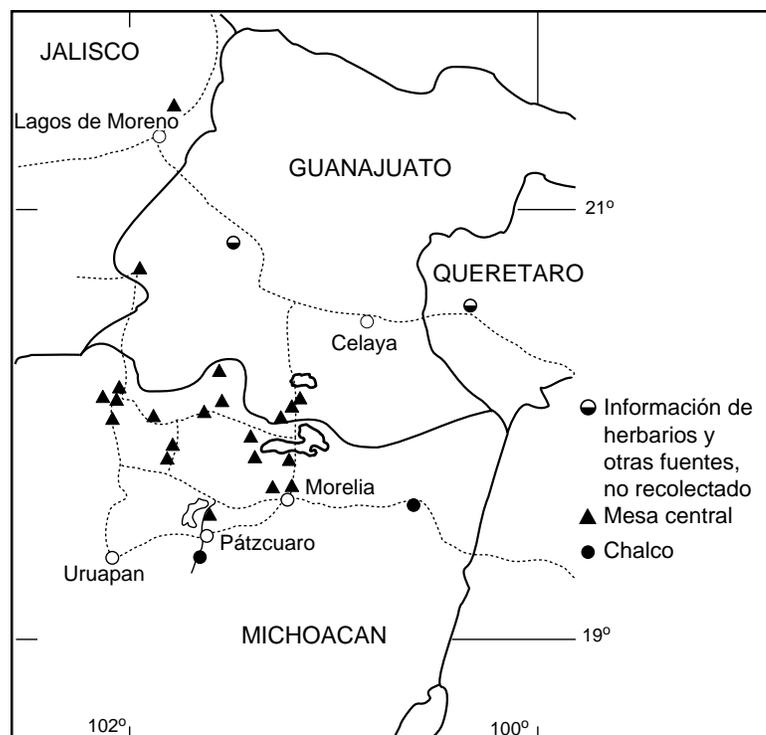


Figura 5. Distribución del teocintle en el Bajío.

clasificación climática para las diferentes áreas cae dentro de los tipos (A)C(w) y C(w). Esta región abarca principalmente porciones de los estados de Guanajuato y Michoacán y muestra numerosos valles separados por elevaciones de importancia, colocados a diversos niveles, que son en su mayoría antiguos lagos.

El teocintle se encuentra de manera predominante en los campos cultivados de maíz, y también a lo largo de cercas de piedra que bordean algunos de dichos campos. Dentro del estado de Guanajuato (Figura 6) el teocintle se localiza en dos áreas principales : (i) al noroeste en Manuel Doblado, y (ii) al sur en Yuriria, Moroleón-Uriangato y Piñicuaru. Existen dos informes adicionales de su existencia, uno en Silao, al este de Manuel Doblado y otro en Querétaro sin que se precise la localidad exacta (Wilkes, 1967).

Dentro del estado de Michoacán (Figura 7) el teocintle se localiza en regiones de clima semicálido subhúmedo tipo (A)Cw en: (i) Jalapa, Churintzio y Penjamillo de Degollado; (ii) Puruándiro y Villa Jiménez; (iii) en los alrededores del Lago de Cuitzeo en La Estancia, Chucándiro, Copándaro, Cuto del Porvenir, Cuitzeo, Morelia y Quinceo; (iv) Cojumatlán y El Salitre (cercañas de Ixtlán de los Herbores) y (v) en clima templado tipo Cw en Ciudad Hidalgo y en los alrededores del Lago de Pátzcuaro en Patambicho y Opopeo.

### Valle de México y sureste de Puebla

Esta región se ubica en la porción sur de la Altiplanicie Mexicana y está situada entre los 19 y los 20° LN y los 97 hasta 100° LO (Figura 8). La región está constituida por valles rodeados por elevadas montañas que son parte del Eje Volcánico y que forman cuencas cerradas. En esta área predomina el clima templado subhúmedo y semifrío subhúmedo, con precipitaciones anuales superiores en lo general a

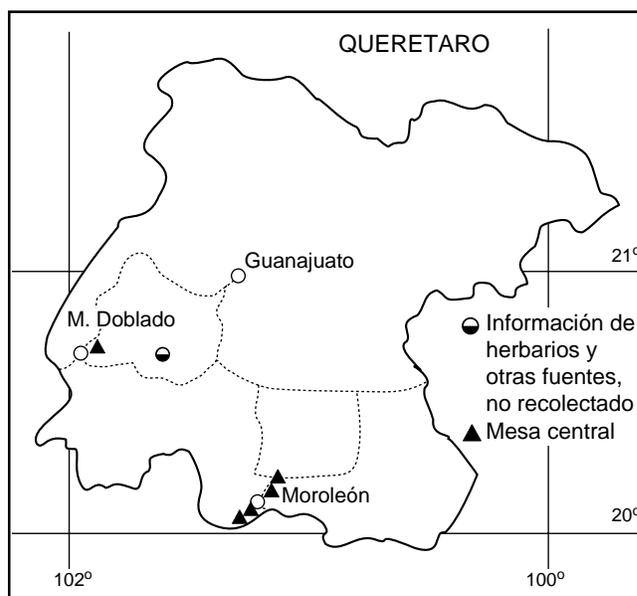


Figura 6. Distribución del teocintle en el estado de Guanajuato.

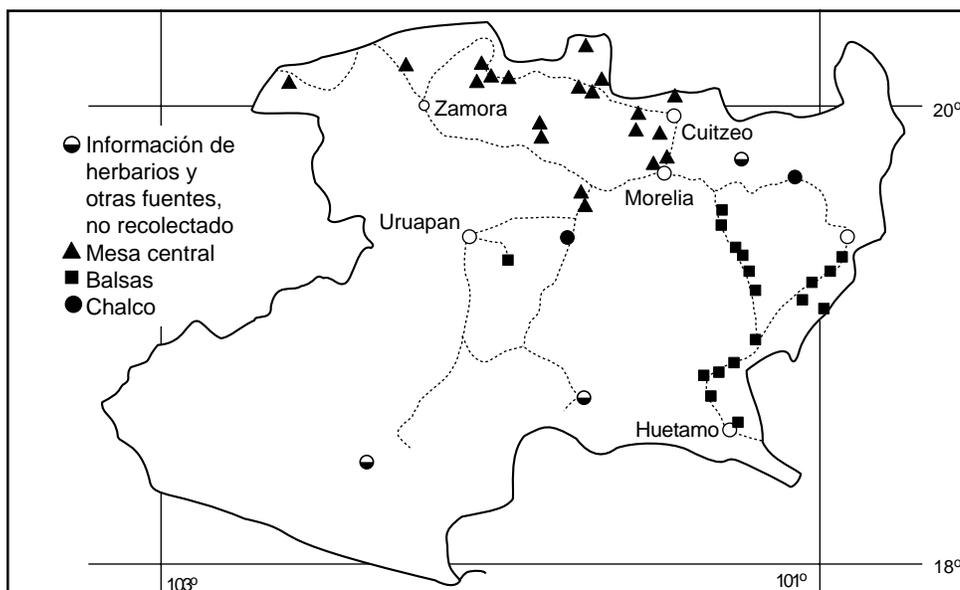


Figura 7. Distribución del teocintle en el estado de Michoacán.

los 700 mm, temperaturas medias anuales de 12 a 18 °C y una altitud que varía de los 2250 a los 2650 m. Dentro del estado de México (Figura 9), el teocintle se encuentra en lugares adyacentes a Los Reyes, Chalco, Amecameca, Tepetlixpa, Texcoco, Ocoyoacac, Chapultepec y Toluca. En el Distrito Federal se encuentra en San Mateo, San Antonio Tecomitl y Xochimilco, mientras que en el estado de Puebla es común en los alrededores de Ciudad Serdán, San Salvador el Seco, San Juan Atenco y San Nicolás de Buenos Aires (Llanos de San Andrés y Llanos de San Juan). En toda esta región, el teocintle ocurre en forma exclusiva como maleza en los campos cultivados de maíz.

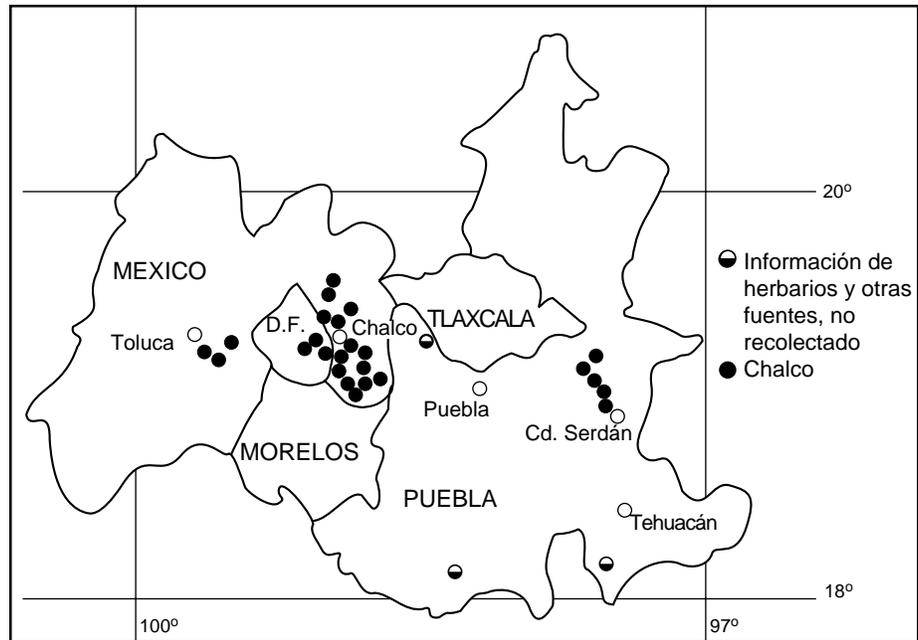


Figura 8. Distribución del teocintle en el Valle de México y sureste del estado de Puebla.

**Cuenca del Balsas**

Es una región baja con altitud media de 1000 m situada entre la Sierra Madre del Sur y la Cordillera Neovolcánica, entre los 17 y 20 ° LN y los 98° a 103°

LO (Figura 10). La precipitación pluvial es variable, oscilando de 500 a 1200 mm, con una media anual de 650 mm. La temperatura es elevada con medias anuales de hasta 28°C; el clima es cálido seco tipo sabana con invierno seco (Aw).

Dentro de esta zona quedan comprendidos el estado de Morelos y porciones importantes de los estados de Jalisco, Michoacán, México, Guerrero, Puebla y Oaxaca. En la Cuenca del Balsas es donde se encuentran las poblaciones más grandes de teocintle en México y que predominan en áreas montañosas con altitudes que varían desde los 800 hasta los 1900 m. Las regiones más importantes para cada estado son:

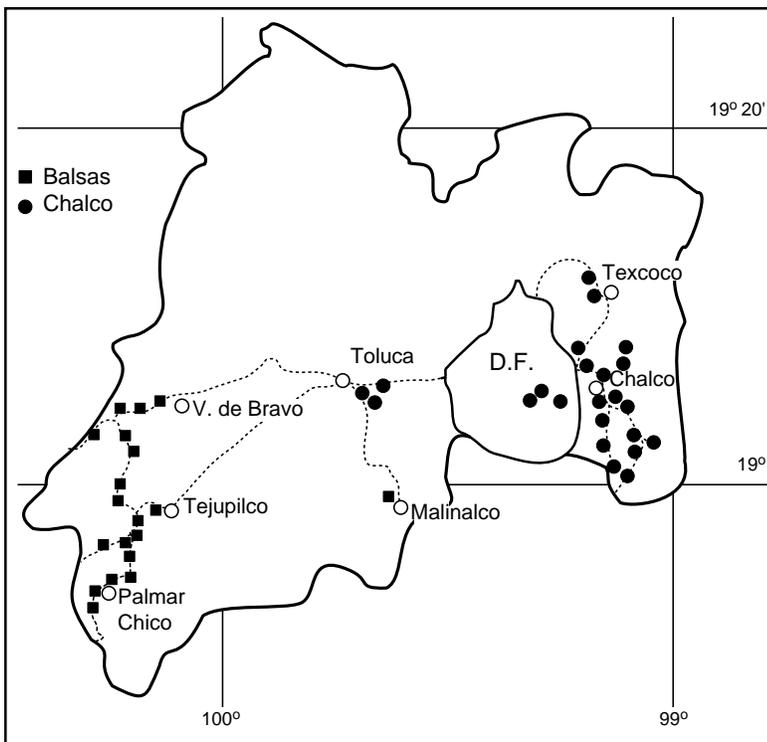
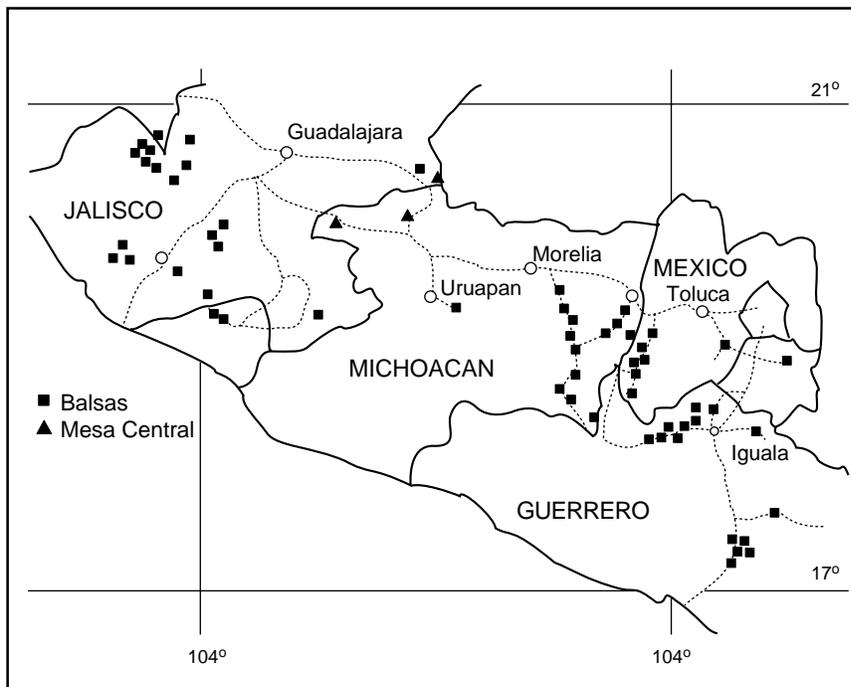


Figura 9. Distribución del teocintle en el estado de México.

**Guerrero.** En este estado (Figura 11) el teocintle se encuentra: (i) al sur y este de Chilpancingo en Mazatlán, Palo Blanco, Acahuizotla, El Rincón y Chilapa; (ii) al norte de Iguala en Taxco e Ixcateopan; (iii) a lo largo de la ruta Teloloapan-Arcelia ; (iv) al este de Huitzuc, en Paso Morelos y San Miguel Palmas.

**Michoacán.** Dentro de este estado (Figura 7), la regiones más importantes corresponden a: (i) Cuenca del Río Cutzamala incluyendo Huetamo, Eréndira, Tiquicheo, Paso Ancho y Tzitzio; (ii) suroeste de Zitácuaro desde Benito Juárez hasta Tuzantla.

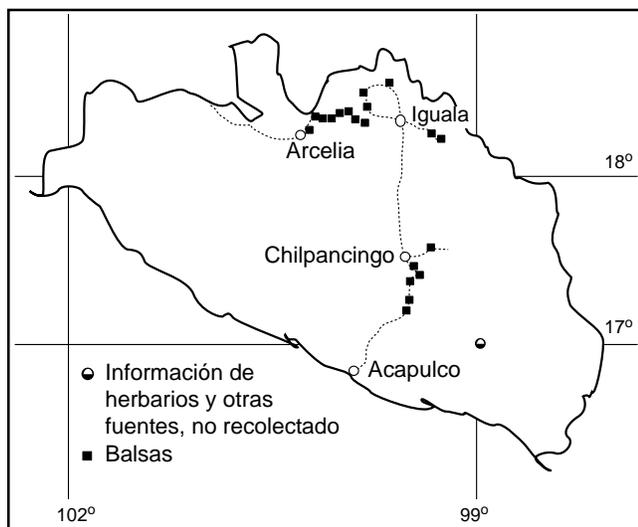


**Figura 10. Distribución del teocintle en la Cuenca del Balsas.**

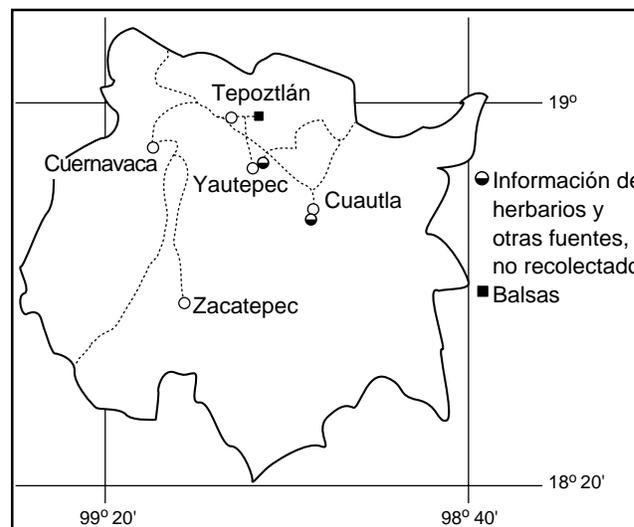
**México.** (Figura 9) el teocintle se encuentra en: (i) al suroeste de Valle de Bravo en Colorines, Santo Tomás, Zuluapan, Otzoloapan, Zacazonapan, Luvianos y Tejupilco de Hidalgo en clima semicálido subhúmedo ((A)C(w)); (ii) en clima cálido subhúmedo tipo Aw en El Sitio, El Aguacate, Palmar Chico y Las Anonas; (iii) una población aislada de las anteriores se encuentra en las ruinas arqueológicas de Malinalco, al sur del

estado con clima (A)C; cubre una superficie de aproximadamente 1 km<sup>2</sup> en un cerro escarpado conocido como “Cerro de los Idolos”.

**Morelos.** Hasta ahora sólo hay un sitio del cual se cuenta con semilla y está situado al este de Tepoztlán (Figura 12); cuenta con clima semicálido subhúmedo tipo (A)C. El teocintle se localiza en una pequeña



**Figura 11. Distribución del teocintle en el estado de Guerrero.**



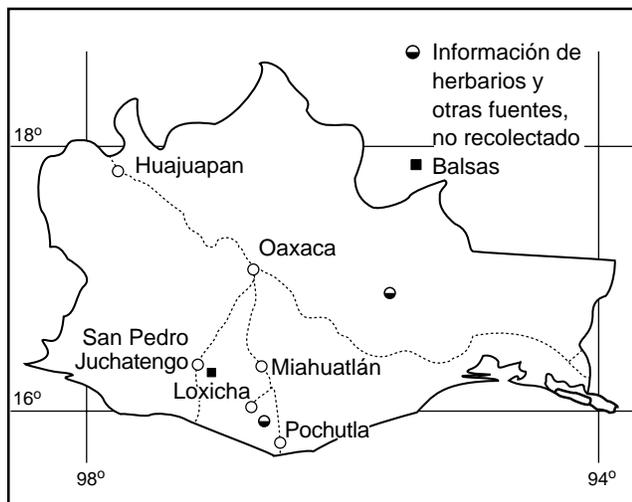
**Figura 12. Distribución del teocintle en el estado de Morelos.**

cañada junto al poblado de Amatlán aislado por lo general del maíz y rodeado por huertas de ciruela (*Spondias mombin* L.). La población se encuentra en forma más abundante en un pequeño risco, lejos del alcance del ganado, compitiendo sólo con hierbas y arbustos, en un área no mayor a 1 km<sup>2</sup>.

### Estado de Oaxaca

Dentro del estado de Oaxaca (Figura 13) se tiene información de la existencia de tres poblaciones: i) En las cercanías de San Agustín Loxicha (Wilkes, 1967; 1986), la cual fue mencionada en el siglo pasado por el botánico danés Fredrick Liebmann, ii) una población descubierta en 1985 en las cercanías de San Pedro Juchatengo (San Cristóbal Honduras) y iii) la población reportada por Lipp (1986) en la región Mixe y de la que se menciona que el teocintle es interplantado con maíz o sembrado separadamente para consumo.

Las áreas de San Pedro Juchatengo y San Agustín Loxicha quedan comprendidas dentro de la Sierra Madre del Sur, con un clima predominante similar al de la Cuenca del Balsas, o sea cálido subhúmedo con invierno seco (Aw).



**Figura 13. Distribución del teocintle en el estado de Oaxaca.**

### Muestras de herbario e información etnobotánica.

En las Figuras 1 a 13 y en el Cuadro 1 se presenta información relativa a poblaciones de teocintle conocidas por muestras de herbario e información obtenida por diferentes fuentes. Entre los informantes predominaron agricultores y ganaderos; sin embargo, también se ha obtenido información de algunos taxónomos y técnicos encargados de asistencia técnica en aspectos agrícolas y ganaderos. Se considera que la información relativa a las localidades incluidas en la Figura 1 y Cuadro 1 es confiable y podría ser de gran importancia para planear viajes de exploración y recolección. Por su ubicación geográfica destacan las localidades de los estados de Chihuahua, Jalisco, Oaxaca y Chiapas, dado que el confirmar su existencia permitiría estudiar la diversidad genética en un continuo latitudinal, cubriendo un gran número de ecosistemas, desde Chihuahua a casi 30° N hasta Nicaragua alrededor de 13° N.

### Áreas potenciales de distribución de teocintle

Con base en los antecedentes registrados en el INIFAP sobre accesiones de teocintle en diversas entidades de la República, se planteó la hipótesis de que existe una superficie no determinada que reúne las condiciones ambientales adecuadas para el crecimiento y desarrollo de esta especie. Dicha superficie se constituye por tanto como área o áreas potenciales para recolección, las cuales probablemente no han sido exploradas en su totalidad.

Conforme a lo anterior, se inició la presente investigación, con el objetivo de identificar áreas potenciales de distribución de teocintle en la República Mexicana. En esta sección se describen la metodología utilizada y los resultados preliminares obtenidos para la Región Pacífico Centro de México con las razas Balsas y Mesa Central.

El procedimiento consistió en caracterizar las condiciones altimétricas, de temperatura y precipitación para cada uno de los sitios en que se tienen registradas colectas de teocintle en los estados de Colima, Jalisco, Michoacán y Nayarit. Mediante la información disponible, se definieron los requerimientos de altitud, temperatura y precipitación de las razas de teocintle. En el Cuadro 2 se consignan los requerimientos para las razas Balsas y Mesa Central. Se presentan los resultados para estas dos razas dado que son para las que se dispone de un mayor número de sitios recolectados.

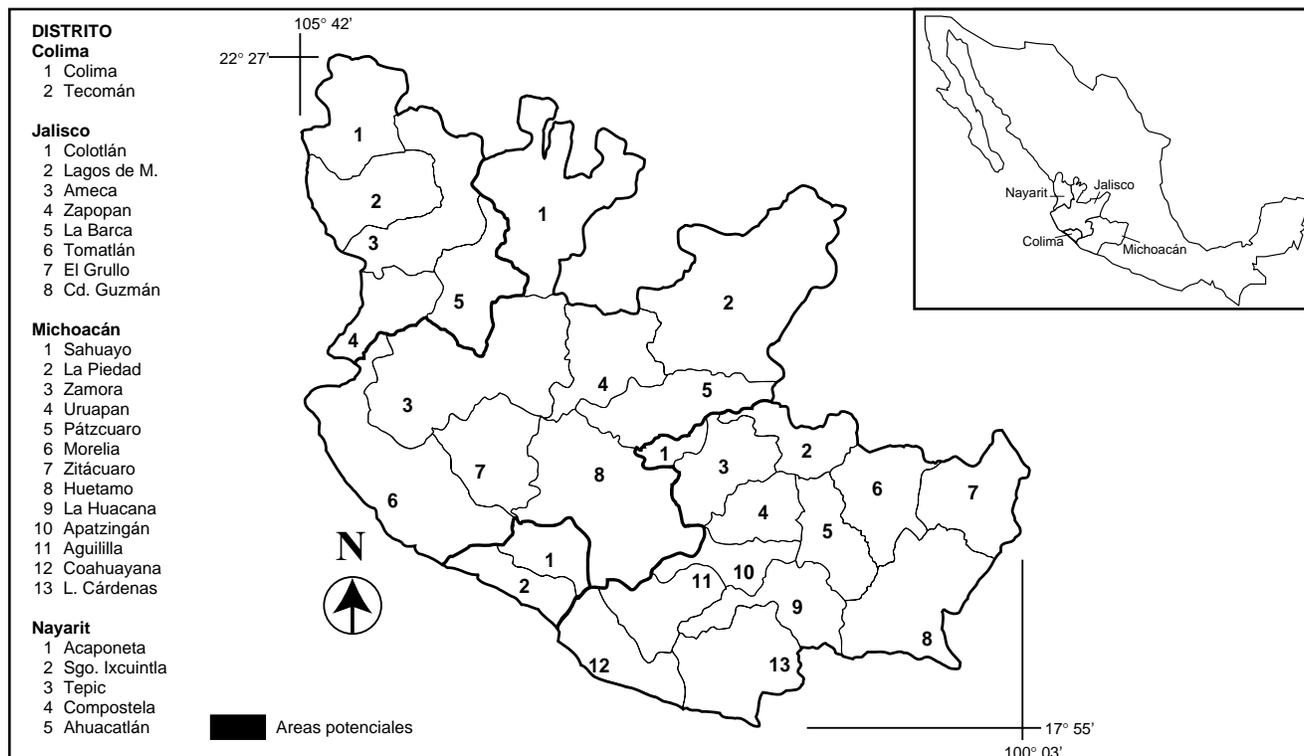
Para desarrollar la búsqueda de áreas potenciales de distribución de teocintle, se utilizó la base de datos cartográficos del INIFAP para la región Pacífico Centro, trabajando a resoluciones con tamaño de celda 900 X 900 m. Utilizando esta base de datos y el sistema IDRISI se procedió a reclasificar los mapas de altitud, temperatura anual y precipitación anual en función de los rangos establecidos en el Cuadro 2. Los mapas reclasificados se utilizaron en procedimientos de

sobreposición para encontrar finalmente las áreas en donde es factible que se distribuyan Balsas y Mesa Central.

En las Figuras 14 y 15 se describen las áreas potenciales de distribución de las razas Balsas y Mesa Central. Para la raza Balsas se encontraron áreas potenciales de distribución en los cuatro estados, no así para la raza Mesa Central, toda vez que sólo en los estados de Jalisco y Michoacán se detectaron zonas potenciales.

**Cuadro 2. Altitud, temperatura y precipitación de las áreas de distribución para dos razas de teocintle.**

Raza	Altitud (msnm)	Temperatura media anual (°C)	Precipitación media anual (mm)	Pendiente del suelo (%)
Balsas	620-1550	19.8-27.7	840-1265	
Mesa Central	1530-2000	15.9-19.6	800-916	< 4



**Figura 14. Areas potenciales de distribución para teocintle Raza Balsas en la Región Pacífico Centro.**

La superficie potencial obtenida para la raza Balsas a nivel región fue de 21,013.83 km<sup>2</sup>; es decir, en un 12% del área total, distribuida de la siguiente manera: 9,425.16 km<sup>2</sup> en Jalisco, 7,882.92 km<sup>2</sup> en Michoacán, 3,107.16 km<sup>2</sup> en Nayarit y 598.59 km<sup>2</sup> en Colima. En cuanto a la raza Mesa Central, la superficie regional obtenida fue de 2,150.55 km<sup>2</sup> (1.2% del área), distribuida en 1,307.34 km<sup>2</sup> y 843.21 km<sup>2</sup> para Jalisco y Michoacán, respectivamente.

### Nombres comunes usados para el teocintle en México

Un aspecto relacionado con la distribución del teocintle en México son sus nombres comunes. Los nombres comunes son de gran importancia en las exploraciones para estudiar o recolectar teocintle y en general están asociados a la semejanza de dicha planta con el maíz o a nombres de aves, las cuales, de

acuerdo con habitantes de varias regiones, se alimentan de sus semillas y pueden ser uno de los medios de diseminación.

En el Cuadro 3 se anotan los nombres conocidos hasta ahora, y se indican la localidad o área donde éstos se usan. Además de los nombres anotados en el Cuadro 3, Lumholtz (1902) indicó el nombre “maizmillo” para el teocintle de Nabogame y “maíz de pájaro” y “tats” en la Sierra de los Huicholes; por otra parte, Lipp (1986) consignó el nombre de “maíz de roca” (*caamook*) usado en la región Mixe dentro del estado de Oaxaca. Conviene mencionar que pese a haber realizado algunos recorridos con fines de recolección en años recientes, el teocintle no ha sido localizado en las dos últimas regiones. Es importante enfatizar que en ningún lugar la gente conoce esta planta como teocintle, lo cual conviene advertir al hacer viajes de exploración o de recolección.

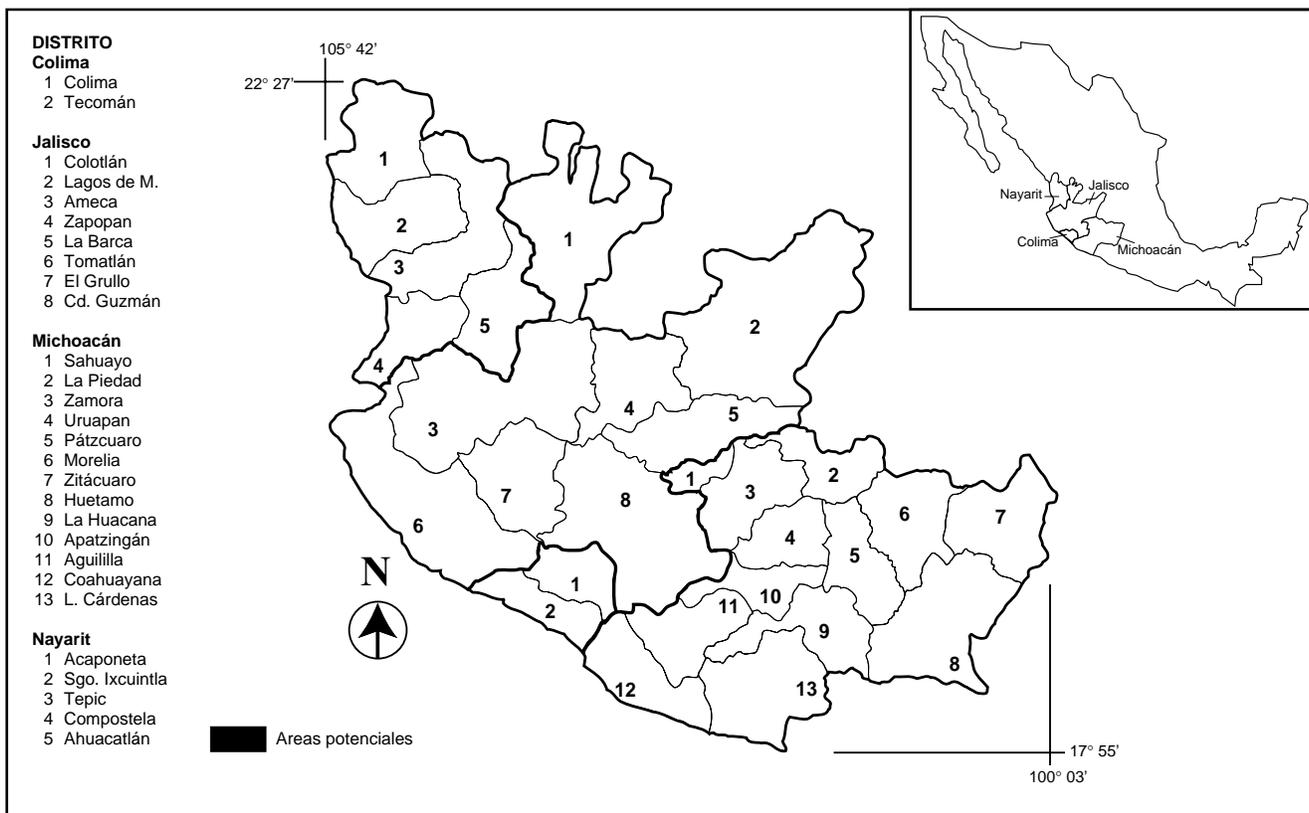


Figura 15. Areas potenciales de distribución para teocintle Raza Mesa Central en la Región Pacífico Centro.

## La colección de teocintle del INIFAP

Las colecciones de teocintle de mayor importancia conservadas en bancos de germoplasma en México son las del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias (INIFAP) y la del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT); sin embargo, en México hay otras instituciones que conservan semilla en diferentes cantidades y condiciones como son el Colegio de Postgraduados de Montecillo, Méx., el Instituto de Botánica de la Universidad de Guadalajara y, en menor cantidad, la Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”. De estas instituciones, solamente el

**Cuadro 3. Nombres comunes para el teocintle en México.**

Nombre común	Lugar (es)
Acece	Chalco, Amecameca, Texcoco (Méx.)
Acecintle	Amatlán (Mor.)
Acecentli	Paso Morelos (Gro.)
Acintle	Mazatlán-El Salado (Gro.)
Atzitzintle	Estado de Guerrero
Cocoxle	San Cristobal Honduras (Oax.)
Cundaz	Copándaro, Patambicho (Mich.)
Chapule	
( <i>Zea diploperennis</i> )	Cuzalapa (Jal.)
Maicillo	Nabogame (Chih.), Durango
Maíz silvestre	Nabogame (Chih.)
Maíz chapulín	El Chino (Jal.)
Maíz tuscato	Colorines-Zuluapan (Méx.)
Maíz de pájaro	Guerrero, Michoacán, Naranjos de Enmedio (Jal.)
Maíz de huiscatote	Guerrero
Maíz de cuitzcatuto	Palmar Chico, Méx.
Maíz camalote	Cd. Hidalgo, Tzitzio (Mich.)
Maíz de guajolote	Zacatongo, El Tablillo (Jal.)
Maíz pata de mula	La Estancia (Jal.)
Maíz de coyote	El Bajío (Jalisco, Michoacán, Guanajuato)
Maíz de cuervo	Quexpan-Las Raíces (Jal.)
Maíz cimarrón	Sureste de Puebla
Maíz forrajero	Valle de Toluca
Maíz del Indio	
(híbridos maíz teocintle)	Naranjos de Enmedio (Jal.)
Milpilla	
(perennes y anuales)	Villa Purificación (Jal.), Amatlán de Cañas(Nay.)
Milpa de zorra	Malinalco (Méx.)
Milpa de rata	El Saucito (Jal.)
Milpa de tapacaminos	Villa Purificación (Jal.)

INIFAP y el CIMMYT cuentan con instalaciones apropiadas para la conservación de semilla a corto y mediano plazo, es decir a temperaturas de 0 a 5° C y -18° C, respectivamente.

Actualmente, en el Banco de Germoplasma de Maíz del INIFAP se cuenta con 144 muestras (Cuadros 4 y 5), que representan aproximadamente el 70 % de las poblaciones conocidas para México. Estas colecciones del INIFAP son representativas de la variación de teocintle conocida, hasta ahora, en México. Las cantidades de semilla conservadas por el INIFAP varían de 20 a 4,285 gramos, con una media de 860 gramos.

**Cuadro 4. Colección Mexicana de teocintle conservada por el INIFAP en Chapingo, Méx., agrupación por raza.**

Raza ó Especie	Número de muestras
Balsas	80
Chalco	29
Mesa Central	22
Nobogame	2
Durango	3
<i>Zea diploperennis</i>	4
<i>Zea perennis</i>	4
<b>TOTAL</b>	<b>144</b>

**Cuadro 5. Colección Mexicana de teocintle conservada por el INIFAP en Chapingo, Méx., agrupación por estado.**

Estado de la República	No. Accesiones	Razas o especies
Colima	2	1
Chihuahua	2	1
Durango	3	1
Guanajuato	3	1
Guerrero	22	1
Jalisco	29	4+
México	40	2
Michoacán	35	2+
Morelos	1	1
Nayarit	1	1
Oaxaca	1	1
Puebla	5	1
<b>Total</b>	<b>144</b>	<b>6</b>

## Discusión

En los últimos 15 años se han logrado grandes avances en el conocimiento de la distribución natural del teocintle en México (Guzmán, 1982; Sánchez y Ordaz, 1987; Doebley, 1983; Wilkes, 1986; Wilkes y Taba 1993; Wilkes y Sánchez, 1993; Sánchez y Chuela 1995). A la fecha, el Banco de Germoplasma de Maíz del INIFAP ubicado en Chapingo, México, cuenta con semilla de 144 muestras que representan poblaciones de aproximadamente 110 localidades de las diferentes regiones geográficas de México. A pesar de que el muestreo logrado hasta la fecha puede representar en términos generales la variación conocida y esperada en México, mucha de la información recabada no ha podido ser verificada en campo debido a diferentes causas: (i) lugares muy distantes y de difícil acceso, (ii) falta de recursos, financiamiento y equipo apropiado para misiones de exploración y recolección, y (iii) disponibilidad creciente de información que requiere ser correctamente documentada.

Las áreas potenciales determinadas con base en el Sistema de Información Geográfica para las razas Balsas y Mesa Central coincide en buena medida con la distribución de los sitios reportados por diferentes colectores (Figuras 4, 5, 6 y 7). Debe reconocerse que en casos como el de la raza Balsas, la superficie potencial puede parecer muy amplia; sin embargo, dicha superficie puede estar indicando las zonas en donde se puede encontrar la raza Balsas en la actualidad, o aquellas que en alguna época estuvieron ocupadas por dicha raza en la región Pacífico Centro y que por efectos de disturbio de los ecosistemas, la distribución ha sido modificada. Por otra parte, la mayoría de las poblaciones de teocintle ocurren como arvenses o ruderales dentro o alrededor de campos cultivados de maíz; es decir, dependen en forma parcial de los nichos agrícolas o hábitat abiertos (Hernández X., 1993; Benz *et al.*, 1990; Sánchez-Velázquez *et al.*, 1991); tal es el caso de *Zea diploperennis*, y las razas Chalco, Mesa Central y Nobogame. En el caso de la raza Balsas (*Zea mays* spp.

*parviglumis*), en algunos lugares parece ser parte de la vegetación natural primaria; empero, en tiempos actuales es notorio que su establecimiento depende en gran parte de la influencia del hombre a través de la apertura de campos de cultivo en sistemas de **roza-tumba-quema** (coamiles) y por hatos de ganado vacuno al distribuir las semillas por medio de sus heces.

Los resultados referentes a la determinación de las áreas potenciales de distribución son preliminares. Es muy importante que se ajusten los modelos con trabajos de verificación en campo con lo cual la precisión dependerá de la actualización de las bases de datos cartográficos de la región (sobre todo en relación a información climatológica), y de la adición de otras variables de diagnóstico, como vegetación asociada a teocintle, fisiografía, exposición de terreno, e influencia humana. Se considera necesario avanzar este tipo de trabajos a un ámbito nacional y hacer más eficientes los esfuerzos de exploración y recolección, toda vez que los recursos y personal disponibles son cada vez más escasos.

Por otra parte, es difícil estimar con precisión el peligro de extinción de las poblaciones de teocintle en México. De acuerdo con lo observado en los últimos 12 años, con excepción de la Cuenca del Balsas — inclusive la mayor parte de las poblaciones de los estados de Guerrero, Michoacán, Jalisco y México— el resto de poblaciones pueden considerarse amenazadas. El Cuadro 6 presenta la situación general de las poblaciones en México. Hay varios casos como Lagos de Moreno, Los Cimientos y Oconahua en Jalisco; Copándaro, Villa Jiménez, Patambicho y Quiroga, en Michoacán, y Manuel Doblado, Moroleón y Yuriria en Guanajuato, en que las poblaciones de teocintle virtualmente han desaparecido. El Diario Oficial de la Federación del lunes 16 de mayo de 1994 publicó la **Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL-1994**, que determina las especies y subespecies de la flora y fauna silvestres terrestres y acuáticas en peligro de extinción, amenazadas, raras y sujetas a protección

especial, y que establece especificaciones para su protección. En la elaboración de la Norma Oficial participaron 39 instituciones mexicanas. Se señala ahí que la Secretaría de Desarrollo Social por conducto de la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente y las Secretarías de Pesca (hoy Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca) y Agricultura y Recursos Hidráulicos (hoy Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural), en el ámbito de sus respectivas competencias, vigilarán el cumplimiento de dicha Norma Oficial Mexicana. La publicación del Diario Oficial de la Federación incluye un listado de especies y las categorías: en peligro de extinción, amenazadas, raras y sujetas a protección especial; la lista apunta 92 familias y 950 especies de plantas de las cuales, 470 corresponden a especies endémicas. En la lista figura *Zea perennis* como especie en peligro de extinción y *Zea diploperennis* como especie amenazada; no se menciona absolutamente nada respecto a los teocintles anuales.

De acuerdo con Hernández X. (1993), durante los últimos 500 años, dos factores han afectado las

poblaciones de teocintle: la introducción de ganado y la introducción de formas mecánicas de trabajar el suelo; estas prácticas eliminan las plantas espontáneas y dificultan la recuperación durante los ciclos posteriores. Más recientemente, están ocurriendo diversos acontecimientos en los sectores agrícola, ganadero y forestal en México: la apertura de caminos para la explotación forestal ha hecho accesibles varias regiones que hace diez o más años estaban aisladas; el agua para riego es cada vez más escasa y cara —lo cual obliga a pensar en opciones más redituables—, la urbanización y el establecimiento de praderas para explotaciones ganaderas han alterado dramáticamente muchos ecosistemas. En el caso de El Bajío, los cambios hacia cultivos hortícolas implican la eliminación de todo tipo de malezas. Los factores anteriores están afectando la estabilidad de varias poblaciones de teocintle por lo que las raras o indeterminadas, y aun las estables, pueden pasar a las categorías de vulnerables o en peligro de extinción muy rápidamente y no se esperaría que pudieran persistir por mucho tiempo como poblaciones naturales. No obstante lo anterior, el teocintle se ha conservado

**Cuadro 6. Situación general de las poblaciones de teocintle en México.**

Raza ó Especie	Extensión km <sup>2</sup>	Situación*	Poblaciones amenazadas	Tipo de amenaza
NOBOGAME	30-50	R		Deforestación
DURANGO	15-20	R		
MESA CENTRAL				
Guanajuato	100 ?	A	M. Doblado, Moroleón, Yuriria	Cambios de cultivo,
Jalisco	100 ?	E	Lagos de Moreno (Extinta)	Urbanización y combate
Michoacán	50 ?	A	Copándaro, V. Jiménez, Patambicho, Quiroga	sistemático de malezas.
CHALCO				
Chalco	>300	E	Chalco	Urbanización
Distrito Federal	>100	A	Xochimilco	
Puebla	>300	E		
Toluca	>100	E		
BALSAS				
Colima	100	E		
Guerrero	>1000	E		
Jalisco	>1000	E	Oconahua, Los Cimientos, El Palmar	Praderas artificiales,
México	>1000	E		ganadería intensiva.
Michoacán	>1000	E		
Morelos	1	A	Amatlán	Huertas de ciruela
Nayarit	50	E		
Oaxaca	50	R	San Cristobal Honduras	
<i>Zea perennis</i>	10 ?	P	Piedra Ancha, La Mesa, Los Depósitos	Ganadería
<i>Zea diploperennis</i>	50 ?	A	Manantlán	Ganadería, deforestación

\* R = Rara, E = Estable, A = Amenazada, P = En peligro de extinción

gracias a su utilidad como planta forrajera, a su plasticidad para ocupar espacios vacíos, a su empleo para el mejoramiento de las variedades nativas, y en algunos casos a su simbolismo sagrado ya que algunos grupos étnicos lo consideran el corazón del maíz (Hernández X., 1993).

Los estudios fitogeográficos, el monitoreo, la exploración, la recolección y la conservación en sus diferentes modalidades son actividades que deberán ser intensificadas y mantenidas a través del tiempo y espacio, con el fin de reducir los riesgos de desaparición de las poblaciones. Dado que siempre existe la posibilidad de descubrir nuevas variantes con propiedades genéticas aún desconocidas que podrían aportar nuevas fuentes de genes a los programas de mejoramiento genético, dichas actividades se justifican plenamente.

### Literatura citada

- Benz, B.F., L.R. Sánchez V. and F.J. Santana M. 1990. Ecology and ethnobotany of *Zea diploperennis*: preliminary investigations. *Maydica* 35: 85-98.
- Bukasov, S. 1926. Un híbrido de maíz y *Euchlaena mexicana*. *Sobretiro de México Forestal*. p. 38.
- Collins, G.N. 1921. Teosinte in Mexico. *J. Hered.* 12: 339-350.
- Doebly, J.F. 1983. A brief note on the rediscovery of Durango teosinte. *Maize Genetics Cooperation Newsletter* 57: 127-128.
- Doebly, J.F. 1990a. Molecular evidence and the evolution of maize. *Econ. Bot.* 44: 6-27.
- Doebly, J.F. 1990b. Molecular evidence for gene flow among *Zea* species. *BioScience* 40: 443-448.
- García, E. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. UNAM. Instituto de Geografía. 246p.
- Guzmán M., R. 1982. El teosinte en Jalisco: Su distribución y ecología. Tesis profesional, Escuela de Agricultura, Universidad de Guadalajara. 88p.
- Hernández X., E. 1987. Experiences leading to a greater emphasis on man in ethnobotanical studies. *Econ. Bot.* 41: 6-11.
- Hernández X., E. 1993. La agricultura tradicional como una forma de conservar el germoplasma de los cultivos *in situ*. En: B.F. Benz (compilador). *Biología, ecología y conservación del género Zea*. Universidad de Guadalajara. pp. 243-256
- Kato Y., T.A. 1976. Cytological studies of maize (*Zea mays* L.) and teosinte (*Zea mexicana* Schrader Kuntze) in relation to their origin and evolution. *Mass. Agri. Exper. Stat. Bull.* 635. 186p.
- Kato Y., T.A. 1984. Chromosome morphology and the origin of maize and its races. *Evolution Biol.* 17: 219-253.
- Lipp, F.J. 1986. The plant domestication process among swidden agriculturalists. Paper presented at the 27th Annual Meetings of the Society for Economic Botany, New York Botanical Garden, Bronx, New York. June 13-16, 1986.
- Lopez y Parra, R. 1908. El teozinte. Origen del maíz. Secretaría de Fomento, México.
- Lumholtz, C. 1902. *Unknown Mexico*, Vol I. C. Scribner's Sons, N.Y. 530p.
- Mangelsdorf, P.C. 1974. Corn. Its origin, evolution and improvement. Belknap Press. Harvard Univ. Press. Cambridge, Mass. 262p.
- Mangelsdorf, P.C. and R.G. Reeves . 1959. The origin of corn. III. Modern races, the product of teosinte introgression. *Bot. Mus. Leafl. Harvard Univ.* 18: 389-411.
- Mangelsdorf, P.C. 1986. The origin of corn. *Scientific American* 25(2): 80-86.
- Rzedowski, J. 1993. Diversity and origins of the phanerogamic flora of Mexico. En: T.P Raammoorthy, R. Bye, A. Lot and J. Fa (eds.). *Biological Diversity of Mexico, origins and distribution*. Oxford Univ. Press. pp. 129-143.
- Sánchez G., J.J. y L. Ordaz S. 1987. Systematic and Ecogeographic Studies on Crop Genepools: 2. El teocintle en México. *Distribución y situación actual de las poblaciones*. IBPGR, Rome. 50p.
- Sánchez G., J.J. y M. Chuela B. 1995. Monitoreo y recolección de teocintle en México. Informe de investigación no publicado. Campo Experimental Centro de Jalisco, CIPAC, INIFAP.
- Sánchez-Velásquez, L., J.A. Solís M., E. Cortéz, R.G. Jiménez G., A.L. Cárdenas T. y M.P. Rosales A. 1991. Efecto del cultivo tradicional del maíz sobre el crecimiento y desarrollo de *Zea diploperennis*. *BIOTAM* 3: 51-58.
- Wellhausen, E.J., L.M. Roberts y E. Hernández X. con la colaboración de P.C. Mangelsdorf. 1951. Razas de Maíz en México. Folleto Técnico No. 5. Oficina de Estudios Especiales. S.A.G. México. 237p.
- Wilkes, H.G. 1967. Teosinte: the closest relative of maize. *Bussey Inst. Harvard Univ.* 159p.
- Wilkes, H.G. 1970. Teosinte introgression in the maize of the Nobogame Valley. *Bot Mus. Leafl.* 22: 297-311.
- Wilkes, H.G. 1977a. Hybridization of maize and teosinte in Mexico and Guatemala and the improvement of maize. *Economic Botany* 31: 254-293.
- Wilkes, H.G. 1977b. The origin of corn. Studies of the last hundred years. En: D.S. Seigler (ed.) *Crop Resources*. Academic Press, Inc. pp. 211-223.
- Wilkes, H.G. 1979. Mexico and Central America as a Center for the origin of agriculture and the evolution of maize. *Crop Improv.* 6: 1-18.
- Wilkes, H.G. 1985. Teosinte: the closest relative of maize revisited. *Maydica* 30. 209-223.
- Wilkes, G.H. 1986. Teosinte in Oaxaca Mexico. *Maize genet. Coop. News.* 60: 29-30.
- Wilkes G. and J. Sanchez. 1993. Teosinte in Guerrero near the Oaxacan border, Mexico. *Maize Genetics Cooperation Newsletter* 67: 21.
- Wilkes, G.H. and S. Taba. 1993. Teosinte in the Valley of Toluca, Mexico. *Maize genet. Coop. News.* 67: 21.

## Preguntas y respuestas después de las presentaciones de G. Wilkes y J. Sánchez

### M. Goodman:

Obviamente, las interrogantes que afrontará este grupo se relacionan con la introgresión transgénica en el teocintle. Las preguntas específicas serían: ¿Es afectado el teocintle por alguna de las plagas que atacan al maíz? ¿Afectan los barrenadores del tallo o los gusanos eloteros al teocintle o el desarrollo de éste está determinado estrictamente por su nicho ambiental? ¿El problema real es la urbanización o son los insectos, las enfermedades, los hongos, factores que influyen en el establecimiento de las poblaciones de teocintle?

### J. Sánchez:

Hemos observado que las plagas y enfermedades que atacan al maíz son las mismas que se encuentran en el teocintle. Sin embargo, hay una gran variación entre y dentro de estas poblaciones de teocintle. En el Valle de Guadiana, en Durango, se han encontrado plantas de teocintle con carbón de la espiga (*Sphacelotheca reiliana*); en este caso se ha pensado que la susceptibilidad al carbón es debida a la siembra de maíces susceptibles e introgresión a teocintle. Nosotros creemos que esta explicación no es satisfactoria. En forma experimental hemos sembrado, en diferentes ambientes, todas las poblaciones de teocintle recolectadas por el INIFAP y hemos encontrado gran variación; por ejemplo, en siembras experimentales en Jalisco (1500 msnm) hemos encontrado que las colecciones del teocintle tipo Balsas (*Zea mays* ssp. *parviglumis*) provenientes de Oaxaca y Guerrero, son más resistentes a la roya de la hoja (*Puccinia sorghii*) que las colecciones de Jalisco establecidas en las regiones cercanas al lugar de la evaluación.

En cuanto a otros factores, se puede mencionar que la amenaza de la urbanización es más evidente para las razas de teocintle tipo Chalco y Mesa Central (*Zea*

*mexicana*) que se encuentran en las cercanías de Chalco, Amecameca, la ciudad de México y Morelia. Me gustaría que B. Benz comentara al respecto.

### B. Benz:

Estoy de acuerdo con el cuestionamiento de M. Goodman; y en relación a lo expresado por J. Sánchez, he preparado una lista de las plagas comunes para el maíz y las especies de teocintle que he estudiado. En el caso de *Zea perennis* en el Nevado de Colima y el de *Zea diploperennis* de Manantlán, tanto *Fusarium* spp. como *Ustilago maydis* afectan a los dos teocintles y al maíz cultivado cuando se encuentran juntos, ya sea en campos abandonados o de cultivo.

En el caso de los insectos, ciertos Coleópteros (*Macroductylus murinus*) infestan tanto a *Zea diploperennis* como al maíz, aunque el impacto parece ser diferente, mientras que, en el caso de Homópteros y Lepidópteros, aun cuando ambas especies de plantas pueden estar infestadas, tal parece que el daño que tolera el teocintle es menor que el del maíz.

La invasión de las zonas urbanas y los cambios en el uso del suelo, definitivamente tienen un efecto negativo sobre las poblaciones de teocintle y de maíces criollos tradicionales. Estos agentes están desplazando a estas poblaciones de la misma manera que los híbridos están empujando la sustitución de maíces tradicionales. En este sentido, se puede predecir que el maíz transgénico tendrá un efecto similar al producido por los híbridos. De la misma forma, tenemos que plantearnos la pregunta de lo que pasaría si los genes presentes en las variedades mejoradas, los híbridos o el maíz transgénico fueran incorporados al teocintle o a los maíces criollos.

### J. Sánchez:

Me parece importante agregar que si bien para el teocintle de las razas Chalco y Mesa Central (*Zea mays* ssp. *mexicana*) la urbanización es una amenaza, con el teocintle tipo Balsas (*Zea mays* ssp. *parviglumis*), las actividades de los campesinos han incrementado la

conservación de estas poblaciones. En la región del Balsas, el hombre ha abierto espacios a través del sistema roza-tumba-quema, sembrando maíz y estableciendo áreas de pastoreo en forma rotativa o alternada. Estos factores han facilitado el establecimiento de muchas poblaciones de teocintle; es decir, en estas regiones el teocintle ha sobrevivido con la ayuda del hombre.

No es fácil pronosticar si el crecimiento poblacional puede causar modificaciones drásticas en los sistemas de aprovechamiento de la tierra en la Cuenca del Balsas y éstas se transformen en áreas de cultivo anuales. Sin embargo, si tomamos en consideración la tasa de crecimiento poblacional de México, la cual aún es alta, es probable que los pronósticos del Dr. Wilkes sean ciertos. Es decir, en 35 ó 40 años muchas poblaciones de teocintle existirán como reliquias en los bancos de germoplasma.

**D. Louette:**

Quisiera saber si en todas las regiones de México el teocintle es considerado como una mala hierba, o si hay alguna raza que sea utilizada, por ejemplo, para la alimentación del ganado. ¿Cuál es el uso que se le da al teocintle?

**J. Sánchez:**

Su pregunta es muy interesante. En Jalisco, en el área cercana a la Reserva de Manantlán se dan situaciones contrastantes. Por ejemplo, en el municipio de Ejutla, en Los Naranjos de Enmedio y La Estancia, el teocintle (*Z. mays* ssp. *parviglumis*) es considerado como maleza y los productores quieren exterminarlo. Muy cerca de ahí, se encuentra el poblado de San Lorenzo. En este lugar, tradicionalmente el teocintle se aprovecha como forraje verde para la alimentación del ganado y hay personas que le atribuyen propiedades benéficas por lo que es usado en el mejoramiento del maíz; los productores mencionan que en cuatro años, aproximadamente, obtienen un maíz nuevo con mejor respuesta que sus variedades tradicionales o híbridos.

En general, en las regiones donde se encuentra el teocintle de las razas Chalco y Mesa Central los productores de maíz las consideraban malezas, aunque hay casos de aprovechamiento en alimentación animal. Por el contrario, en la Cuenca del Balsas los productores de maíz toleran y protegen las poblaciones de teocintle para su uso como alimento del ganado y en algunos casos se utiliza en el mejoramiento del maíz.

**J. A. Serratos:**

¿ Existe alguna relación entre el uso que se le da al teocintle y los grupos étnicos de las regiones donde se encuentran estas poblaciones de teocintle ?

**J. Sánchez:**

Desafortunadamente no he encontrado un patrón etnobotánico en relación a esto. El ejemplo que mencioné anteriormente del teocintle en Jalisco ocurre en una región pequeña, en comunidades bastante cercanas unas de otras, con buena comunicación y predominio de grupos mestizos. En otros estados, como en Nayarit, algunos ganaderos mestizos de Amatlán de Cañas sembraron semilla de teocintle proveniente de Llano Grande, Jalisco, desde hace 65 años y en la actualidad siguen fomentando el establecimiento de teocintle para la alimentación del ganado.

Por el contrario, en el caso del maíz sí existe una clara relación etnobotánica entre los grupos indígenas y la conservación de variedades tradicionales.

**G. Wilkes:**

Estoy de acuerdo con todo lo que dijo M. Goodman acerca de las enfermedades, y me gustaría señalar otra cosa: en Amecameca el maíz tiene cornezuelo o diente de caballo (*Claviceps gigantea*) —el cual, que yo sepa, no se ve en ningún otro lugar en México— y allí, el teocintle tiene cornezuelo. Si uno va a Chilpancingo, verá la mancha de asfalto (*Phyllacora maydis*) en el maíz, y allí también el teocintle tiene la mancha de

asfalto. Aquí, en Chalco, hay mucho tizón foliar (*Helminthosporium turcicum*) y el teocintle lo tiene; por lo tanto, algo de esto parece ser un apareamiento de las poblaciones.

En cuanto a los barrenadores, con el entomólogo del CIMMYT, John Mihm, hemos estado por Tepalcingo y encontramos barrenadores en *Tripsacum*, en teocintle y en maíz. Por consiguiente, parece que la localidad es importante.

Quiero decir una cosa muy importante. Pienso que Jesús Sánchez ha hecho un trabajo maravilloso sobre esto y quiero felicitar a México, porque no creo que haya ningún otro pariente silvestre cercano de un cultivo importante que haya sido estudiado en una escala tan fina en cuanto a su distribución actual. Lo que hice hace 35 años fue burdo y a pesar de esto era bueno ya que esbozaba la distribución; pero ahora hemos llegado a un grado de precisión tan alto que nos permite encontrar una población en menos de una hectárea. Es decir, tenemos algunas poblaciones que parecen grandes porque están representadas en el mapa por un punto, pero la verdad es que las poblaciones son bastante pequeñas.

Por otra parte, hay poblaciones que se han trasladado con el estiércol del ganado lechero. Un ejemplo aquí mismo en Texcoco es el antiguo Rancho Santa Isabela, que antes fue una gran finca lechera y ahora está ocupado por una serie de edificios de departamentos. Cuando se trasladó el ganado, los animales llevaron la semilla de teocintle a Cuautla u otros lugares y ahora podemos encontrar estos campos nuevos.

Los aztecas también tuvieron dos o tres jardines botánicos, como el de Amatlán. Estuve en Amatlán hace dos días y la población que queda del jardín azteca no es superior a 10 x 40 m en la punta de un cerro. Ningún otro país en el mundo puede decir que conoce los parientes silvestres de un cultivo en esa microescala. Yo creo que ya se ha hecho la mayor parte del trabajo acerca de la distribución del teocintle.

#### **V. Villalobos:**

Considerando que hace 35 años, cuando se estaban haciendo estas colectas de teocintle, nadie anticipaba la disponibilidad de la ingeniería genética que actualmente se tiene y a que, al menos por las dos presentaciones que hemos escuchado hoy por la mañana, el flujo genético va del maíz al teocintle, quisiera hacer dos preguntas a los expositores. La primera pregunta es, cuál es su posición en relación al riesgo potencial de la transformación de maíz, específicamente a la conservación del teocintle como tal; y la segunda es, si pueden especular sobre los potenciales beneficios de la ingeniería genética aplicada a conservar o a hacer un mejor uso del teocintle.

#### **J. Sánchez:**

El Dr. Wilkes ha mencionado algunos de esos aspectos en su presentación. De acuerdo con sus pronósticos, si el maíz transgénico tiene un impacto real sobre el teocintle, entonces probablemente en unas cuantas décadas el teocintle no se encontrará en forma pura. Por otra parte, si los pronósticos son ciertos, de ahora al momento de la liberación y comercialización de las variedades transgénicas, se perderían, debido a otros factores, muchas de las poblaciones importantes de teocintle que hasta el momento se conocen. En alguna ocasión el Dr. Goodman comentó que, si las variedades transgénicas contienen caracteres benéficos, entonces el flujo genético hacia las variedades tradicionales y el teocintle sería también muy benéfico ya que éstas adolecen de los mismos problemas. De manera recíproca, la ingeniería genética podría transferir genes deseables del teocintle al maíz.

#### **J. Larson:**

G. Wilkes y J. Sánchez mencionaron la importancia de la conservación *in situ*. Podría, alguno de ustedes, elaborar una sugerencia para un programa específico con esa información de conservación *in situ*. Dado que el teocintle es, en términos ecológicos, una especie oportunista, ¿hacia dónde creen que podría ir un programa específico de conservación *in situ* ?

**J. Sánchez:**

En mi presentación no traté el tema de la conservación *in situ* ni presenté alguna propuesta; sin embargo, creo que hemos hecho una gran labor de conservación *ex situ*. Por otra parte, contamos con un programa modesto pero efectivo de monitoreo *in situ*, con la colaboración del INIFAP, el Colegio de Postgraduados y el CIMMYT. El único programa de conservación *in situ* es el de *Zea diploperennis* en la Reserva de la Biosfera de la Sierra de Manantlán.

Hace algunos años S. Taba, G. Wilkes y yo nos propusimos monitorear las poblaciones de teocintle en períodos de 5 a 10 años. El objetivo fue analizar si alguna población se encontraba en peligro de desaparición para proceder a recolectar muestras suficientemente grandes y alertar a las instituciones responsables de la conservación de los recursos naturales. Ahora he empezado a dudar de si los períodos de 5 a 10 años son suficientes para detectar la desaparición de algunas poblaciones. Tal vez los períodos de 1 a 2 años serían recomendables en algunos casos.

En cuanto a la conservación *in situ*, me parece que ha habido un gran debate al respecto. En México tenemos varias razas o poblaciones que deberían ser candidatos para conservación; sin embargo, realmente no sé que tan sencillo sería expropiar o establecer programas de conservación *in situ* en áreas de 100 km<sup>2</sup>, o aún en áreas de 1 km<sup>2</sup>. Creo que la combinación de monitoreo *in situ* y la recolección *ex situ* podría ser la alternativa lógica mientras se pudiera disponer de algunas reservas para conservación *in situ*.

Me gustaría relatar un ejemplo. En 1991, G. Wilkes y S. Taba estuvieron en Guatemala para recorrer las principales zonas de distribución del teocintle con personal del ICTA. Se tuvieron dificultades para localizar algunas poblaciones, otras no fueron encontradas; sin embargo, las autoridades

guatemaltecas estuvieron interesadas en iniciar un programa de conservación *in situ*. Hace algunos años, el Gobierno de Guatemala prohibió la recolección y salida del país de especies silvestres. Por otra parte, no se tenía en Guatemala un Banco de Germoplasma para conservación *ex situ* y la idea de conservación *in situ* no tuvo éxito. Posteriormente, en 1994, algunos investigadores del ICTA y de la Universidad de San Carlos visitaron varios lugares en donde se sabía que existían poblaciones de teocintle; la situación fue alarmante ya que muchas poblaciones habían desaparecido y no se tenía semilla de reserva en ningún Banco de Germoplasma.

**R. Quintero:**

Yo no conozco nada del teocintle. En este sentido, me gustaría saber si el estado actual del conocimiento y la información que se tiene del teocintle es suficiente para entender qué sucedería con la introducción del maíz transgénico o si después de que hubiese la introducción, estaríamos en condiciones de evaluar el impacto.

**J. Sánchez:**

Creo que conocemos bastante de la distribución, morfología y citología del teocintle; empero, no hay suficiente información del flujo genético del maíz al teocintle y viceversa. Aunque hemos colectado muchas poblaciones simpátricas de maíz y teocintle en todo el país, no hemos llevado a cabo los estudios de diversidad genética que nos proporcionen los datos necesarios para tener una idea acerca del posible flujo genético entre estas dos subespecies. Todo este material está guardado en el Banco de Germoplasma.

Considerando estas limitaciones en cuanto a información, creo que 5 años sería un tiempo suficiente para hacer una evaluación del impacto o para saber qué pasó. Sin embargo, debo enfatizar que el estado de nuestro conocimiento no es completo, aún nos falta mucho por conocer.

# Compatibilidad de cruzamiento dentro del género *Zea*

**Jerry Kermicle**

Laboratorio de Genética  
Universidad de Wisconsin.

## Introducción

Las plantas de polinización cruzada regulan el cruzamiento con el fin de equilibrar los efectos depresores de la endogamia y los efectos disgenésicos de la hibridación amplia. Se evita la endogamia por medios tales como la separación de los sexos y las diferencias en la época de floración. La autoincompatibilidad fisiológica es especialmente importante en algunos grupos taxonómicos. Como resultado del análisis genético refinado, los estudios fisiológicos extensos y la aplicación de las técnicas modernas de la biología molecular, está emergiendo un conocimiento detallado de la autoincompatibilidad. En el otro extremo del espectro de los tipos de cruzamiento, la hibridación indiscriminada se impide mediante una combinación de factores espaciales, temporales y fisiológicos. En contraste con la autoincompatibilidad, no se conoce bien la base fisiológica de la compatibilidad cruzada. En este caso, el análisis por lo general abarca la complejidad genética de los híbridos interespecíficos. Esta complicación se reduce en cierta medida en *Zea mays*, donde existen diversas incompatibilidades entre las subespecies y dentro de una misma subespecie.

La incompatibilidad cruzada en un caso dado puede ser vista en una de dos formas. La relación congruente normal entre el polen y el pistilo puede estar alterada porque falta alguna función de uno de esos dos miembros. En este caso la fecundación fracasa a causa de que la reacción es incompleta, es decir a causa de la incongruencia (Hogenboom, 1973). La otra posibilidad es que existan genes que funcionan específicamente para reconocer el origen externo del polen y sirvan

para bloquear una reacción que, de otro modo, sería compatible. Esas funciones de los genes, como las que gobiernan la autocompatibilidad, parecen superponerse a la relación compatible normal. Es probable que ambos mecanismos contribuyan a impedir la incompatibilidad cruzada en forma colectiva y no intentaremos distinguirlos aquí.

La evidencia de la incompatibilidad es de dos tipos: en un cruzamiento dado, tal vez no se forme ninguna semilla a pesar del empleo de polen viable en estigmas en potencia receptivos. La barrera para el cruzamiento es completa. En otros cruzamientos, se puede obtener una formación parcial o completa de semillas, pero la proporción de genotipos de esperma utilizados en la fecundación no es la misma que la que está presente en el polen viable. Algunos granos de polen con ciertos genotipos pueden ser incapaces de funcionar en determinados pistilos, o ser excluidos por la competencia con el polen de otros genotipos. La compatibilidad parcial se detecta en forma operativa por el crecimiento diferencial del tubo polínico y la distorsión de la recuperación de alelos acoplados a los genes de la incompatibilidad. La compatibilidad parcial puede ser simulada en cruzamientos controlados usando mezclas de polen. Se ha observado la incompatibilidad tanto completa como parcial en *Zea mays*.

## Incompatibilidad dentro de *Zea mays* ssp. *mays*

Demeréc (1929) informó acerca del fracaso de la formación de semillas en una variedad de maíz reventador cuando se polinizó con una variedad de

maíz dentado. El cruzamiento recíproco tuvo éxito. Como la barrera era unilateral, se podían producir híbridos y progenies de generaciones avanzadas y analizar como carácter heredable la no receptibilidad de la variedad de maíz reventador. La diferencia entre la condición de receptivo y la de no receptivo resultó monogénica y fue mapeado el locus *Gametofito-1* (Schwartz, 1950). El alelo del maíz reventador (*Ga1-s*) es parcialmente dominante ya que los estigmas *Ga1-s Ga1-s* son en general no receptivos al polen (dentado) *ga1*, mientras que los estigmas *Ga1-s ga1-s* son parcialmente receptivos (Nelson, 1952). El sistema *Ga1-s : ga 1* es formalmente análogo a los genes responsables de las barreras interespecíficas que han sido definidas en varios géneros (por ejemplo, véanse Mutschler y Liedl, 1994, para una revisión reciente de esas barreras en *Lycopersicon*).

La no receptividad de *Ga1-s Ga1-s* al polen *ga* es un criterio útil al examinar las variedades para detectar la presencia del alelo *Ga1*. Así, la mayoría de los maíces reventadores resultaron *Ga1 Ga1* (Nelson, 1993). Todos los dentados y cristalinos norteamericanos ensayados eran *ga1 ga1*, mientras que muchas razas mexicanas y centroamericanas tenían el alelo *Ga1*.

Antes, Mangelsdorf y Jones (1926) habían identificado a *ga1* como un sitio en el cromosoma 4 del maíz que mostraba una transmisión preferencial de polen en ciertos cruzamientos. Cuando se autopolinizó el híbrido  $F_1$  entre el maíz reventador arrocillo y una estirpe *sugary-1*, o se usó al maíz reventador arrocillo como progenitor del polen en retrocruzamientos, se transmitió una región en el cromosoma 4, descendiente de la variedad de maíz reventador (*Ga1*), con la virtual exclusión de la correspondiente región de la variedad dulce (*ga1*). A causa del ligamiento entre *su1* y *ga1*, se presentaron granos del fenotipo dulce en alrededor del 16% (en lugar del 25%) de la progenie  $F_2$ . Se observó la segregación 50:50 normal cuando el progenitor dulce fue polinizado con la  $F_1$ . Como se observa distorsión

sólo en los estigmas portadores de *Ga1*, evidentemente el reconocimiento entre el polen y los estigmas es un aspecto de este fenómeno. Se han señalado factores de reconocimiento similares entre el polen y los estigmas en los cromosomas de maíz 1, 2, 3, 5, 6, 7 y 9 (Nelson, 1993). Sin embargo, sólo en el caso de *Ga1* el homocigoto *Ga Ga* impide la formación de semillas cuando *ga* es la única fuente de polen.

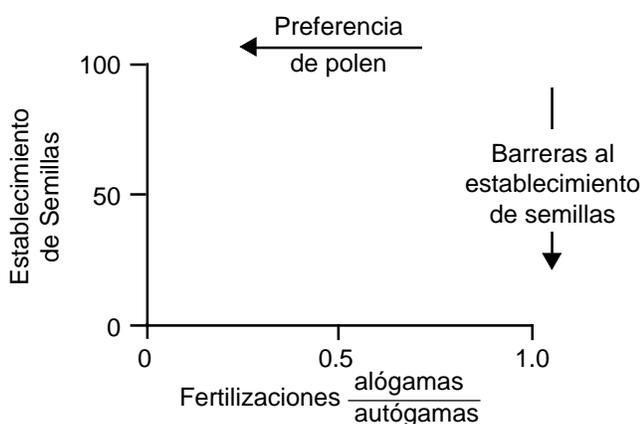
En un estudio anterior, Jones (1920) había descrito una prueba general para determinar la presencia de esos factores (gametofíticos) de preferencia del polen. Registró los resultados de mezclar polen de estirpes probadoras, cada una de ellas homocigótica para un carácter recesivo del grano, y aplicar la mezcla a los dos progenitores donadores. El empleo de distintos caracteres recesivos en los dos progenitores permitió determinar las proporciones de semillas autofecundadas y cruzadas. Comparando las proporciones relativas de granos de progenies autofecundadas y cruzadas en los dos casos, Jones pudo inferir si el polen autofecundado o cruzado tenía una ventaja comparativa. Casi siempre, y a veces en un grado considerable, el polen autofecundado tenía una ventaja comparativa. Mientras que los efectos de distorsión de la segregación de los genes vinculados a un factor gametofítico prueban únicamente una sola región cromosómica, el diseño de Jones es global pues permite determinar la existencia de esos factores en todo el genoma.

Recientemente hemos usado la formación reducida de semillas conjuntamente con una forma modificada de la técnica de Jones de la mezcla de polen para estudiar la interacción entre los factores *Ga*. El polen que confiere color a la aleurona, proveniente de una estirpe que no tiene factores *Ga* conocidos, se mezcla con una estirpe incolora que tiene un determinado alelo *Ga*, y se coloca la mezcla sobre estirpes incoloras con diversas composiciones *Ga*. Se presentan los resultados mediante el trazado de dos variables, de la

forma que se muestra en la Figura 1. La dispersión con respecto al eje Y refleja la formación reducida de semillas; la dispersión con respecto al eje X refleja la preferencia de polen.

### Factores de compatibilidad en *Zea mays* ssp. *mexicana* y ssp. *parviglumis*

La limitada información disponible acerca de los factores gametofíticos en los grupos taxonómicos del teocintle se deriva de los intentos de cruzamientos con *Zea mays* ssp. *mays*. Los teocintles diploides en general polinizan con éxito a los maíces dentados estadounidenses. Los cruzamientos en la dirección recíproca son menos controlables y a menudo fracasan. Ting (1963) practicó la polinización de seis colecciones de teocintle mexicano diploide con la variedad de maíz cristalino "Wilbur" (*ga1 ga1*). En las plantas de cuatro de las seis colecciones la formación de semillas fue deficiente o no se produjo. En el proceso de introducir el citoplasma de teocintle en el



**Figura 1. Gráfica de dos variables usada para visualizar los resultados de los experimentos con mezclas de polen. Se mezcla el polen de dos fuentes y se aplica a diversos genotipos. Se evalúan las mazorcas resultantes para determinar el porcentaje de formación de semillas y se clasifican las progenies según la paternidad.**

maíz mediante el retrocruzamiento, polinizamos seis colecciones de la subespecie *mexicana* y seis colecciones de la subespecie *parviglumis* con las líneas endogámicas estadounidenses W22 y W23, ambas *ga1 ga1*. Los cruzamientos en la mayoría de las plantas de las colecciones de *parviglumis* fueron fructíferos. Cinco de los seis cruzamientos con *mexicana* produjeron muy poca o ninguna semilla. En dos casos introdujimos la barrera en la línea endogámica W22 mediante la selección repetida para obtener la no receptividad (Kermicle y Allen, 1990).

Las dos estirpes que contienen la barrera descienden de miembros de las colecciones de Wilkes (1967) clasificadas como razas Chalco y Mesa Central. En la estirpe retrocruzada la barrera derivada de Chalco fue heredada en forma monogénica. Según los criterios de cruzabilidad con estirpes *Ga1-s Ga1-s* establecidas, la distorsión de las proporciones de *su1* en la  $F_2$  y el alelismo, se comportó como *Ga1-s*. La barrera extraída de la colección de la raza Mesa Central se comportó en forma diferente. Esta estirpe polinizó con éxito estirpes probadoras *Ga1-s* y *ga1*, pero rechazó el polen de ambas. En *Ga1*, tenía un alelo que le permitió polinizar *Ga1-s Ga1-s*. Cuando está presente sólo, este alelo *Ga1* no causa el rechazo del polen *ga1*. Un alelo de ese tipo, que tiene el polen pero no el potencial de estigmas de *Ga1-s*, fue identificado anteriormente en una línea endogámica derivada del maíz reventador arrocillo blanco (Jiménez y Nelson, 1965; Maletskii, 1970; Ashman, 1981). El factor o los factores que confieren la especificidad a la barrera que tiene el teocintle Mesa Central se localizan en un locus que se encuentra a una distancia de cuatro unidades de mapa de *sugary1* en el cromosoma 4. Designamos *gat* a este locus. En conjunción con *ga1*, la barrera conferida por las plantas *Gat gat* es débil, y la de las plantas *Gat Gat* es sólo moderadamente fuerte. No obstante, en combinación con el alelo único de *ga1* presente en la raza Mesa Central, la barrera es fuerte, aun en las plantas heterocigotas.

El empleo de mezclas de polen revela una relación funcional entre los alelos *ga1* y *gat*. El polen portador de *Gat* es preferido al que tiene *gat* en los estigmas *Ga1-s ga1*; asimismo, el polen *Ga1-s* es preferido al *ga1* en los estigmas que tienen una barrera *Gat* moderadamente fuerte.

Con los auspicios del CIMMYT, Castro Gil (1970) usó mezclas de polen para determinar si el polen de teocintle podía competir con éxito con el maíz cuando se lo aplicaba a los estigmas de maíz. Mezcló polen de teocintles de Chalco y Guerrero con una cantidad igual de polen de numerosas razas de maíz mexicanas y centroamericanas; luego probó la mezcla en plantas de la raza de maíz donadora. Se clasificaron las progenies como maíz o como híbridos de maíz-teocintle. Aproximadamente en la mitad de las pruebas no se produjeron descendientes híbridos, mientras que en otras hubo un porcentaje bajo de híbridos. Sólo 5 de las 57 combinaciones probadas produjeron más de 10% de descendientes híbridos. Para la comparación, se polinizaron las plantas de 14 líneas de maíz sólo con polen de teocintle. En todos los casos se obtuvo una buena formación de semillas. Como no se encontró una barrera absoluta para la hibridación, Castro Gil concluyó que la competencia del polen era responsable de la falta o la cantidad reducida de híbridos resultantes de las mezclas.

### **Posible función de la incompatibilidad entre el polen y los estigmas en la hibridación *in situ* del maíz y el teocintle**

En comparación con un ambiente natural, las condiciones experimentales para estudiar la compatibilidad son muy artificiales. El polen de una determinada fuente —puro a menos que sea mezclado deliberadamente— se aplica una sola vez a estigmas preparados, con la exclusión de otros agentes polinizantes. No se sabe mucho acerca de la historia natural de las poblaciones *in situ* para relacionar

directamente los datos obtenidos en cruzamientos controlados con las poblaciones. Quizás la evidencia disponible sea más útil para formular las preguntas pertinentes. La primera es si la incompatibilidad desempeña alguna función para aislar el maíz y el teocintle.

Los investigadores con experiencia a menudo detectan híbridos de maíz-teocintle en milpas infestadas con teocintle. La mayoría de los informes señalan que esos híbridos no son frecuentes. A menudo son raros en comparación con las expectativas, basadas en cruzamientos aleatorios entre el maíz y el teocintle. Por ejemplo, si el apareamiento al azar sin ninguna selección o migración se produjera en una población que tiene un 90% de plantas de maíz y un 10% de plantas de teocintle, la proporción de híbridos en relación con las plantas de teocintle en la siguiente generación sería de 18:1. No obstante, los híbridos siempre han sido una clase minoritaria. Muchos factores, incluida la intervención humana, contribuyen al aislamiento del maíz y el teocintle. La presencia de barreras para el maíz dentado en los teocintles mexicana, que típicamente crecen en estrecha asociación con el maíz, junto con la ausencia de barreras en los teocintles *parviglumis*, que por lo general crecen en franjas densas fuera de los campos de maíz, hace presumir que esas barreras cumplen una función en el aislamiento.

La incompatibilidad sirve como un mecanismo aislante estable sólo si es bilateral. Los sistemas del maíz reventador (*Ga1-s*) o del teocintle Mesa Central (*Gat*), actuando en forma individual, constituyen barreras unilaterales con respecto a *ga1 ga1:gat gat*. Algún otro factor, como el momento de la floración o la selección humana, podrían contribuir al aislamiento bilateral. También es posible que los factores de la compatibilidad actúen en parejas. Por ejemplo, las estirpes de maíz reventador y de teocintle con barreras son recíprocamente incompatibles. ¿Existen esas parejas en las poblaciones simpátricas? No lo

sabemos. En ningún caso se ha informado la compatibilidad mutua de poblaciones simpátricas, ya sea en términos de la formación de semillas cruzadas o conforme al criterio de Jones de la competencia del polen. Si la compatibilidad bilateral es general, presumiblemente parejas diferentes se vuelven fijas en sitios distintos, ya que una población de teocintle portaba *Ga1-s* pero la otra tenía *Gat*.

### Literatura citada

- Ashman, R. B. 1981. Failure to verify the *Ga9* locus on chromosome 4. *Maize Gen. Coop. Newsletter* 55:50-51.
- Castro Gil, M. 1970. Frequencies of maize by teosinte crosses in a simulation of a natural association. *Maize Gen. Coop. Newsletter* 44: 21-24.
- Demeréc, M. 1929. Cross sterility in maize. *Zeits. i. Abst. u. Verer* 50: 281-291.
- Hogenboom, N. G. 1973. A model for incongruity in intimate partner relationships. *Euphytica* 22:229-233.
- Jiménez, J. R. and O. E. Nelson. 1965. A fourth chromosome gametophyte locus in maize. *J. Heredity* 56:259-263.
- Jones, D. F. 1920. Selective fertilization in pollen mixtures. *Biol. Bulletin* 38:251-289.
- Kermicle, J. L. and J. O. Allen. 1990. Cross-incompatibility between maize and teosinte. *Maydica* 35:399-408.
- Maletskii, S. I. 1970. A new allele of the gametophytic gene in the fourth chromosome of corn. *Soviet Genetics* 6: 149-153.
- Mangelsdorf, P. C. and D. F. Jones. 1926. The expression of Mendelian factors in the gametophyte of maize. *Genetics* 11: 423-455.
- Mutschler, M. and B. E. Liedl. 1994. Interspecific crossing barriers in *Lycopersicon* and their relationship to self-incompatibility. En: E. G. Williams *et al.*, (eds.) *Genetic control of self-incompatibility and reproductive control in flowering plants*. Kluwer Press. pp. 164-188.
- Nelson, O. E. 1952. Non-reciprocal cross-sterility in maize. *Genetics* 37: 101-124.
- Nelson, O. E. 1993. The gametophyte factors of maize. En: M. Freeling and V. Walbot, (eds.) *The Maize Handbook*. Springer-Verlag.
- Schwartz, D. 1950. The analysis of case of cross sterility in maize. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 36: 719-724.
- Ting, Y.C. 1963. A preliminary report on the 4th chromosome male gametophyte factor in teosintes. *Maize Gen. Coop. Newsletter* 37: 6-7.
- Wilkes, H. G. 1967. *Teosinte: the closest relative of maize*. The Bussey Institution of Harvard University.

# Revisión del estudio de la introgresión entre maíz y teocintle

T. Angel Kato Y.

Programa de Genética, IREGEP, Colegio de Postgraduados

## Introducción

Durante mucho tiempo, la gran variación intra e interracial que se observa tanto en el maíz como en el teocintle, se atribuyó al gran intercambio de genes que las poblaciones de estas plantas habrían llevado a cabo mediante el proceso de introgresión. Esta idea ha prevalecido hasta ahora y se mantiene vigente entre algunos investigadores de maíz y teocintle (Mangelsdorf, 1961, 1974; Wilkes, 1967, 1970, 1977, 1979, 1986). Empero, la información generada por el análisis de nudos cromosómicos y cromosomas especiales (Kato 1976, 1984; Kato y López, 1990) y el análisis morfológico-ecológico (Doebly, 1984) en maíz y teocintle, ha conducido a dudar de la validez absoluta de la interpretación arriba mencionada sobre las relaciones genéticas entre las poblaciones de estas plantas. Los resultados obtenidos (Doebly, 1984; Kato y López, 1990) implican que 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. Sin embargo, no se descarta completamente la posibilidad de una baja frecuencia de introgresión ya que en muchas regiones conviven simpátricamente y forman híbridos fértiles.

La importancia de aclarar este problema se relaciona tanto con cuestiones académicas como prácticas. Los aspectos académicos apuntan al estudio del origen taxonómico del género *Zea*, las segundas involucran aspectos de aprovechamiento del teocintle en el mejoramiento genético del maíz. Además, el desarrollo de variedades transgénicas de maíz mediante la ingeniería genética requiere conocer el

grado de recurrencia de introgresión entre maíz y teocintle y cuál es la influencia que tendría para ambas especies. De esto dependen las decisiones que puedan tomarse por cuanto a la conveniencia o no, de la introducción y liberación comercial del maíz transgénico, debido al riesgo que involucra la transmisión de transgenes a las poblaciones nativas de maíz y de teocintle.

El propósito del presente trabajo es revisar parte de los datos obtenidos del estudio de los nudos cromosómicos ya publicados y algunos otros obtenidos recientemente, con el fin de reanalizar las ideas expresadas en publicaciones anteriores sobre la introgresión entre maíz y teocintle.

## Constitución general de nudos cromosómicos

Comparando la constitución general de nudos cromosómicos del maíz (*Zea mays*) y la de los teocintles perennes de Jalisco (*Z. perennis*; *Z. diploperennis*), del anual mexicano (*Z. mays* ssp. *mexicana*) y en los anuales de Guatemala (*Z. luxurians*) se encontraron las diferencias y similitudes que se anotan enseguida.

El análisis de un gran número de plantas y colecciones de maíz provenientes de todo el continente americano ha mostrado que solamente 21 posiciones pueden poseer algún tipo de nudo en frecuencias muy variadas (McClintock *et al.*, 1981). De estas 21 posiciones, 18 son intercalares y 3 terminales (4C<sub>2</sub>, 7C y 9C). El teocintle anual mexicano (*Z. mays* ssp. *mexicana*) ha mostrado, además de las 21 posiciones observadas en maíz, 10 intercalares y 3 terminales,

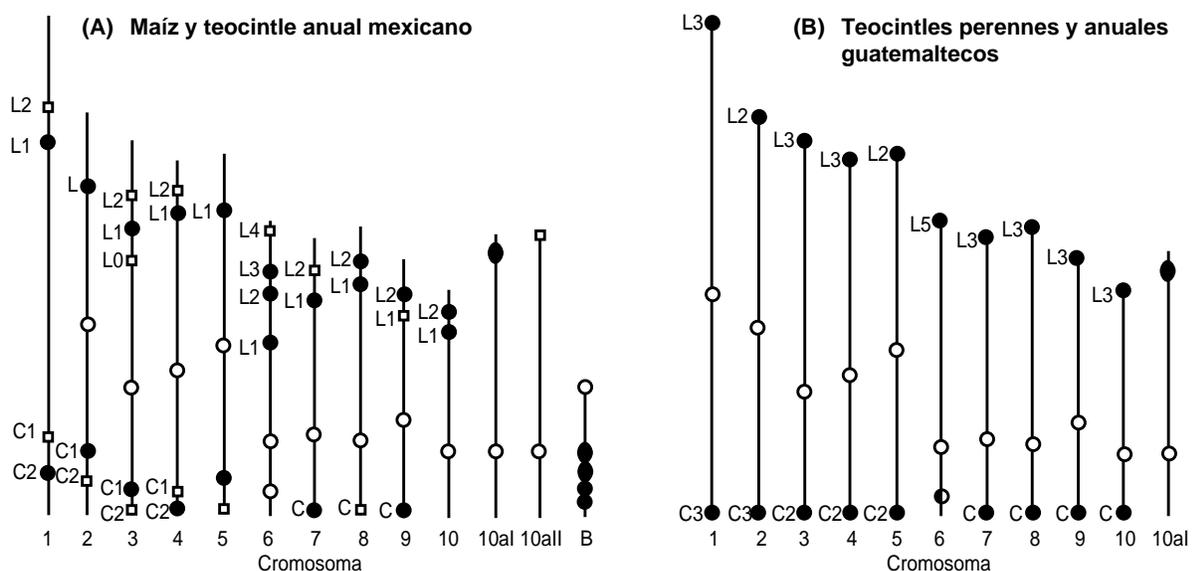
haciendo un total de 34 posiciones (Kato, 1976). Por tanto, en este teocintle existen nudos en 13 posiciones de nudo que no se han encontrado en el maíz (Figura 1A). Esta diferencia entre el maíz y el teocintle anual mexicano, muestra claramente que los nudos de estas 13 posiciones no han sido transferidos de este teocintle al maíz mediante el proceso de introgresión.

Por otro lado, si se observa la constitución general de nudos de los teocintles perennes de Jalisco y los anuales de Guatemala, se encuentra que todos sus nudos son terminales (Figura 1B); de los cuales 3 posiciones ( $4C_2$ ,  $7C$ , y  $9C$ ) son compartidos con el maíz y 6 posiciones ( $3C_2$ ,  $4C_2$ ,  $5C_2$ ,  $7C$ ,  $8C$  y  $9C$ ) se encuentran tanto en estos teocintles como en los anuales mexicanos (Kato, 1976; Kato y López, 1990; Longley, 1937; McClintock *et al.*, 1981). Así, los teocintles perennes y los anuales de Guatemala poseen 16 posiciones de nudo terminales que no se han observado en el maíz y 13 posiciones de nudo, también terminales, que no han sido encontrados en el teocintle anual mexicano. Esta situación indica que los nudos de 16 posiciones de estos teocintles no han sido transferidos al maíz y que los de 18 posiciones de este

último tampoco han pasado a los primeros mediante la introgresión. Parece difícil también que los nudos de 13 posiciones de los teocintles perennes y anuales guatemaltecos hayan sido introducidos a los anuales mexicanos por el proceso de introgresión ya que, hasta donde se sabe, no existen poblaciones simpátricas de estos teocintles.

Lo descrito anteriormente se refiere exclusivamente a las posiciones cuyos nudos no evidencian la introgresión del maíz al teocintle y viceversa; pero también existe la posibilidad de que los genes íntimamente ligados a ellos tampoco sean transferidos. Por otro lado, muchos de los cromosomas no poseen nudos en esas posiciones, por lo que la información existente no descarta la posibilidad de que los genes no ligados a esos nudos puedan ser transferidos. Desde luego, esta idea puede aplicarse a todos los genes que se localizan en los segmentos cromosómicos en que no existen nudos.

Longley (1937) reporta la única evidencia (en cuanto a nudos se refiere) que existe en la literatura sobre la posibilidad de introgresión; en este trabajo se



**Figura 1. Ideogramas de cromosomas paquítenicos de maíz y teocintle anual mexicano (A); teocintles perennes y anuales guatemaltecos (B). Los centrómeros están representados por círculos blancos; los círculos negros representan posiciones de nudos y los cuadros blancos indican posiciones de nudos específicos del teocintle anual mexicano.**

comunica haber observado en dos plantas de teocintle de San Antonio Huixta, Huehuetenango, Guatemala, dos nudos intercalares pequeños, uno en el brazo corto del cromosoma 4 (corresponde a la posición  $4C_1$ ) y otro en el brazo largo del cromosoma 6. Esto indicaría una baja frecuencia de introgresión del maíz a este teocintle guatemalteco. Sin embargo, existe una interpretación alternativa de esta información: no se han encontrado nudos en la posición  $4C_1$  en el maíz a pesar de la gran cantidad de plantas y colecciones de esta planta examinadas hasta la fecha (McClintock *et al.*, 1981; Kato 1976); solamente se ha encontrado en los teocintles anuales mexicanos. Esto hace pensar que los nudos observados por Longley (1937) posiblemente no han provenido del maíz, sino que son remanentes raros que existieron en los ancestros de este teocintle guatemalteco si se adopta el esquema filogenético propuesto por Kato y López (1990), en el cual concibe que los miembros del género *Zea* son producto de la diversificación a partir de un ancestro común que poseía tanto nudos terminales como intercalares en condición polimórfica.

Una información que frecuentemente se cita en la literatura como evidencia de introgresión del maíz hacia el teocintle de Huehuetenango, Guatemala, son las observaciones de Ting (1958) en plantas  $F_1$  de la cruce entre el teocintle de Huixtla y los maíces sin nudos cromosómicos (Wilbur's Flint y Conn. P 39) en las que encuentra seis nudos intercalares y dos terminales, pero ninguno de los nudos terminales típicos de este teocintle. Esto hace dudar de esta información como evidencia de la introgresión apuntada.

En estudios sobre isoenzimas en los teocintles perennes y guatemaltecos, Doebley *et al.* (1984) encuentran que varias plantas de *Z. luxurians* mostraron el alelo *Glu1-7*, que es frecuente en el maíz pero que no se conocía en ninguno de estos teocintles. También encontraron en una planta de *Z. diploperennis*, dos alelos (*Enp1-8* y *Pgd1-3.8*), que con frecuencia se

encuentran en el maíz, pero eran desconocidos en este teocintle. Concluyen que estos resultados son evidencia de que estos alelos fueron transferidos del maíz por introgresión.

## **Introgresión entre maíz y teocintle anual mexicano**

En la sección anterior se ha mencionado que en el teocintle anual mexicano existen 13 posiciones de nudo que no se han encontrado en el maíz; este hecho muestra que esos nudos no se han transferido por introgresión. Sin embargo, dado que estos dos tipos de plantas poseen en común nudos en 21 posiciones adicionales en frecuencias variadas, el análisis de la introgresión entre estas plantas se hace más difícil y complejo.

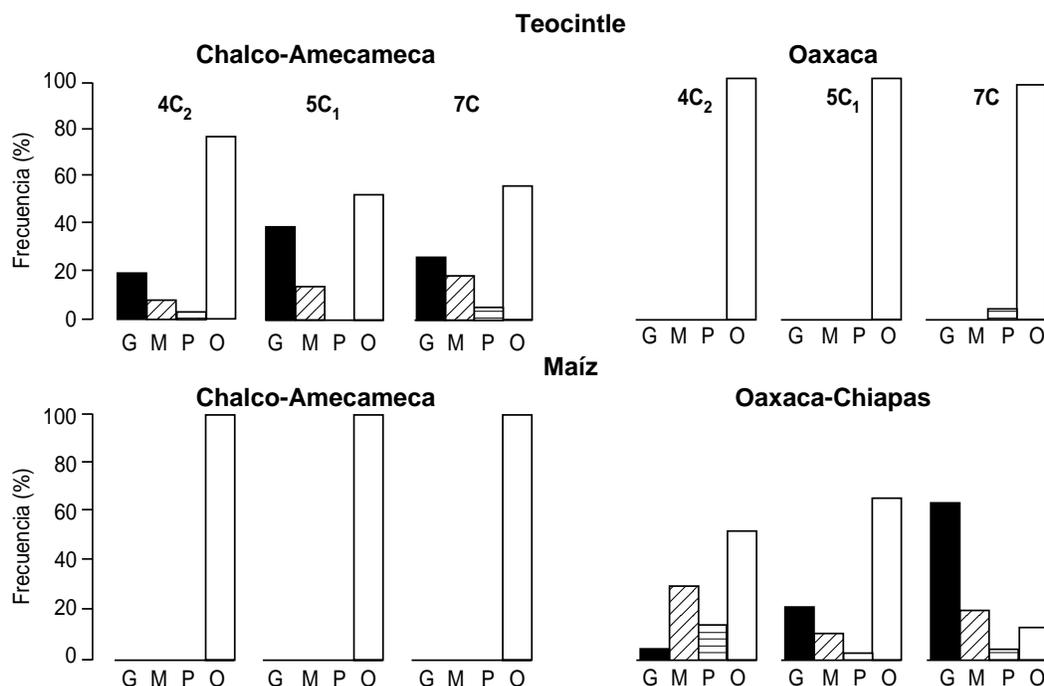
Es muy ilustrativo, en relación con la introgresión, el análisis comparativo de las frecuencias de los nudos en las posiciones  $4C_2$ ,  $5C_1$ , y  $7C$  que se han observado en las poblaciones de maíz y teocintle anual mexicano en diferentes regiones de México. En primer lugar, si se considera la región Chalco-Amecameca localizada en el sureste del estado de México, se encuentra que en las poblaciones de teocintle estos nudos se han observado en frecuencias relativamente altas, mientras que en las de maíz analizadas de esa región están ausentes (Figura 2). Esta información condujo a Kato (1976; 1984) a concluir que la introgresión entre maíz y teocintle de Chalco-Amecameca no ocurre y no ha ocurrido durante mucho tiempo, a pesar de que en la actualidad es una de las regiones en donde el cruzamiento espontáneo sucede año con año produciendo híbridos fértiles, que según recuentos hechos por Wilkes (1967), se encuentran de 5 a 9% en diferentes campos.

Por el contrario, en la región de Oaxaca-Chiapas del sur de México el maíz, especialmente de la raza Zapalote Chico, posee nudos en  $4C_2$ ,  $5C_1$  y  $7C$  en relativa frecuencia alta similar al del teocintle de

Chalco-Amecameca y casi ausentes en el teocintle recientemente descubierto en San Salvador, Juchatengo, Oaxaca (Wilkes 1986) (Figura 2). Se dice "casi ausentes" ya que en este teocintle se observó la presencia de dos nudos pequeños en 7C en dos plantas de las 31 analizadas. Otras razas de maíz de esta región, como Zapalote Grande y Bolita, poseen estos nudos en frecuencia más baja que en Zapalote Chico. En este caso, la interpretación lógica es que estos nudos en el maíz no provienen del teocintle por introgresión. Por otro lado, los nudos pequeños observados en 7C en las plantas del teocintle, podrían ser resultado de introgresión del maíz al teocintle. Más adelante se volverá a discutir este punto.

Ahora, en la región de la cuenca del Balsas se encuentra que los teocintles (se incluye a los de Jalisco por ser morfológicamente similares) poseen nudos en  $4C_2$ ,  $5C_1$ , y 7C, pero en frecuencias muy variadas en las cuatro sub-regiones consideradas. Así, los nudos en  $4C_2$  se encuentran en relativa alta frecuencia en Jalisco, norte de Guerrero y Mazatlán, Gro., pero en

muy baja frecuencia en el este de Michoacán y suroeste del estado de México; los de la posición  $5C_1$ , fueron encontrados en frecuencia muy baja en las cuatro sub-regiones; y los de 7C en relativa alta frecuencia en Jalisco, este de Michoacán y suroeste del estado de México y en el norte de Guerrero, pero en frecuencia muy baja en Mazatlán (Guerrero). Por el contrario, en el maíz de esta región del Balsas no se encuentran estos nudos o están presentes en frecuencias muy bajas (Figura 3). Esta información parece indicar que estos nudos han sido transferidos del teocintle al maíz por introgresión. Esta situación constituye una contradicción en relación a lo que prevalece en la región Chalco-Amecameca para estos mismos nudos. Según observaciones de campo de Wilkes (1967) en Chalco-Amecameca el cruzamiento entre maíz y teocintle es muy frecuente y sin embargo los datos de los nudos en cuestión indican que no hay introgresión de ellos del teocintle al maíz; en cambio en el teocintle tipo Balsas (*Z. mays* ssp. *parviglumis*) en que, según el mismo investigador, la formación de híbridos es muy infrecuente, la información de nudos

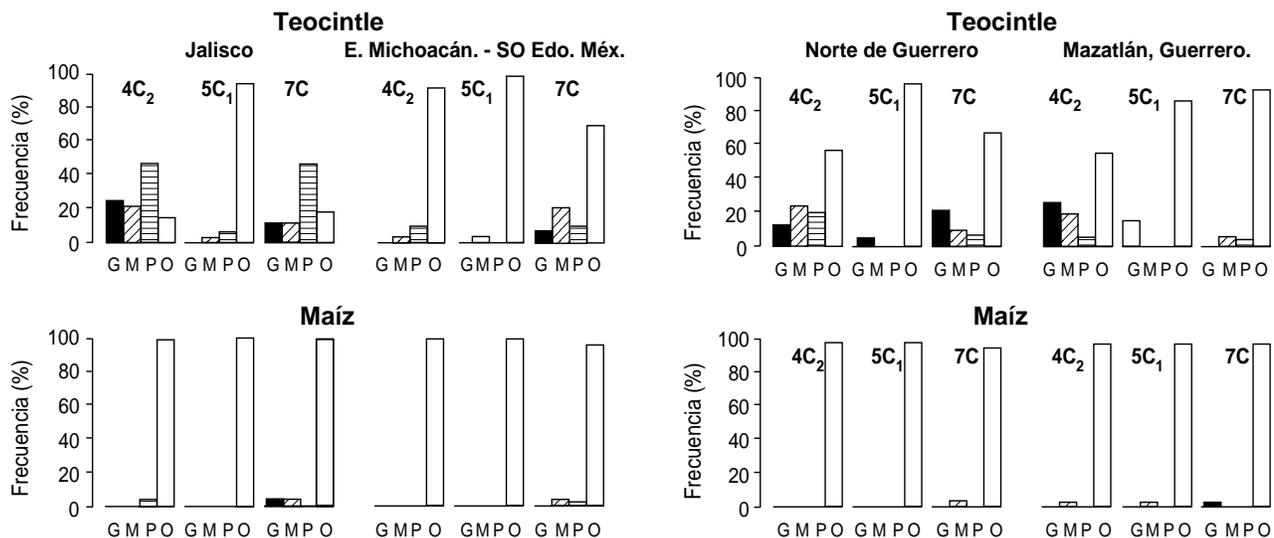


**Figura 2. Distribución de frecuencias de nudos grandes (G), medianos (M), pequeños (P) y ausencia de nudos (O) en las posiciones  $4C_2$ ,  $5C_1$  y 7C en el teocintle y maíz de Chalco-Amecameca y Oaxaca-Chiapas.**

sugiere que éstos probablemente sí se han transferido del teocintle al maíz. Si lo anterior es correcto, entonces puede pensarse que los nudos en las mismas posiciones adquieren valores adaptativos diferentes en poblaciones de distintos ambientes, por lo que en algunos lugares la introgresión es posible ya que un nudo dado puede adaptarse al ambiente genético y ecológico al que es transferido y ser mantenido en la nueva población.

Utilizando los datos de nudos cromosómicos de Kato (1976), Smith y Goodman (1981) hicieron un estudio estadístico en el que comparan las frecuencias de nudos de poblaciones simpátricas y alopátricas de maíz y teocintle. Clasifican cada posición de nudo e interpretan las diferencias en términos de introgresión, selección, diferenciación y similitudes o diferencias ancestrales. Uno de sus resultados es que en el norte de Guerrero ocurre la introgresión en un número mayor de posiciones de nudo que en Chalco, donde las diferencias entre maíz y teocintle son mejor explicadas en términos de selección, diferenciación locales y diferencias ancestrales.

Existe otra interpretación a la presencia de nudos en las posiciones  $4C_2$ ,  $5C_1$  y  $7C$  en el maíz de la región del Balsas. Como se describió en párrafos anteriores, estos nudos se encuentran en alta frecuencia en los Zapalotes de Oaxaca-Chiapas; fuera de estos maíces estos nudos se encuentran distribuidos en baja frecuencia hacia el norte a lo largo de la faja costera del Pacífico hasta el noroeste de México y hacia el sur en algunos países centroamericanos. Este patrón de distribución condujo a Kato (1984), McClintock (1978) y McClintock *et al.* (1981) a proponer que la región de Oaxaca-Chiapas fue uno de los centros de domesticación de un maíz primigenio que poseía estos nudos, actualmente representado por los Zapalotes, germoplasma que posteriormente se dispersó mediante los movimientos humanos del pasado a los territorios antes mencionados. Por consiguiente, la existencia en baja frecuencia de estos nudos en la región del Balsas, es el resultado de la influencia de ese maíz primigenio y no necesariamente de la introgresión del teocintle. De cualquier manera, aun cuando se acepte esta interpretación no se podría descartar la posibilidad de que en la región del Balsas algunos de estos nudos observados en el maíz sean transferencias por introgresión del teocintle.



**Figura 3. Distribución de frecuencias de nudos grandes (G), medianos (M), pequeños (P) y ausencia de nudos (O) en las posiciones  $4C_2$ ,  $5C_1$  y  $7C$  en el teocintle y maíz de Jalisco, este de Michoacán, suroeste del estado de México, norte de Guerrero y Mazatlán, Guerrero.**

El hecho de que en el teocintle de Oaxaca se haya encontrado algunos nudos en la posición 7C y una alta frecuencia de ellos en el maíz Zapalote Chico, no necesariamente debe indicar una introgresión de este maíz al teocintle. Se ha visto que en la región del Balsas los nudos en 4C<sub>2</sub>, 5C<sub>1</sub> y 7C también se encuentran en muy baja frecuencia en distintas sub-regiones: 4C<sub>2</sub> en el este de Michoacán-suroeste del estado de México, 5C<sub>1</sub> en las cuatro sub-regiones y 7C en Mazatlán en el centro de Guerrero (Figura 3). Por lo tanto, cualesquiera que sean las causas de la baja frecuencia de estos nudos en los teocintles de estas sub-regiones, podrían ser las mismas que han determinado que en el teocintle de Oaxaca los nudos en 7C se mantengan en baja frecuencia y ausentes los de 4C<sub>2</sub> y 5C<sub>1</sub>.

En cuanto a los estudios isoenzimáticos, se ha encontrado que algunos alelos, como *Glu1-8* y *Enp1-14*, muestran evidencia de introgresión en baja frecuencia de teocintle al maíz en la altiplanicie de México. Por otro lado, la constitución isoenzimática del maíz y del teocintle de la cuenca del Balsas ha resultado ser tan similar, que no ha sido de utilidad para analizar aspectos relacionados con la introgresión (Doebley *et al.*, 1984; 1987).

## Valor adaptativo de los nudos cromosómicos

Analizando con más detalle los datos de nudos cromosómicos en las otras posiciones, es decir, excluyendo los ya descritos en la sección anterior (4C<sub>2</sub>, 5C<sub>1</sub> y 7C), del maíz y del teocintle de la región de Chalco-Amecameca, se encuentra lo siguiente. Como puede observarse en el Cuadro 1 y la Figura 4, el teocintle mantiene una alta frecuencia de nudos en las cuatro sub-regiones en las que se dividió esta región; por el contrario, en la gran mayoría de las posiciones los nudos muestran una clara tendencia a disminuir sus frecuencias de norte a sur, es decir, cuando se va de Chalco-Zoquiapan a Juchitepec-Tepetlixpa pasando por Temamatla-Tlalmanalco. Esto sugiere que la selección, tanto natural como artificial, actúa indirectamente sobre los nudos cromosómicos de las poblaciones de estas sub-regiones. Mientras que en el teocintle la selección natural tiende a favorecer la permanencia de los nudos en alta frecuencia en las poblaciones de toda la región. Lo anterior parece indicar que la selección actúa independientemente sobre las poblaciones de maíz y teocintle y en forma

**Cuadro 1. Frecuencias globales, en porcentaje, de los nudos en diferentes posiciones en las poblaciones de maíz (MZ) y teocintle (TC) de la región de Chalco-Amecameca en el sureste del estado de México (Datos de Kato 1976, McClintock *et al.*, 1981, y algunos inéditos).**

Sub-región	Posiciones de nudo y tipo de planta																		
	1C <sub>2</sub>		1L <sub>1</sub>		2C <sub>1</sub>		2L <sub>1</sub>		3C <sub>1</sub>		3L <sub>1</sub>		4L <sub>1</sub>		5L <sub>1</sub>		6L <sub>1</sub>		
	MZ	TC	MZ	TC	MZ	TC	MZ	TC	MZ	TC	MZ	TC	MZ	TC	MZ	TC	MZ	TC	
Distrito Federal	-	71.4	-	85.7	-	76.2	-	80.9	-	23.8	-	80.9	-	95.2	-	83.3			
Chalco-Zoquiapan	35.5	71.7	7.6	84.8	56.7	80.4	20.1	91.3	5.7	10.9	68.2	82.6	77.9	91.3	91.3	84.7	28.8	91.3	
Temamatla-Tlalmanalco	31.8	75.0	4.6	80.4	38.6	66.1	31.8	85.6	9.1	8.9	34.0	96.4	63.6	83.9	70.4	89.3	29.5	83.9	
Juchitepec-Tepetlixpa	11.4	81.8	9.5	95.4	28.9	63.6	4.3	72.7	8.8	9.1	36.0	86.3	38.5	90.9	54.3	90.9	17.5	72.7	

Sub-región	Posiciones de nudo y tipo de planta																		
	6L <sub>2</sub>		6L <sub>3</sub>		7L <sub>1</sub>		8L <sub>1</sub>		8L <sub>2</sub>		9C		9L2		10L <sub>1</sub>		10L <sub>2</sub>		
	MZ	TC	MZ	TC	MZ	TC	MZ	TC	MZ	TC	MZ	TC	MZ	TC	MZ	TC	MZ	TC	
Distrito Federal	-	26.2	-	16.7	-	83.3	-	80.9	-	11.9	-	69.9	-	0.0	-	0.0	-	26.2	
Chalco-Zoquiapan	3.8	19.5	11.5	10.9	79.8	91.2	57.6	82.6	0.2	0.2	74.0	67.4	0.0	0.0	0.0	0.0	3.8	21.7	
Temamatla-Tlalmanalco	4.5	12.5	11.3	10.7	63.6	96.4	38.6	89.3	0.0	0.5	54.5	60.7	0.0	0.0	0.0	14.3	2.3	12.5	
Juchitepec-Tepetlixpa	0.9	18.2	6.1	9.1	35.0	90.9	31.5	72.7	0.2	0.0	24.6	45.4	0.0	0.0	0.0	0.0	7.9	0.0	

indirecta sobre los nudos cromosómicos, debido a que éstos pueden adquirir valores adaptativos distintos en los dos tipos de plantas.

Como en los casos de los nudos de las posiciones  $4C_2$ ,  $5C_1$  y  $7C$  descritas en la sección anterior, en el maíz y el teocintle de la cuenca del Balsas se encuentra que las

frecuencias de nudos de cada una de las posiciones es muy variada entre diferentes regiones, no habiendo una relación definida entre las frecuencias de las poblaciones de las dos plantas (Cuadro 2). La explicación para esta situación es la misma que la recién dada para el maíz y el teocintle de la región de Chalco-Amecameca.

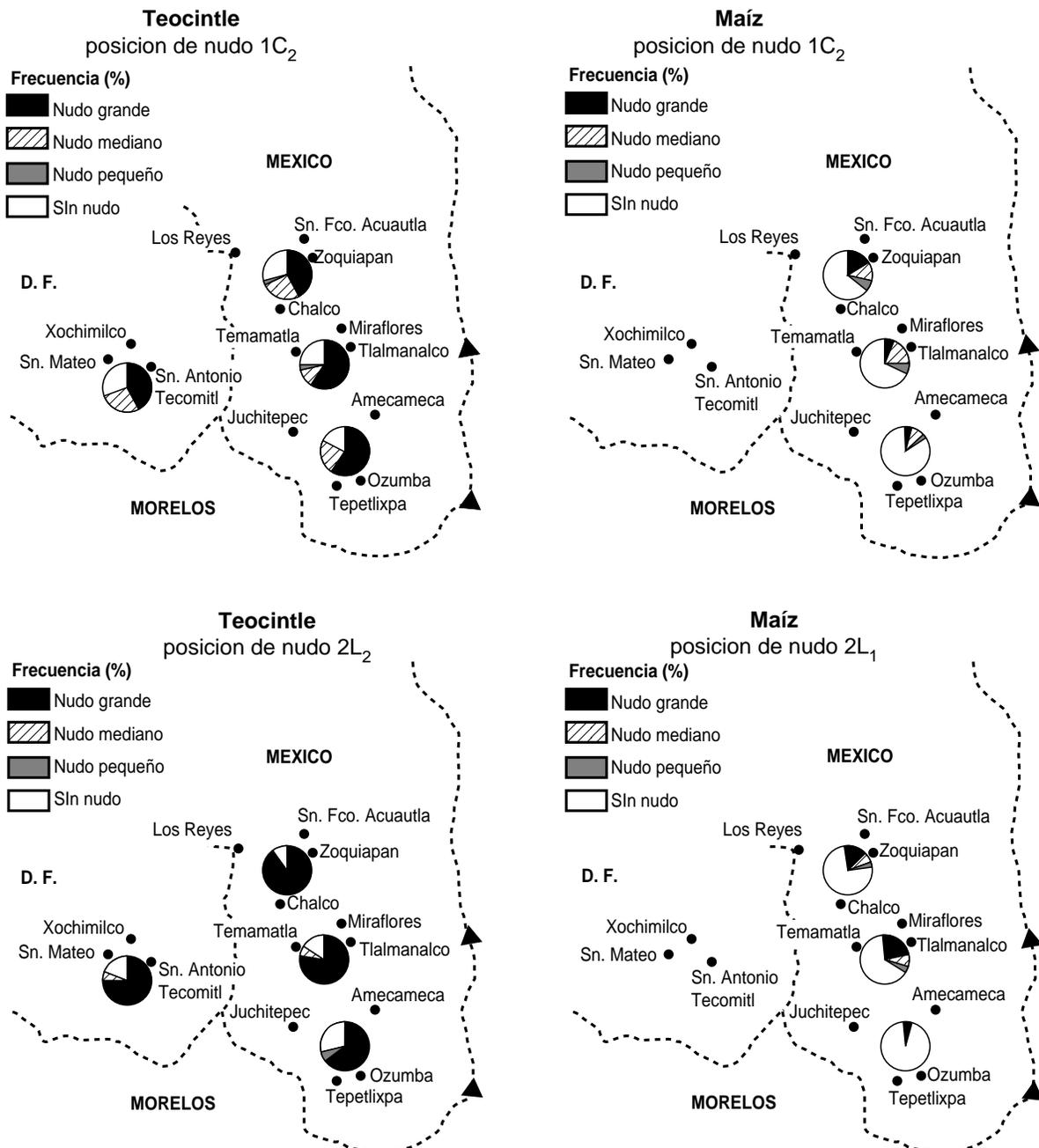


Figura 4. Distribución de frecuencias de nudos en las posiciones  $1C_2$  y  $2L_1$  en el teocintle y maíz de la región de Chalco-Amecameca.

Por otro lado, en la Figura 3 se observa que los nudos en la posición 7C, tanto en el maíz como en el teocintle de Mazatlán, Guerrero, se encuentran en bajas frecuencias, indicando que es improbable que sea el resultado de la introgresión del teocintle al maíz o viceversa, sino más bien que se ha llegado a esta situación por selección natural en el teocintle y natural y artificial en el maíz, como respuesta a los valores adaptativos que muestran estos nudos y las condiciones genéticas de las poblaciones y ecológicas del lugar.

En los Cuadros 1 y 2 se observa que en el teocintle existen nudos en la posición 10L<sub>1</sub> y en el maíz no. En todos los teocintles anuales de México se encuentra que las frecuencias promedio de estos nudos es de 11.9% con una variación desde su ausencia en los de Nabogame, Chihuahua, y hasta frecuencias de 12.9% en Jalisco y Oaxaca de 54.2% en Durango. Por otro lado, estos nudos se han encontrado solamente en los maíces de Oaxaca, Chiapas y Guatemala en frecuencias de 3.5, 3.7 y 3.6%, respectivamente y en frecuencias más bajas en otros países centroamericanos (Kato 1976; McClintock *et al.*, 1981). A partir de la información anterior, se puede concluir que no hay una relación

por introgresión entre el maíz y el teocintle, y por otra parte que la variación en frecuencias de estos nudos en las poblaciones de diferentes regiones, principalmente en el caso del teocintle, es debida a la acción diferencial de la selección sobre los nudos con diferente valor adaptativo.

## Discusión General

Un nuevo análisis, de una parte de los datos de nudos cromosómicos de Kato (1976), de McClintock *et al.* (1981) y algunos inéditos, descrito en la secciones anteriores, muestra que existen muchos de ellos que claramente no dan evidencia de transferencia por introgresión, del maíz al teocintle y viceversa. En otros casos, ciertos nudos no muestran introgresión del teocintle al maíz en unas regiones y evidencian que la transferencia de estos mismos nudos sí ocurre en otros lugares. También se han encontrado casos que parecen indicar transferencia de algunos nudos del maíz al teocintle. En todos los casos de posibles evidencias de introgresión se encuentran interpretaciones alternativas, basadas en la selección, migración y atavismo; pero estas explicaciones no son excluyentes, por lo que con la información existente

**Cuadro 2. Frecuencias globales, en por ciento, de los nudos en diferentes posiciones en las poblaciones de maíz (MZ) y teocintle (TC) de la cuenca del Balsas de México. (Datos de Kato, 1976, McClintock *et al.*, 1981 y algunos inéditos).**

Sub-región	Posiciones de nudo y tipo de planta																	
	1C <sub>2</sub>		1L <sub>1</sub>		2C <sub>1</sub>		2L <sub>1</sub>		3C <sub>1</sub>		3L <sub>1</sub>		4L <sub>1</sub>		5L <sub>1</sub>		6L <sub>1</sub>	
	MZ	TC	MZ	TC	MZ	TC	MZ	TC	MZ	TC	MZ	TC	MZ	TC	MZ	TC	MZ	TC
Jalisco-Nayarit	71.3	95.2	8.3	40.3	45.3	41.9	69.4	88.7	5.3	43.5	76.8	8.0	90.0	98.3	91.9	95.1	10.7	0.0
E. Mich.-SO. Méx.	35.2	56.1	13.6	8.8	31.0	42.1	34.2	34.1	8.6	20.1	39.7	21.0	61.4	67.5	66.3	72.8	11.9	4.3
N. Guerrero	53.5	66.7	1.8	19.8	15.4	57.9	47.2	65.1	0.0	54.7	42.0	34.1	86.3	80.1	88.3	90.4	0.9	0.0
Mazatlán, Gro.	50.0	21.1	0.7	28.8	11.0	71.1	53.6	30.8	0.0	36.5	31.6	13.4	84.5	36.5	86.8	73.0	1.5	1.9

Sub-región	Posiciones de nudo y tipo de planta																	
	6L <sub>2</sub>		6L <sub>3</sub>		7L <sub>1</sub>		8L <sub>1</sub>		8L <sub>2</sub>		9C		9L <sub>2</sub>		10L <sub>1</sub>		10L <sub>2</sub>	
	MZ	TC	MZ	TC	MZ	TC	MZ	TC	MZ	TC	MZ	TC	MZ	TC	MZ	TC	MZ	TC
Jalisco-Nayarit	49.1	100.0	40.1	87.1	90.2	62.9	81.7	58.0	39.1	75.8	75.9	100.0	9.8	43.5	0.0	0.4	4.4	1.6
E. Mich.-SO. Méx.	17.3	44.7	26.6	50.0	57.0	44.7	46.7	47.4	3.2	47.4	39.7	74.5	7.6	10.4	0.0	12.9	13.5	2.6
N. Guerrero	24.5	64.2	41.7	73.7	80.3	64.2	57.1	80.9	22.3	43.7	66.0	79.3	7.2	15.8	0.0	5.2	1.8	9.4
Mazatlán, Gro.	28.0	40.4	43.3	84.6	66.8	86.2	35.2	67.2	13.2	28.8	75.0	69.1	2.2	3.8	0.0	3.2	1.5	0.0

no es posible determinar, con certeza, si en esos casos ha ocurrido y sigue ocurriendo la introgresión o si las diferencias son debidas a otras causas.

Como ya ha sido mencionado anteriormente, también existen datos de isoenzimas que muestran evidencias de que la introgresión ha ocurrido del maíz a *Z. luxurians* y a *Z. diploperennis* y del teocintle anual de la altiplanicie de México (*Z. mays* ssp. *mexicana*) al maíz (Doebly, 1990; Doebly *et al.*, 1984; 1987). Sin embargo, Doebly (1990) menciona "...hay problemas para documentar la ocurrencia de la introgresión. Siempre que las poblaciones simpátricas de los cultivos y sus parientes silvestres muestran un carácter similar, habrá varias explicaciones posibles: (1) retención de un carácter ancestral, (2) evolución convergente o paralela, y (3) introgresión". Una aseveración semejante ha sido expresada por Smith y Goodman (1981): "Los intentos para estimar niveles de transferencia de genes y el grado de erosión genética tendrán limitaciones, sin importar el carácter usado, ya que es imposible demarcar claramente las contribuciones por atavismo, selección y flujo de genes". Por tanto, la información de nudos, así como la de isoenzimas que muestran introgresión, es solamente una posibilidad de entre varias interpretaciones que pueden darse a las diferencias en sus frecuencias encontradas entre poblaciones de maíz y teocintle. Esto hace que las evidencias de introgresión entre estas plantas tengan un carácter circunstancial y validez no significativa.

En cuanto a características morfológicas como la coloración y pubescencia de las vainas foliares, el tamaño de grano (segmento de raquis que contiene el cariósido en el caso del teocintle), etc., que se han considerado para mostrar evidencias de introgresión entre maíz y teocintle, Doebly (1984) ha demostrado que esa información no necesariamente indica introgresión, sino que también puede explicarse en términos de evolución convergente o paralela, con base en principios ecológicos.

Hace aproximadamente 20 años, Kato (1976) propuso la idea de que los nudos pueden mostrar valores adaptativos distintos con base en las diferencias en la distribución regional de frecuencias, tanto en el maíz como en el teocintle. En el presente trabajo se han descrito varios casos que han conducido al mismo resultado mencionado. ¿Cómo es que los nudos pueden conferir valores adaptativos diferentes? Una posible explicación sería la siguiente (Kato 1976): se sabe que en la heterocromatina, constituyente de los nudos, no ocurre la recombinación entre homólogos, además de que como es material adicional en los cromosomas, el apareamiento en esos segmentos puede ser irregular, lo que ocasionaría una reducción o eliminación de recombinación en los segmentos adyacentes a los nudos, por lo que los genes localizados en estos segmentos tenderían a formar supergenes (grupo de genes coadaptados que se heredan como una unidad). Esto sería una situación similar a lo que ocurre con las inversiones en *Drosophila* (Dobzhansky, 1970). Las distintas combinaciones alélicas de los genes en estos supergenes son las que harían que los nudos confirieran valores adaptativos diferentes. Si esto es correcto, entonces por selección en las diferentes poblaciones en distintos ambientes se puede mantener diversas combinaciones de nudos en frecuencias variadas. Esto también podría hacer posible que un nudo dado en una posición específica en poblaciones simpátricas de una región mostrara introgresión de una población a otra, y en otras regiones no haya evidencia de introgresión, como ya se ha mencionado anteriormente.

Todo lo arriba descrito y discutido muestra que existe posibilidad de que entre maíz y teocintle y viceversa ocurra la introgresión con baja frecuencia. Sin embargo, debido a que las evidencias obtenidas aún son circunstanciales, la ocurrencia de este fenómeno no está demostrada, por lo cual persiste la necesidad de estudios futuros cuyos resultados, sin lugar a dudas, conduzcan a conclusiones definitivas. Se

sugiere llevar a cabo estudios de dos tipos generales:

1) experimentales, en que se utilicen materiales conocidos en cuanto a marcadores citológicos, morfológicos y moleculares, especialmente de los lugares en que el maíz y el teocintle conviven, haciendo cruzamientos entre ellos, retrocruzamientos y diversas selecciones en forma controlada; 2) estudios etnobotánicos para conocer mejor la relación hombre-maíz-teocintle; y 3) una combinación de 1) y 2).

Por otro lado, considerando la situación ambigua sobre las relaciones maíz-teocintle, no es posible saber con certeza si al introducir y liberar variedades transgénicas de maíz en los lugares donde exista el teocintle, los transgenes puedan ser sujetos de introgresión y en qué grado puede ocurrir la transferencia. Además, con la información existente no es posible visualizar y mucho menos predecir qué efectos, favorables o desfavorables puede causar la transferencia de estos genes. Por el momento y, hasta saber con mayor certeza sobre la introgresión maíz-teocintle, debería considerarse que existe la posibilidad de transferencia, y, también, existe un riesgo potencial que necesita ser determinado.

### Agradecimiento

El autor agradece al Dr. Alfredo Carballo Q. el haber revisado el manuscrito del presente trabajo.

### Literatura citada

Dobzhansky, Th. 1970. Genetics and the evolutionary process. Columbia Univ. Press., New York.  
 Doebley, J.F. 1984. Maize introgresion into teosinte: a reappraisal. *Ann. Missouri Bot. Gard.* 71:1100-1113.  
 Doebley, J.F. 1990. Molecular systematics of *Zea* (Gramineae). *Maydica* 35:143-150.  
 Doebley, J.F, M.M. Goodman, and C.W. Stuber. 1984. Isoenzymatic variation in *Zea* (Gramineae). *Syst. Bot.* 9:203-218.

Doebley, J.F, M.M. Goodman, and C.W. Stuber. 1987. Patterns of isozyme variation between maize and Mexican annual teosinte. *Econ. Bot.* 41 (2):234-246.  
 Kato Y., T.A. 1976. Cytological studies of maize (*Zea mays* L.) and teosinte (*Zea mexicana* Schrader Kuntze) in relation to their origin and evolution. *Mass. Agric. Expt. Sta. Bull.* No. 635.  
 Kato Y., T.A. 1984. Chromosome morphology and the origin of maize and its races. *Evol. Biol.* 17:219-253.  
 Kato Y., T.A, and A. López R. 1990. Chromosome knobs of the perennial teosintes. *Maydica* 35:125-141.  
 Longley, A.E. 1937. Morphological characters of teosinte chromosomes. *J. Agric. Res.* 54:835-862.  
 Mangelsdorf, P.C. 1961. Introgresion in maize. *Euphytica* 10:157-168.  
 Mangelsdorf, P.C. 1974. Corn. Its origin, evolution and improvement. The Belknap Press, Harvard Univ. Press, Cambridge, Mass. pp. 1-262.  
 McClintock, B. 1978. Significance of chromosome constitutions in tracing the origin and migration of races of maize in the Americas. *In* Walden, D.B. (ed.). *Maize Breeding and Genetics*. Wiley, N.Y. pp. 159-184.  
 McClintock, B., T. A. Kato Y. y A. Blumenschein. 1981. Constitución cromosómica de las razas de maíz. Su significado en la interpretación de relaciones entre las razas y variedades en las Américas. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México. pp. 1-521.  
 Smith, J.S.C., and M.M. Goodman. 1981. A comparison of chromosome knob frequencies between sympatric and allopatric populations of teosinte and maize. *Amer. J. Bot.* 68 (7): 947-954.  
 Ting, Y.C. 1958. Inversions and other characteristics of teosinte chromosomes. *Cytologia* 23:239-250.  
 Wilkes, H.G. 1967. Teosinte: the closest relative of maize. The Bussey Inst., Harvard Univ.  
 Wilkes, H.G. 1970. Teosinte introgresion in the maize of the Nobogame valley. *Bot. Mus. Leaflets, Harvard Univ.* 22(9): 297-311.  
 Wilkes, H.G. 1977. Hybridization of maize and teosinte, in Mexico and Guatemala and the improvement of maize. *Econ. Bot.* 31:254-293.  
 Wilkes, H.G. 1979. Mexico and Central America as a center for the origin of agriculture and the evolution of maize. *Crop Improv.* 6(1):1-18.  
 Wilkes, H.G. 1986. Teosinte in Oaxaca, México. *Maize Genet. Coop. Newsletter* 60:29-30.

## **Preguntas y respuestas después de las presentaciones de J. Kermicle y A. Kato**

**M. Goodman:**

¿Cuántos alelos gametofíticos hay en total en el maíz?

**J. Kermicle:**

Se llegó a un total de 8 ó 10. Luego, los investigadores dejaron de ocuparse y, por desgracia, dejaron de mantener sus estirpes. Por tanto, las estirpes disponibles son las series *ga1* y *ga2*.

**G. Wilkes:**

En otra época, algunos de los maíces reventadores eran más comunes en el germoplasma aquí en México. Y variedades como Rocamex, que fue introducida hace 40 años, han desplazado a algunos de estos fuertes alelos *Ga* del maíz reventador. En consecuencia, se ha producido un cambio en la relación entre el maíz y el teocintle en los últimos 40 años. Es interesante señalar que se puede ir del teocintle al maíz y no hay problema, pero no se puede pasar del maíz al teocintle con tanta facilidad en la mayoría de los casos. Y esto es exactamente lo que se hubiera supuesto: si el teocintle era una población silvestre establecida y el maíz entró en su territorio, para mantener el raquis desarticulante en los genes silvestres el teocintle desarrolló el sistema de esterilidad, pero no el maíz.

**J. Kermicle:**

¿Y qué impide el flujo en la otra dirección?

**G. Wilkes:**

La selección.

**J. Kermicle:**

¿Por quién?

**G. Wilkes:**

El agricultor.

**J. Kermicle:**

Entonces, ralean lo que siembran. ¿Arrancarán el híbrido? Eso sería el otro aspecto de una especie de golpe doble que contribuiría a la incompatibilidad bilateral. Me interesó su comentario anterior, porque no sabía que existiera una barrera entre poblaciones de teocintle guatemaltecas y mexicanas

**G. Wilkes:**

Este trabajo se ha realizado en Argentina y Brasil.

**J. Kermicle:**

¿Es esto bidireccional?

**G. Wilkes:**

No recuerdo cuál era el elemento femenino. Conozco un investigador que hizo unas 5,000 polinizaciones distintas, ¡dos años de trabajo!

**J. Kermicle:**

No tuvimos dificultad en polinizar material de *luxurians* con nuestra forma de líneas dentadas.

**G. Wilkes:**

¿No hicieron el procedimiento inverso?

**J. Kermicle:**

No. Sólo queríamos extraer citoplasmas.

**D. Louette:**

Me gustaría saber cómo se forman los nudos cromosómicos y si son estables en una población de una generación a otra.

**A. Kato:**

No conocemos el origen de los nudos cromosómicos. Tampoco sabemos cuándo ocurrió eso, y por qué hay esa variación en tamaños pequeñísimos, medianos, grandes y muy grandes. Lo que sabemos es que el nudo cromosómico es heterocromatina y como tal está constituido de ADN repetitivo de segmentos cortos con alrededor de 200 pares de bases, las cuales son tan

cortas que esas secuencias no se transcriben ni se traducen a proteínas. Lo curioso es que la secuencia de esos segmentos es diferente entre diferentes tipos de heterocromatina. Por ejemplo, la heterocromatina que se encuentra junto a los centrómeros es diferente. En los cromosomas B, la heterocromatina que está en el brazo largo es diferente de la heterocromatina que está junto al centrómero, hay esa diferencia pero no sabemos cómo se formaron.

Por otra parte, suponemos que esos nudos cromosómicos son muy estables desde el punto de vista evolutivo porque se ha observado que las distribuciones geográficas y raciales de los nudos cromosómicos son diferenciales. Es decir, ciertos nudos se distribuyen en maíces a lo largo del Pacífico y no en otros lados. Si los nudos no fueran estables, los encontraríamos distribuidos al azar.

#### **R. Ortega Paczka:**

Se ha hablado bastante sobre el teocintle y el maíz pero muy poco sobre las cruces entre éstos, quizá porque es ahí donde tenemos menos estudios. En relación con este aspecto, sabemos que generalmente cuando hay dos poblaciones o especies que se cruzan, los híbridos requieren de condiciones intermedias. Como estas condiciones intermedias generalmente no existen, entonces el resultado, después de un proceso característico, es la introgresión. Considerando entonces que hay pocos estudios, quiero preguntarles a ustedes que han trabajado en esto, lo siguiente: 1) ¿cuáles son los requerimientos o las condiciones para la sobrevivencia de los híbridos de maíz y teocintle?; 2) ¿qué desventajas tienen los híbridos en relación a las dos subespecies progenitoras, dado que no hay condiciones intermedias?; 3) ¿cuál ha sido la actitud de los productores con respecto a los híbridos ya que la mayoría de los agricultores parece que eliminan estas poblaciones?

#### **A. Kato:**

El teocintle se mantiene porque puede dispersar en forma natural las semillas. El maíz es todo lo contrario

ya que depende de la actividad humana. El híbrido  $F_1$ , que es el más conocido, no tiene capacidad de dispersión. Si no caen al suelo y se logran cosechar, entonces las semillas se cosechan unidas por un olote. Si caen al suelo y germinan, puede haber mucha competencia entre las 40 ó 50 plantas que brotan en un mismo lugar. Se presenta entonces eliminación por competencia entre ellas mismas.

En cuanto a la selección por los agricultores, creo que es muy difícil seleccionar esas mazorquitas si es que las cosecharan. Sin embargo, existen algunos reportes que indican que algunos agricultores sí lo cosechan. En la región de Manantlán lo cosechan y lo siembran para que haya cruzamientos, es decir, tratan de controlar la hibridación durante dos o tres años hasta que el híbrido se hace maíz, según dicen, y entonces mezclan la semilla con el maíz común. En este caso, se deduce que sí hay selección.

También sabemos que el grano producido en la mazorca del maíz por la fecundación de un grano de polen de teocintle es menor en tamaño. Si en una mazorca hay varios granos pequeños, producto de la hibridación con teocintle, entonces el agricultor inadvertidamente puede seleccionar esa mazorca con algunas semillas híbridas y dar mayor oportunidad a la introgresión. Creo que es aquí donde falta información de tipo etnobotánico.

Finalmente, considero que la información y las evidencias que se tiene sobre introgresión maíz-teocintle son circunstanciales e indirectas y por lo tanto no son concluyentes. En consecuencia, creo que necesitamos hacer más trabajo de tipo experimental. Usar materiales de los lugares donde hay esa posibilidad de introgresión y analizarlos por medio de marcadores citogenéticos y moleculares como los nudos cromosómicos, las isoenzimas y los RFLP's. Paralelamente hacer los estudios etnobotánicos para combinar los dos tipos de estudio. Creo que eso es lo que se necesita.

# Intercambio de semillas entre agricultores y flujo genético entre variedades de maíz en sistemas agrícolas tradicionales

Dominique Louette

Instituto Manantlán de Ecología y Conservación de la Biodiversidad  
Universidad de Guadalajara

## Introducción

Los resultados del presente trabajo intentan aportar elementos a la discusión del riesgo de la introducción de variedades transgénicas sobre la estructura genética de poblaciones de teocintle y variedades criollas de maíz en México. El estudio presentado es parte de un trabajo de investigación más amplio realizado en México (Louette, 1994), cuyo objetivo es aportar elementos al debate sobre la conservación *in situ* de variedades locales de plantas cultivadas. El presente trabajo de investigación intenta especificar los mecanismos responsables de la estructura y dinámica de la diversidad en un agrosistema tradicional, caracterizando la diversidad de las variedades de maíz cultivadas así como las prácticas tradicionales de manejo de estas variedades y su efecto sobre la estructura genética de éstas.

Una variedad transgénica tendrá un efecto sobre la estructura genética del material criollo en la medida en que la variedad transgénica llegue a ser sembrada en áreas próximas al material criollo y si existen condiciones favorables para el flujo genético entre estos materiales. Nuestros datos permiten especificar, por una parte, la medida en que un sistema agrícola tradicional sigue un modelo estricto de conservación endógena de su material genético; es decir, en qué medida está abierto a la siembra de variedades foráneas. Con estos datos se estima la

frecuencia de intercambio de semilla entre una comunidad y otras regiones, indicándonos con qué probabilidad una variedad que se desarrolla en una región puede fácilmente introducirse en regiones consideradas aisladas. Por otro lado, los datos presentados aportan elementos en cuanto a la importancia del flujo genético entre variedades, indicándonos en qué medida los sistemas tradicionales favorecen o limitan estos flujos, y por lo tanto en qué medida una variedad introducida puede tener un efecto sobre la estructura genética del material criollo.

## Contexto

El trabajo se realizó en la Reserva de la Biósfera Sierra de Manantlán (RBSM) situada en el occidente de México entre los estados de Colima y Jalisco (Figura 1). El interés de la RBSM por la conservación *in situ* de los

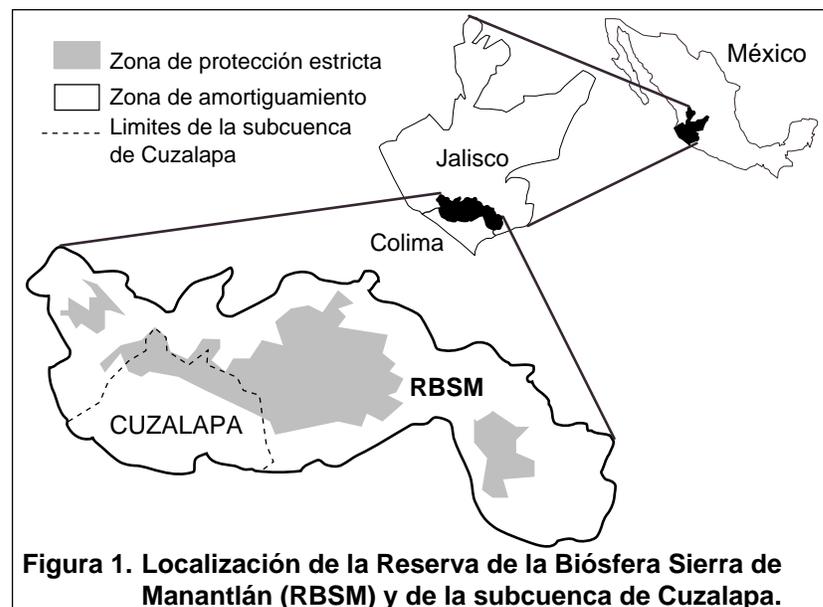


Figura 1. Localización de la Reserva de la Biósfera Sierra de Manantlán (RBSM) y de la subcuenca de Cuzalapa.

recursos genéticos del género *Zea* (Benz y Jardel, 1990) se explica por su localización sobre la costa del Pacífico de México, región probable de origen del maíz (Benz e Iltis, 1992); por la presencia de varias especies de teocintle como *Zea mays* spp *parviglumis* (Iltis, Doebley) y *Zea diploperennis* (Iltis, Doebley, Guzmán) (Guzmán, 1985); por el carácter primitivo de las razas de maíz sembradas (Benz, 1988; Benz, en prensa; Wellhausen *et al.*, 1952); y las situaciones de simpatría que existen entre los teocintles y las variedades de maíz (Benz *et al.*, 1990), así como por la aptitud de la reserva en cuanto a la conservación de recursos genéticos.

El trabajo se realizó específicamente en la comunidad indígena de Cuzalapa situada al sur de la RBSM (Figura 1). La comunidad posee alrededor de 24,000 ha de terreno de topografía irregular, aislado de los grandes centros urbanos. La zona agrícola se sitúa a una altitud de 600 m y presenta un clima caliente y subhúmedo (temperatura media anual superior a los 22°C y precipitación anual de 1500 mm concentrada de junio a octubre). El maíz es el cultivo dominante, como lo es en toda la Reserva. Hay dos ciclos de cultivo por año. Se pueden sembrar 1000 ha, 600 de ellas en zona de riego. Las técnicas de cultivo se basan en la tracción animal con poca utilización de insumos químicos, a excepción de fertilizante nitrogenado. El rendimiento promedio de maíz es superior a 2 ton/ha y se destina sobre todo al consumo familiar, con venta o intercambio de los excedentes.

Esta comunidad es tradicional según los criterios de Toledo (1990): dominación del valor de uso sobre el valor de mercado, mano de obra esencialmente familiar y poca utilización de insumos externos, producción destinada a la reproducción del sistema más que a la ganancia, subsistencia basada en una combinación de prácticas (agricultura, ganadería, pesca y trabajo asalariado). Esta comunidad puede ser considerada como representativa de zonas rurales de México poco integradas todavía a la economía de mercado, pudiendo por tanto servir de indicador.

## Variedades cultivadas e intercambio de semilla

### Concepto de variedad

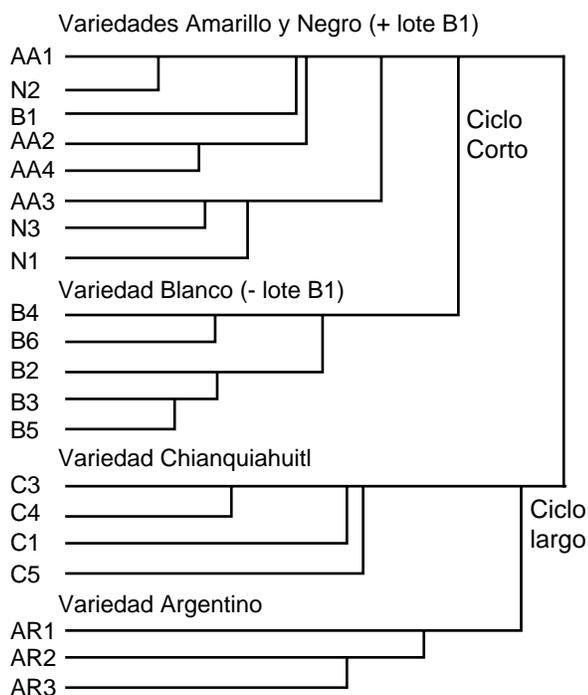
En este trabajo se consideró el concepto campesino de variedad. Se definió como **variedad** al conjunto de lotes de semilla que llevan el mismo nombre y considerados por los agricultores como parte de una misma unidad. Así, un **lote de semilla** es el conjunto de granos de maíz de un mismo tipo seleccionados por un agricultor para ser sembrados durante un ciclo de cultivo y la progenie directa de estas semillas.

Para detallar este concepto tratamos de definir en qué medida existía una relación entre el nombre dado a un lote de semilla y sus características morfológicas. Para varios lotes de semilla de las cinco variedades principales sembradas en la zona se midieron en una parcela experimental algunos descriptores de la planta, de la espiga y de la mazorca (Cuadro 1) en 60 plantas y 45 mazorcas por lote de semilla. Los datos de 21 plantas por lote fueron integrados en un análisis factorial discriminante (AFD) que permite diferenciar los lotes de semilla en función de los descriptores con menor coeficiente de varianza [varianza intra lote/ varianza entre lotes]. Las coordenadas de cada lote de semilla, sobre los 5 primeros ejes del AFD, fueron integrados en una clasificación jerárquica ascendente. Las coordenadas de un lote corresponden a las coordenadas del centro de gravedad del grupo de 21 plantas que conforman cada lote. La clasificación se realizó mediante el cálculo del promedio de las distancias euclidianas ponderadas entre lotes de semillas (Figura 2). En esta clasificación los lotes de semilla del mismo nombre conforman grupos bien definidos, a excepción del lote B1 de la variedad Blanco (Figura 2). Los lotes de semilla de las variedades Amarillo Ancho de granos amarillos y Negro de granos púrpura que aparecen en el mismo grupo se hubieran diferenciado en dos grupos si hubiéramos tomado en cuenta el color del grano en la clasificación.

**Cuadro 1. Principales características de las 14 variedades estudiadas (medición en parcela experimental de por lo menos 60 plantas y 45 mazorcas por lote de semilla).**

Variedades*	FM (días)	AMA (cm)	APL (cm)	NHO	AHO (cm)	RM	HIL	ANG (cm)	ESG (cm)	POL (g)	DOL (cm)	PMA (g)	DMA (cm)	P1G (g)
CICLO CORTO														
<b>Blanco (B)</b>	<b>77.3</b>	<b>129</b>	<b>219</b>	<b>5.9</b>	<b>7.9</b>	<b>16.1</b>	<b>8.7</b>	<b>1.13</b>	<b>0.40</b>	<b>19.7</b>	<b>2.1</b>	<b>140</b>	<b>4.0</b>	<b>0.42</b>
Perla (P)	82	144	235	6.1	8.1	16.9	8.7	1.08	0.39	18.7	2.2	128	3.9	0.38
<b>Amarillo Ancho (AA)</b>	<b>82</b>	<b>146</b>	<b>231</b>	<b>6.1</b>	<b>7.9</b>	<b>19.3</b>	<b>9.8</b>	<b>1.00</b>	<b>0.39</b>	<b>19.8</b>	<b>2.2</b>	<b>126</b>	<b>3.9</b>	<b>0.33</b>
Amarillo de Teq. (AT)	82	160	242	6.2	7.8	20.8	9.6	0.99	0.38	17.5	2.1	123	3.9	0.35
Negro (N)	83.2	156	232	6.3	7.9	19.8	10.0	0.97	0.37	18.1	2.2	123	3.9	0.31
<b>Tabloncillo (T)</b>	<b>85</b>	<b>145</b>	<b>230</b>	<b>6.2</b>	<b>7.7</b>	<b>19.2</b>	<b>9.3</b>	<b>0.95</b>	<b>0.33</b>	<b>12.0</b>	<b>1.8</b>	<b>104</b>	<b>3.6</b>	<b>0.29</b>
CICLO LARGO														
HT47 (HC)	89.5	130	193	6.4	8.9	13.2	15.0	0.82	0.40	30.8	3.0	137	4.5	0.27
Negro (ext) (NX)	91.5	171	232	6.1	8.2	20.5	10.2	1.00	0.38	23.1	2.4	126	4.0	0.31
Híbrido (H)	92	179	254	6.3	8.1	20.4	11.9	0.91	0.37	22.0	2.3	141	4.2	0.30
Amarillo (A)	92	185	261	6.6	8.1	19.8	11.3	0.99	0.38	27.3	2.6	164	4.4	0.36
Enano (E)	92.5	161	231	6.8	8.5	23.2	13.4	0.89	0.40	29.7	2.7	160	4.5	0.31
Guino (G)	92.5	174	249	6.5	8.6	20.0	12.7	0.94	0.36	30.1	2.7	181	4.6	0.34
<b>Chianquiahuitl (C)</b>	<b>93.2</b>	<b>188</b>	<b>260</b>	<b>6.2</b>	<b>7.8</b>	<b>21.5</b>	<b>11.7</b>	<b>0.85</b>	<b>0.34</b>	<b>17.6</b>	<b>2.1</b>	<b>126</b>	<b>3.9</b>	<b>0.27</b>
Enano Gigante (EG)	93.5	185	261	6.6	8.4	20.5	12.4	0.93	0.36	26.2	2.6	158	4.4	0.32
Argentino (AR)	96	195	273	6.5	8.4	22.8	12.6	0.92	0.36	26.2	2.5	158	4.4	0.32

\* Variedades locales en negrillas

**DESCRIPTORES MEDIDOS****Fenología :** FM: Floración masculina (ciclo de riego de 1991)**Descriptores de plantas :** APL: Altura de la planta; AMA: Altura de la mazorca; AHO: Ancho de la hoja; NHO: Número de hojas arriba de la mazorca superior**Descriptores de la espiga :** RM: Número de ramificaciones de la espiga (primarias, secundarias y terciarias)**Descriptores de la mazorca :** PMA: Peso de la mazorca a 15% de humedad; DMA: Diámetro de la mazorca; POL: Peso del olote; DOL: Diámetro del olote; HIL: Número de hileras; ANG: Anchura del grano; ESG: Espesor del grano; P1G: Peso de un grano a 15% de humedad.

Así que una variedad de maíz según el concepto campesino, descrita como el conjunto de lotes de semilla del mismo nombre, corresponde a una unidad fenotípica bien definida. Son las características morfológicas de un lote de semilla las que determinan la variedad a la cual pertenece.

**Conjunto variable de variedades sembradas**

Considerando las definiciones previas, determinamos mediante una encuesta realizada con 39 agricultores durante seis ciclos de cultivo la presencia en Cuzalapa de 26 variedades diferentes (Cuadro 2). La variabilidad fenotípica intervarietal es significativa en

**Figura 2. Variabilidad morfológica intravarietal: clasificación jerárquica ascendente de lotes de semilla de 5 variedades en función de sus características fenotípicas.**

cuanto a la duración del ciclo, las características vegetativas y las características de la espiga y mazorca de las variedades (Cuadro 1). La mayoría es de grano blanco harinoso y se destinan esencialmente a la alimentación humana. Encontramos también una variedad de grano palomero, tres variedades de granos negros cuyos elotes más dulces son consumidos asados o cocidos y tres variedades de granos amarillos que se utilizan esencialmente en la alimentación animal.

Una variedad fue considerada local cuando lotes de semilla de esta variedad son reproducidos en la región desde hace por lo menos una generación de agricultores (alrededor de 30 años). Una variedad es considerada foránea cuando su introducción es más reciente o cuando su siembra en la zona es episódica. Según esta definición, determinamos que de las 26 variedades reportadas, un grupo restringido de seis variedades son locales (Cuadro 2) y pertenecen a la

raza Tabloncillo característica del occidente de México. La variedad Chianquiahuitl probablemente fue introducida hace 40 años, en tanto que se desconoce el origen de las otras cinco variedades —“mi abuelo ya la sembraba”— comentan los campesinos. Estas variedades cubren 80% del área cultivada y son sembradas por un alto porcentaje de agricultores.

Las otras 20 variedades son foráneas. La composición de este conjunto es variable en función del ciclo de cultivo: sólo tres variedades eran sembradas desde hace 5 ó 6 años por un porcentaje significativo de agricultores (10 a 12%) en el momento de la encuesta, mientras que la mayoría de las otras 17 variedades son de introducción reciente o son cultivadas sólo por un período de tiempo. Cada variedad cubre menos de 5% del área sembrada.

Catorce de las variedades foráneas son variedades campesinas de otras regiones, cinco son generaciones

**Cuadro 2. Importancia relativa de las diferentes variedades de maíz cultivadas en Cuzalapa (encuesta a 39 agricultores durante seis ciclos de cultivo).**

VARIEDAD	% Area sembrada en Maíz	% Agricultores	Color del grano
<b>Variedades locales</b>			
<i>Variedades de granos blancos</i>			
<b>BLANCO</b>	<b>51%</b>	<b>59%</b>	<b>blanco</b>
<b>CHIANQUIAHUITL</b>	<b>12%</b>	<b>23%</b>	<b>blanco</b>
<b>Tabloncillo</b>	5%	6%	blanco
<b>Perla</b>	<b>0.4%</b>	<b>0.02%</b>	<b>blanco</b>
<i>Variedades de granos de color</i>			
<b>Amarillo Ancho</b>	<b>8%</b>	<b>23%</b>	<b>amarillo</b>
<b>Negro</b>	<b>3%</b>	<b>34%</b>	<b>negro</b>
<b>Variedades foráneas</b>			
<i>Variedades más cultivadas</i>			
Argentino (2)	5%	10%	blanco
Enano (2)	3%	12%	blanco
Amarillo (1)	3%	11%	amarillo
<i>Otras 17 variedades menores</i>			
1) Canelo - Ahumado - Blanco (de Tequesquiltán) - Amarillo (de Tequesquiltán) - Negro Gordo - Guino Gordo - Guino rosquero - Tuxpeño - Negro (externo) - Guino (USA) - Cosmeño - Tampiqueño - Tosqueño	<3% por variedad	<4% por variedad	mayoría blanco
2) Híbrido - Híbrido (mejorado) - Enano Gigante			
3) HT47			

Variedades foraneas 1) Variedades criollas de otras regiones 2) Generaciones avanzadas de variedades mejoradas 3) 1a y 2a generación del híbrido HT47

avanzadas de variedades mejoradas de polinización libre y una proviene del híbrido HT47. El grupo de las variedades campesinas introducidas es muy diverso. Identificamos variedades de granos blancos, amarillos (Amarillo de Tequesquiltán, Amarillo) o púrpuras [Negro (externo)], variedades introducidas de comunidades próximas a Cuzalapa como una variedad introducida de Estados Unidos [Guino (USA)], variedades de la raza Tabloncillo y de otras razas como variedades de la raza Rosquero (Guino gordo, Guino rosquero, Negro gordo) introducidas de una comunidad de la reserva donde se desarrolla el teocintle perenne (*Zea diploperennis*).

En una área importante se cultiva un grupo de variedades cuya presencia en la zona es muy antigua, así como un conjunto de variedades foráneas cuya permanencia en la zona es variable (de un ciclo a varios años). El conjunto de variedades sembradas en la zona puede cambiar en cada ciclo de cultivo.

### Intercambio intenso de semilla

La introducción de variedades foráneas es el fruto del intercambio entre agricultores o de la compra de semilla. Analizamos más en detalle el intercambio de semilla, considerando en la encuesta con 39 agricultores durante seis ciclos de cultivo el origen de cada lote de semilla sembrado. Clasificamos los 484 lotes de semilla reportados en la encuesta en tres categorías: 1) semilla propia (lote seleccionado a partir de la cosecha anterior del agricultor); 2) semilla adquirida con otro agricultor de la cuenca y 3) semilla introducida de otras regiones.

Sólo el 52.9% de los lotes de semilla reportados en la encuesta fueron seleccionados a partir de la cosecha anterior del agricultor (ocuparon 44.9% del área sembrada por los 39 agricultores); mientras que el 35.7% fueron obtenidos con otros agricultores de la cuenca (39.9% del área) y el 11.4% fue adquirido en otras regiones (15.1% del área) (Figura 3).

Existen diferencias en función del tipo de variedad. La introducción de lotes de semilla fue menos importante para las principales variedades cultivadas (7.9% para las variedades locales y 5.3% para las tres principales variedades foráneas) que para las variedades foráneas menores (36.4%) (Figura 3). Las primeras son ampliamente adoptadas por los agricultores y la disponibilidad de semilla en la subcuenca es importante, en tanto que las segundas son introducidas para ser probadas. Por otro lado, observamos que las tres variedades foráneas más importantes y con presencia continua más antigua en la cuenca presentan una difusión interna importante en la comunidad. Estas variedades probaron que pueden producir bien en las condiciones de la zona y son intercambiadas entre agricultores, mientras que tal fenómeno es mucho menor para las variedades foráneas menores.

Estos datos confirman que la cantidad de material genético introducido de otras regiones es importante.

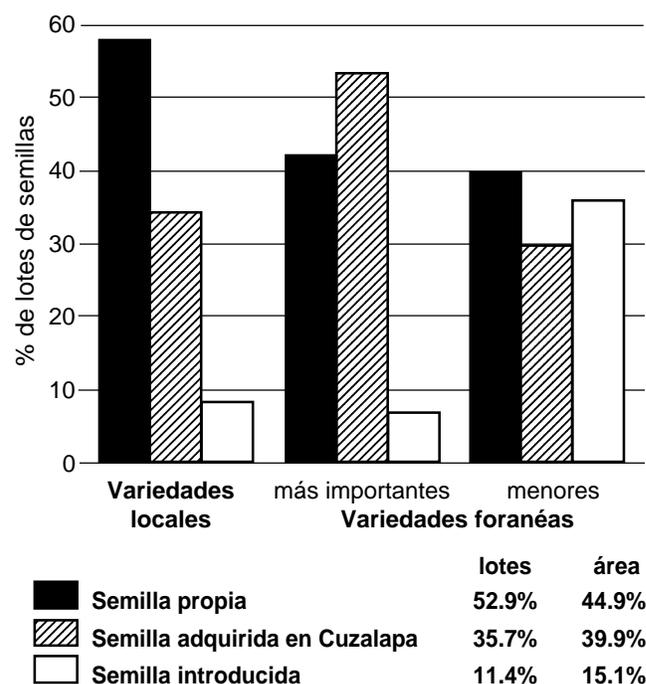


Figura 3. Intercambio de semilla: procedencia de los lotes de semilla según el tipo de variedad.

Nos indican también que el intercambio de semilla entre productores dentro de la cuenca es muy intenso. La indisponibilidad momentánea de semilla en la comunidad, el calendario agrícola y la curiosidad de los agricultores son los principales factores que explican los intercambios de semilla tanto en la cuenca como fuera de ella.

### Flujo genético

#### Separación de variedades en el espacio y en el tiempo

La introducción de una variedad foránea tendrá un efecto sobre la estructura genética de las variedades locales en la medida en que existan condiciones favorables a los flujos genéticos entre variedades.

Para determinar en qué medida el manejo tradicional lleva a estas condiciones favorables, estudiamos durante tres ciclos de cultivo la localización en el espacio y la fecha de floración de los lotes de semilla cultivados sobre un conjunto de siete parcelas situadas a menos de 200 metros unas de otras (distancia mínima utilizada para aislar parcelas de maíz según Hainzelin, 1988), cubriendo una área de alrededor de 10 ha (Figura 4).

Determinamos, con base en la encuesta y en este monitoreo, que los agricultores no buscan la separación en el espacio entre diferentes variedades ni entre lotes de semilla producidos localmente e introducidos; los agricultores siembran en promedio 2.5 variedades por ciclo de cultivo (1 a 7), todas en la misma parcela, independientemente de las variedades que se siembran en parcelas contiguas y en particular independientemente del origen de los lotes de semilla.

Considerando, de acuerdo a los trabajos de Bassetti y Westgate (1993), que existe riesgo real de flujo genético entre dos variedades cuando hay menos de cinco días de diferencia entre la floración masculina de una variedad y la floración femenina de la otra, determinamos sobre el conjunto de siete parcelas, en el promedio de los tres ciclos de cultivo, la posibilidad de flujo genético en 38% de los casos. En 24% de los casos las fechas diferentes de siembra, según el productor, llevaron a la coincidencia de la floración de variedades de ciclo largo y de ciclo corto. Sin embargo, tal coincidencia de las floraciones fue más probable entre variedades cuya duración de ciclo es equivalente (en 65% de los casos entre variedades de ciclo largo y en 47% de los casos entre variedades de

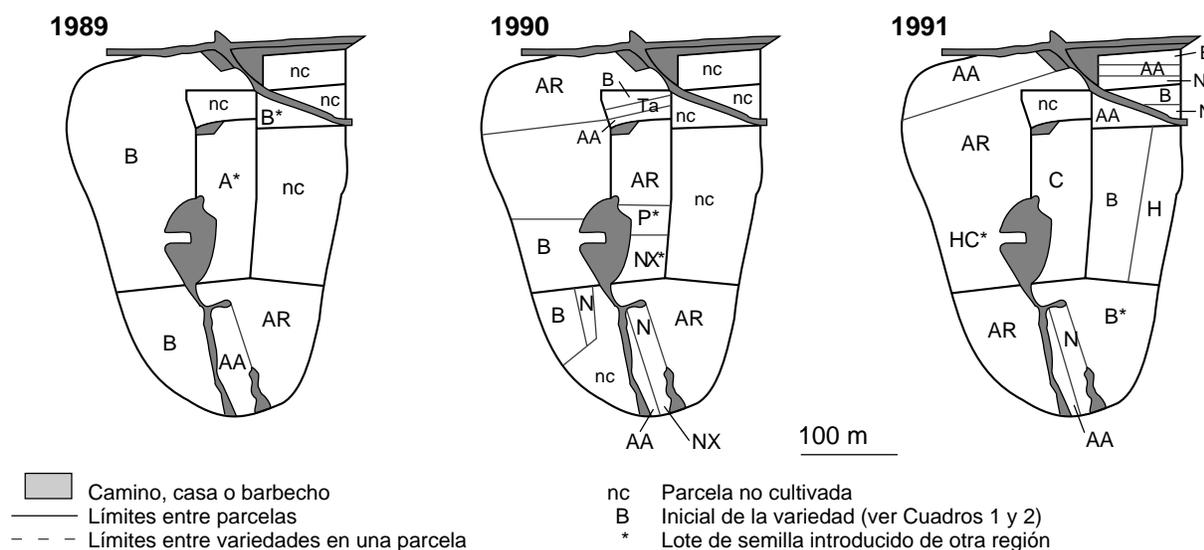


Figura 4. Variedades de maíz sembradas en siete parcelas campesinas (10 hectáreas) de la subcuenca de Cuzalapa durante tres ciclos de cultivo.

ciclo corto). En la Figura 5 se ilustra la situación observada durante el ciclo de riego de 1991. Por tanto, las diferencias de fecha de floración no son suficientes para permitir el aislamiento reproductivo entre variedades en contraste con su aislamiento en el espacio.

Utilizando el efecto de xenia del color de los granos y la dominancia del color púrpura, confirmamos la existencia de estos flujos monitoreando durante la cosecha, en seis parcelas campesinas, el porcentaje de granos negros en variedades de granos blancos o amarillos sembradas en áreas contiguas a la variedad

Negro de granos púrpura (Figura 6). Observamos que, como lo señalan los agricultores y la literatura (Paterniani y Stort 1974), la contaminación de una variedad por un tipo de maíz sembrado sobre una área contigua, disminuye rápidamente pasados los primeros 3 ó 4 surcos de contacto entre las variedades y se estabiliza sobre una gran distancia, lo cual explica por qué los agricultores piensan que la contaminación entre variedades ocurre a través de las raíces.

En los lotes de maíz negro, no siendo homocigóticos para el color de grano, el flujo genético real es superior al medido. Sin embargo, la evolución del nivel de contaminación en función de la distancia a la variedad contaminante está de acuerdo con la evolución de la concentración de polen en el aire reportada en la literatura (Raynor *et al.*, 1972).

Concluimos entonces que los agricultores no buscan el aislamiento en el espacio entre variedades diferentes ni entre lotes de semilla reproducidos localmente y foráneos y que las diferencias de floración entre los lotes de semilla no son suficientes para permitir un aislamiento reproductivo, específicamente por la ausencia de aislamiento en el espacio. Este tipo de manejo conduce, por tanto, a condiciones favorables para los flujos genéticos entre todo tipo de variedad de cualquier procedencia.

El espesor de la flecha es la función de la distancia (a menor distancia mayor la probabilidad de contaminación)

100 m

**Figura 5. Flujo genético probable entre variedades de maíz sembradas en un área de 10 hectáreas durante el ciclo de riego de 1991.**

El grado del flujo puede parecer limitado (1 a 2% en promedio entre dos parcelas). Sin embargo, estos flujos son generalizados en todas las parcelas y ocurren en cada ciclo de cultivo, y tienen, por tanto, probablemente una influencia importante sobre la estructura genética de las variedades. La estructura genética de un lote de semilla no es estable y está muy influenciada por las otras variedades, entre las cuales figuran las variedades foráneas.

### Efecto de los flujos genéticos sobre la diversidad

Estos flujos genéticos podrían explicar el continuo morfológico y genético que observamos entre las cuatro principales variedades locales y la diversidad

de las variedades sembradas a partir de muestras reducidas de granos.

### Continuo morfológico

Existe un continuo morfológico y genético entre las cuatro principales variedades locales. El continuo se observa desde la variedad Blanco de ciclo corto hasta la variedad Chianquiahuitl de ciclo largo, pasando por las variedades Amarillo Ancho y Negro de ciclo intermedio. Este continuo está muy ligado a la duración del ciclo de las variedades.

Este continuo se presenta tanto para características de la planta como para características de la espiga y del grano (Cuadro 3). Se observa también a nivel genético

para cuatro de los 10 loci isoenzimáticos polimórficos estudiados con una modificación gradativa de las frecuencias genéticas de los diferentes alelos (Figura 7).

Estos marcadores genéticos se consideran neutrales, en el sentido de que el efecto de la selección es nulo. Esta situación no puede, en consecuencia, ser interpretada como el resultado de una estrecha relación entre la duración del ciclo y los descriptores morfológicos y los marcadores genéticos para los cuales se observa el continuo. Si

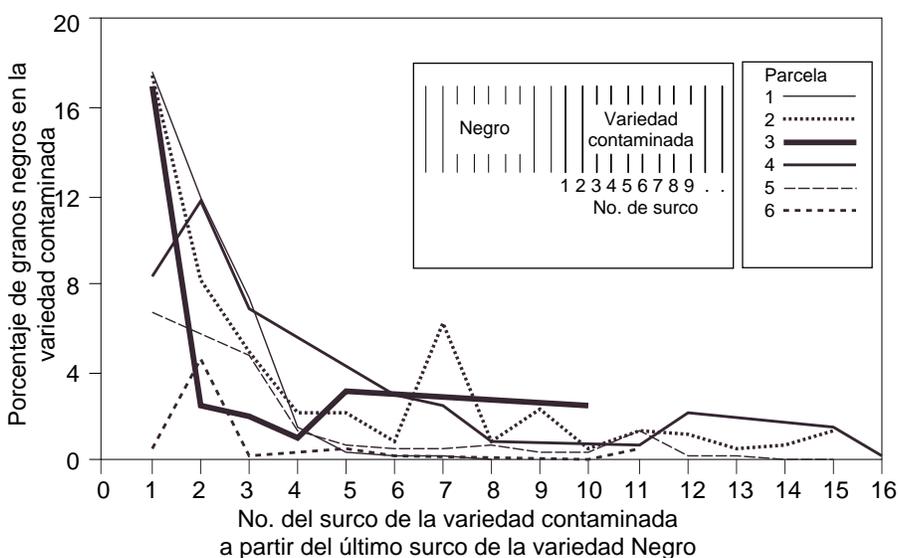


Figura 6. Flujo genético medido en seis parcelas campesinas entre la variedad Negro de granos negros y variedades de granos blancos o amarillos sembradas en áreas contiguas.

Cuadro 3. Continuo fenotípico entre las cuatro principales variedades locales.

Variedades	Floración masculina (días)	No. de hileras de granos	Anchura del grano (cm)	Espesor del grano (cm)	Peso de 1 grano (g)	Altura de la mazorca (cm)	No. de ramificaciones de la espiga
Blanco	77	8.7	1.13	0.4	0.42	129	16.1
Amarillo ancho	82	9.8	1	0.39	0.33	146	19.3
Negro	83	10	0.97	0.37	0.31	156	19.8
Chianquiahuitl	93	11.7	0.85	0.34	0.27	188	21.5

descartamos la hipótesis de una situación aleatoria, lo aquí descrito es una ilustración del efecto que puede tener una variedad introducida sobre variedades criollas. En efecto, la variedad Chianquiahuitl situada en un extremo del continuo fue introducida hace unos 40 años mientras que las demás son cultivadas en la zona desde hace mucho más tiempo. El continuo observado sería por tanto el resultado de la modificación de las características de las variedades locales con la introducción y frecuente cultivo de la variedad introducida. El continuo indica cuán dinámica es la diversidad en la cuenca e influida por la introducción de variedades foráneas. Este continuo sería el resultado de una selección divergente en los dos extremos del continuo, tanto por parte de los agricultores (por ejemplo, sobre el tamaño del grano; datos no publicados) como por adaptación al ambiente (cultivo preferencial de la variedad tardía durante el ciclo lluvioso y de la variedad precoz durante el ciclo de riego) y de flujo genético preferencial entre

variedades de duración de ciclo comparable a lo largo del continuo como lo vimos anteriormente.

El flujo genético implica que los componentes de la diversidad presente en la zona se modifica en función del material genético introducido.

**Pérdida de alelos**

Los flujos genéticos entre variedades podrían explicar la diversidad intralote de semilla observada en las diferentes variedades sembradas en la zona.

Según trabajos de Crossa (1989) y Crossa y Vencovsky (1994), un lote de semilla constituido a partir del desgrane de menos de 40 mazorcas procedentes de una población de polinización libre no permite conservar con seguridad alelos cuya frecuencia en la población es inferior al 3% y conduce a una tasa de pérdida de heterocigosis superior al 1% cuando existen menos de tres alelos por locus.

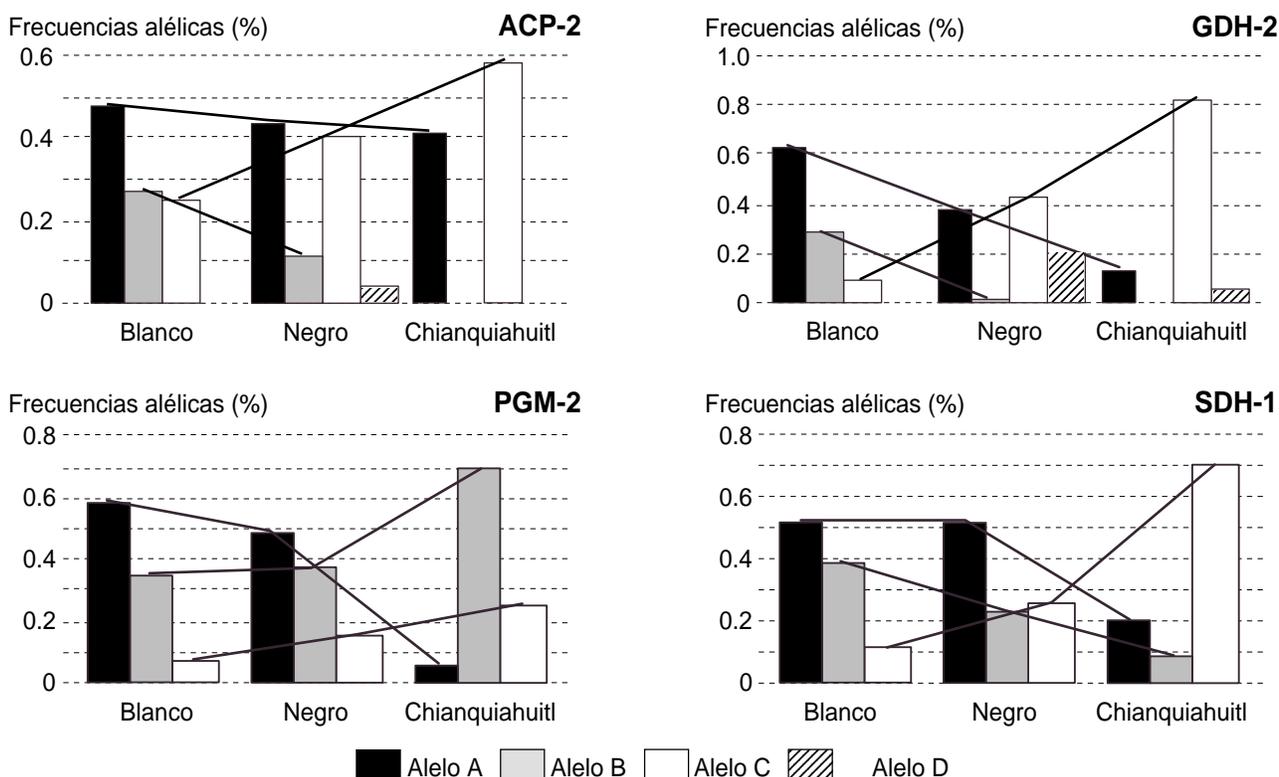
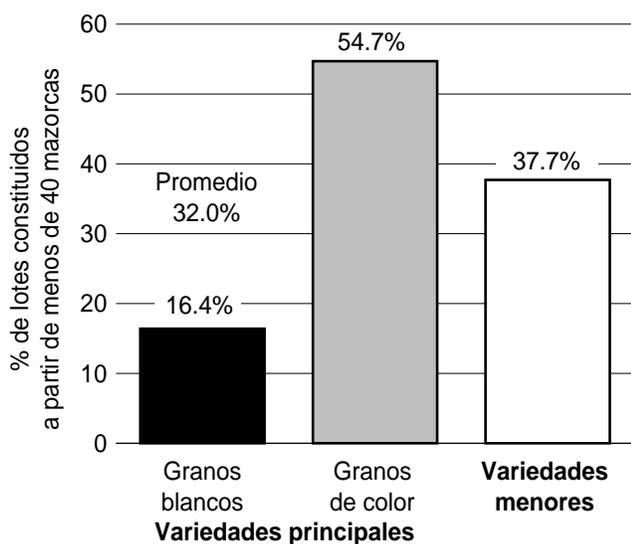


Figura 7. Continuo genético entre las tres principales variedades locales para cuatro de los 10 loci isoenzimáticos polimórficos estudiados.

En la cuenca, en promedio, 32% de los lotes de semilla son constituidos a partir del desgrane de menos de 40 mazorcas y, por consiguiente, están teóricamente sometidos a una fluctuación de su diversidad con pérdida de alelos raros. Este fenómeno fue identificado igualmente por Ollitrault (1987) para el mijo, el sorgo y el arroz en países de Africa Occidental. En Cuzalapa el fenómeno es sobre todo importante para las variedades de granos de color (54.7%) como la variedad Negro, sembradas en áreas pequeñas por su uso particular, aunque el fenómeno no sea despreciable para las principales variedades de granos blancos (16.4%) (Figura 8).



**Figura 8. Tamaño de los lotes de semilla sembrados por los 39 agricultores encuestados durante seis ciclos de cultivo.**

En condiciones de aislamiento reproductivo esta situación debería llevar a una fuerte pérdida de diversidad genética en los lotes de semilla de las variedades de color. Sin embargo, aunque 70% de los lotes de semilla de la variedad Negro son constituidos a partir de menos de 40 mazorcas, la diversidad genética de esta variedad es comparable a la diversidad de las variedades sembradas a partir de un número mayor de mazorcas como la variedad Blanco (Cuadro 4). Los flujos genéticos constantes entre lotes de semilla sembrados en áreas contiguas permitirían por tanto el restablecimiento del polimorfismo intrapoblación. En este caso las variedades introducidas desempeñan el papel de “sangre nueva” para los tipos locales. En este sistema de manejo, la existencia de flujo genético entre variedades es importante, entonces, para la productividad de estas variedades.

**Conclusiones**

Los intercambios de semilla son intensos dentro de la comunidad y desde fuera de ésta. Así, al modificarse en cada ciclo la composición del grupo de las variedades foráneas, varía en el tiempo la composición del grupo de las variedades sembradas en la zona. Dennis (1987) observó igualmente un fuerte renuevo de la semilla de arroz en varias comunidades de Tailandia. Los agricultores son profundamente curiosos y abiertos a la prueba de otras variedades.

**Cuadro 4. Parámetros del polimorfismo enzimático de las cuatro principales variedades locales (15 loci estudiados).**

Variedad	Tamaño de muestra (Número de granos)	Número promedio de alelos por locus polimórfico (desviación estandar)	Número de alelos raros (frecuencia inferior al 5%)	Porcentaje de loci polimórficos	Diversidad genética *
Blanco	42	3.4 (0.7)	2	66.7	0.390
Amarillo Ancho	20	2.9 (0.6)	1	66.7	0.344
Negro	41	3.5 (0.3)	5	66.7	0.380
Chianquiahuitl	32	3.3 (0.3)	3	66.7	0.345

\*  $\frac{\text{Número de loci estudiados (poli y monomórficos)} - \sum (\text{frecuencias alélicas})^2}{\text{Número de loci estudiados (poli y monomórficos)}}$

Los datos indican además que no sólo hay introducción de lotes de variedades foráneas, sino que los lotes introducidos son integrados a las variedades locales. Con base en su fenotipo, un lote de semilla introducido puede adquirir el nombre de una variedad local y tornarse por tanto parte de ella.

El intercambio de semilla provoca que la composición del grupo de lotes de semilla que forman una variedad sea variable en el tiempo. En efecto, algunos lotes desaparecen al no ser resebrados mientras que un lote puede dar origen a varios otros por el intercambio de semilla entre agricultores y un lote introducido puede pasar a ser parte de una variedad local. Una variedad está por consiguiente mejor definida por sus características morfológicas que por el material genético que la compone. La diversidad de una variedad local no es generada únicamente a nivel local. Es el resultado también del manejo realizado en otras zonas. Estos datos cuestionan el concepto de variedad local y la escala geográfica de tal concepto.

La comunidad indígena de Cuzalapa funciona como un sistema abierto desde el punto de vista del material sembrado. El manejo tradicional de las variedades no conduce al aislamiento de la región. No existe aislamiento entre comunidades sino más bien una situación de flujo constante de material genético. Considerando este caso podemos pensar que existe probablemente un flujo constante de material genético entre diferentes comunidades, sobre áreas geográficas importantes. La variedad Guino (USA) introducida de Estados Unidos es un ejemplo claro de este intercambio sobre grandes distancias. Podemos pensar, entonces, que una variedad criolla, una variedad mejorada o una variedad transgénica puede llegar a cualquier zona del país, incluso a las regiones más retiradas como son las zonas donde se desarrollan los teocintles.

El sistema tradicional descrito aparece como un sistema abierto a la introducción de nuevo material genético. El número importante de variedades introducidas indica una fuerte curiosidad por parte de los agricultores. No es una situación específica para esta zona pero sí un componente importante en el manejo tradicional de la diversidad. Para convencerse de esto basta observar hasta qué punto la agricultura mundial es el fruto de una evolución antigua y constante que incluye la difusión de plantas a partir de su centro de origen, la adopción y el abandono de variedades o de especies cultivadas, la diferenciación de razas y variedades y la adaptación de variedades a diferentes agrosistemas o técnicas de cultivo (Harlan 1975; Haudricourt y Hedin, 1987).

Una variedad, en su definición campesina, es un sistema genético abierto, el cual es significativamente contrastante del concepto de variedad estable, distinta y uniforme, que se maneja tanto en el fitomejoramiento como en la conservación de recursos genéticos. Su composición varía en el tiempo tanto en los lotes de semilla que la componen como en cuanto a su estructura genética. Cada lote está sujeto a una fluctuación de su diversidad y es sometido a constantes flujos genéticos procedentes de otras parcelas. Una variedad introducida puede, por tanto, tener un efecto sobre la diversidad genética del material local y sobre todo si es cultivada durante varios ciclos en la zona.

El ensayo de variedades transgénicas puede en consecuencia realizarse con medidas adecuadas de aislamiento. Sin embargo, si la semilla es sustraída de estos experimentos o si ocurre alguna contaminación accidental y si el gene introducido es favorable y fácilmente seleccionado por los agricultores, el gene puede tener difusión local mediante los flujos genéticos entre variedades y puede también difundirse sobre grandes distancias por medio del intercambio de semilla entre agricultores y llegar a zonas aparentemente aisladas.

## Literatura citada

- Bassetti, P. and M.E. Westgate. 1993. Senescence and receptivity of maize silks. *Crop Science* 33: 275-278.
- Benz, B.F. 1988. *In situ* conservation of the genus *Zea* in the Sierra de Manantlán Biosphere Reserve. En: Recent advances in the conservation and utilization of genetic resources, Proceedings of the Global Maize Germplasm Workshop, CIMMYT, México. pp. 59-69.
- Benz, B.F. and E.J. Jardel P. 1990. Conservación de teocintles y maíces criollos: perspectivas sobre el futuro del maíz. En: El maíz en la década de los 90's, Memoria del Simposio Nacional sobre Maíz. Ayuntamiento de Zapopan, Jal. pp. 115-120.
- Benz, B.F., L.R. Sanchez V., and J.F. Santana M. 1990. Ecology and ethnobotany of *Zea diploperennis* : preliminary investigations. *Maydica* 35: 85-98.
- Benz, B.F. and Iltis, H.H. 1992. Evolution of female sexuality in maize ear (*Zea mays* L. Subsp *mays* -Graminae). *Econ. Bot.*, 46 (2): 212-222.
- Benz, B.F. (En prensa). On the origin, evolution and dispersal of maize. En: M. Blake, (ed). The beginnings of agriculture and development of complex societies. The prehistory of the Pacific Basin. Washington State University Press.
- Crossa, J. 1989. Methodologies for estimating the sample size required for genetic conservation of outbreeding crops. *Theor. Appl. Genet.* 77 (2): 153-161.
- Crossa, J. and R. Vencovsky. 1994. Implication of the variance effective population size on the genetic conservation of monoecious species. *Theor. Appl. Genet.* 89 (7-8): 936-942.
- Dennis, J.V.Jr. 1987. Farmer management of rice variety diversity in northern Thailand. Ph.D. dissertation, Cornell University, University microfilm, Ann Arbor, Michigan, 365 p.
- Guzmán M., R. 1985. Reserva de la Biósfera de la Sierra de Manantlán, Jalisco. Estudio descriptivo. *Tiempos de ciencia* No.1, Universidad de Guadalajara pp. 10-26.
- Hainzelin, E. 1988. Manuel du producteur de semences de maïs en milieu tropical. 30 questions-réponses élémentaires. IRAT/CIRAD, France, 136 p.
- Harlan, J.R. 1975. *Crops and man*. ASA Inc. and Crop Science Society of America.
- Haudricout, A.G. Hedin, L. 1987. L'homme et les plantes cultivées. De. A.-M. Métaillié, 253 p.
- Louette, D. 1994. Gestion traditionnelle des variétés de maïs dans la Réserve de la Biosphère Sierra de Manantlán (RBSM, états de Jalisco et Colima, Mexique) et conservation des ressources génétiques de plantes cultivées. Thèse de doctorat de l'Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Montpellier, France, 245 p.
- Ollitrault, P. 1987. Evaluation génétique des sorghos cultivés (*Sorghum bicolor* L. Moench) pour l'analyse conjointe des diversités enzymatique et morphophysologique. Relations avec les sorghos sauvages. Thèse de doctorat option Amélioration des Plantes, Université Paris XI, Centre Orsay, 187 p.
- Paterniani, E. and A.C. Stort. 1974. Effective maize pollen dispersal in the field. *Euphytica*, 23: 129-134.
- Raynor, G.S., E.C. Ogden, and J.V. Hayes, 1972. Dispersion and deposition of corn pollen from experimental sources. *Agronomy Journal*, 64, 420-427.
- Toledo, V.M. 1990. The ecological rationality of peasant production. En: M.A. Altieri and S.B. Hecht (eds); *Agroecology and small farm development*. CRC Press, Florida, USA pp. 53-60.
- Wellhausen, E.J. L.M. Roberts, and E. Hernández X., in collaboration with P.C. Mangelsdorf. 1952. *Races of maize in Mexico : Their origin, characteristics and distribution*. Cambridge, Bussey Institution, Harvard University.

# Investigaciones acerca del flujo genético entre maíz mejorado y maíz criollo

Fernando Castillo González y Major M. Goodman

Colegio de Postgraduados,  
Universidad Estatal de Carolina del Norte

## Introducción

El flujo de genes entre poblaciones de maíz criollo no ha sido estudiado a plenitud; sin embargo, el trabajo de D. Louette (véase el capítulo anterior de la presente Memoria) y varios estudios previos muestran una tendencia del grado en que puede ocurrir el flujo de genes entre las variedades nativas de maíz, en base a la cuantificación de ocurrencia de xenia y de la comparación de la diversidad en colecciones realizadas en épocas diferentes.

Los estudios de flujo de genes entre las poblaciones de maíz indígena y las poblaciones de teocintle adyacentes a los campos de cultivo son escasos. Al respecto, se han hecho algunas comparaciones de poblaciones de maíz y de teocintle en base a las frecuencias de nudos cromosómicos y análisis isoenzimáticos; sin embargo, las investigaciones no son definitivas porque los tamaños de muestra han sido muy reducidos y la ubicación de las poblaciones en el campo no se ha especificado. El análisis se ha basado en la presencia de "alelos" compartidos con diferencias en las frecuencias relativas (consúltese la presentación de A. Kato en esta publicación).

## Flujo genético entre maíz mejorado y maíz criollo

En la actualidad es posible realizar estudios más precisos del flujo de genes utilizando diferentes marcadores moleculares; empero, se ha generado información que puede ayudar a entender el flujo de genes entre maíz "mejorado" y maíz criollo. En los Cuadros 1 y 2 se presentan de manera concentrada los resultados de los estudios de Ortiz Torres (1993) y Murillo Navarrete (1978). Mediante la frecuencia en la

ocurrencia de xenia al usar caracteres como el color y tipo de endospermo del grano de maíz, ellos muestran que el flujo genético entre diferentes tipos de maíz con floración simultánea es considerablemente alto entre los extremos adyacentes de lotes colindantes en ambos casos. Sin embargo, como se ilustra en la imagen topológica del flujo de genes en una parcela experimental de la Figura 1 (Ortiz Torres, 1993), prácticamente no hay flujo genético efectivo hacia el centro de la parcela (alrededor de 15 metros de la fuente de polen).

En relación al estudio del movimiento de maíces nativos, mejorados e importados entre agricultores,

**Cuadro 1. Flujo de genes entre lotes adyacentes con floración simultánea. En este experimento, una variedad de maíz que contenía el gene *su*, fue rodeada de maíz Cacahuacintle harinoso o de maíz azul. Localidad: Chapingo, Estado de México, 1992. Adaptado de Ortiz Torres (1993).**

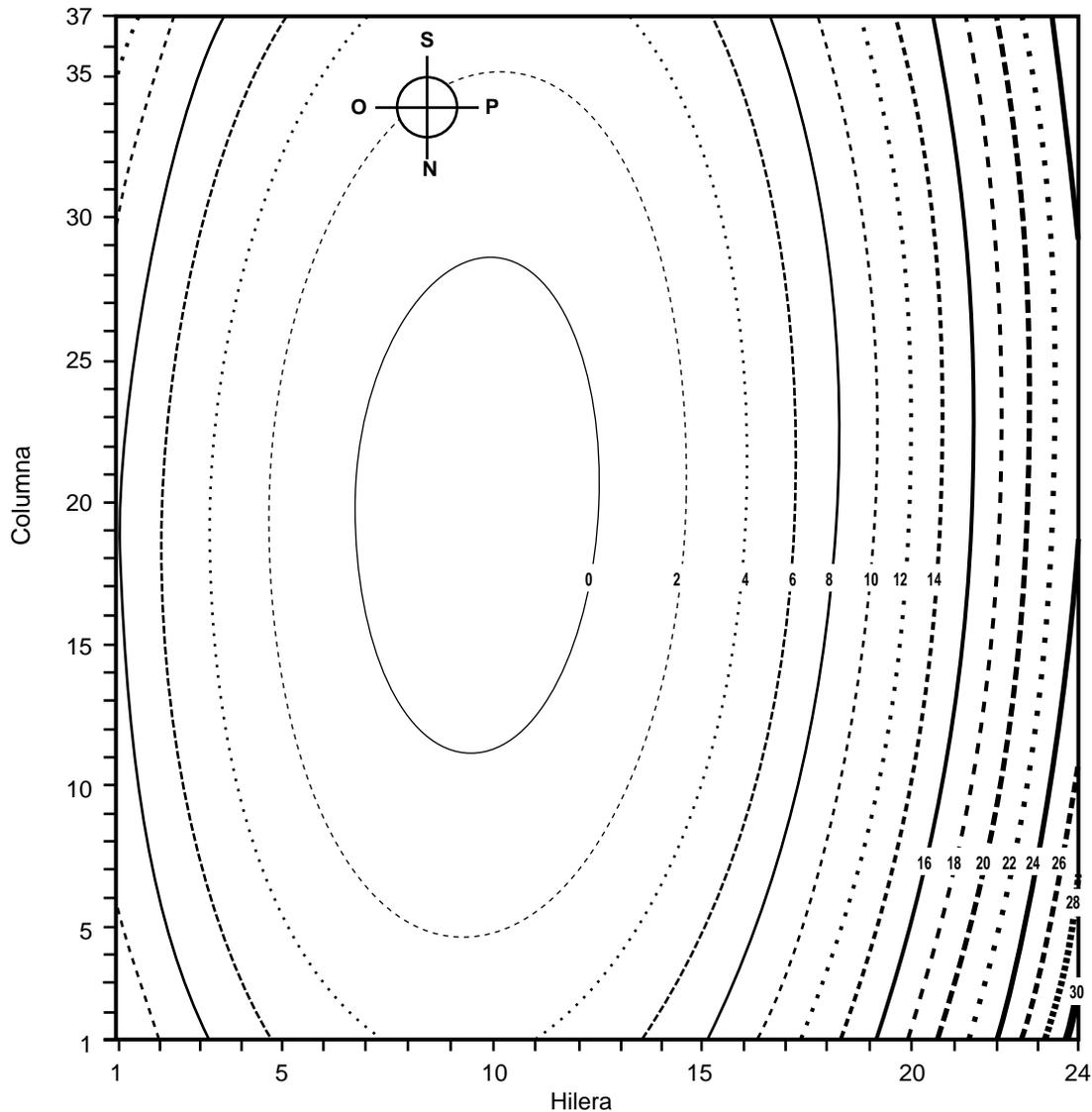
Lotes	Porcentaje de granos de polinización cruzada
en la orilla	10 a 60 %
a 15 m de la orilla	2 a 3 %

**Cuadro 2. Flujo de genes entre lotes adyacentes con floración simultánea. En este experimento, la variedad VS 450 de grano blanco fue rodeada con la variedad V523A de grano amarillo, en un lote de 45 m por lado. Localidad: Iguala, Guerrero. Adaptado de Murillo Navarrete (1978).**

Lotes	Porcentaje de material con polinización cruzada
en la orilla	93 al 100% de mazorcas
en la orilla	8 al 23% de granos
a 12/14 m de la orilla	36 a 74% de mazorcas
a 12/14 m de la orilla	0.16 a .43% de granos

comunidades o regiones, no hay información sistemática y exhaustiva acerca del grado de movilización de estos materiales. Sin embargo, por información oral se sabe que las poblaciones de maíz nativo se mueven dentro de una misma región y a través de regiones. Entre los agricultores tradicionales se menciona con frecuencia que hay cierta pérdida de productividad de los maíces después de sembrarlos durante varias generaciones en el mismo sitio; para recuperarla, los agricultores actúan de varias maneras:

- Siembran su maíz a cierta distancia dentro de la misma región para regresarlo al sitio original al siguiente ciclo. Esta forma de renovar semilla se practica en diferentes regiones
- Se ha observado que los agricultores buscan semilla nueva de fuentes reconocidas de buena semilla; tal es el caso del maíz Chalqueño, el cual es transportado por algunos campesinos desde Chalco (Estado de México) hasta Ciudad Serdán (Estado de Puebla), a unos 200 km de distancia (Sánchez, Kato, Hernández y Castillo; comunicación personal), o el



**Figura 1. Mapa “topológico” que muestra la disminución de flujo de genes de las fuentes externas hacia el centro del campo de maíz. Cerca del centro del campo, el flujo de genes del exterior fue mínimo. Adaptado de Ortiz Torres (1993).**

maíz Cacahuacintle que desde los alrededores de Toluca puede ser movilizado 150 km hasta la región de Amecameca (Ortega y Castillo, comunicación personal).

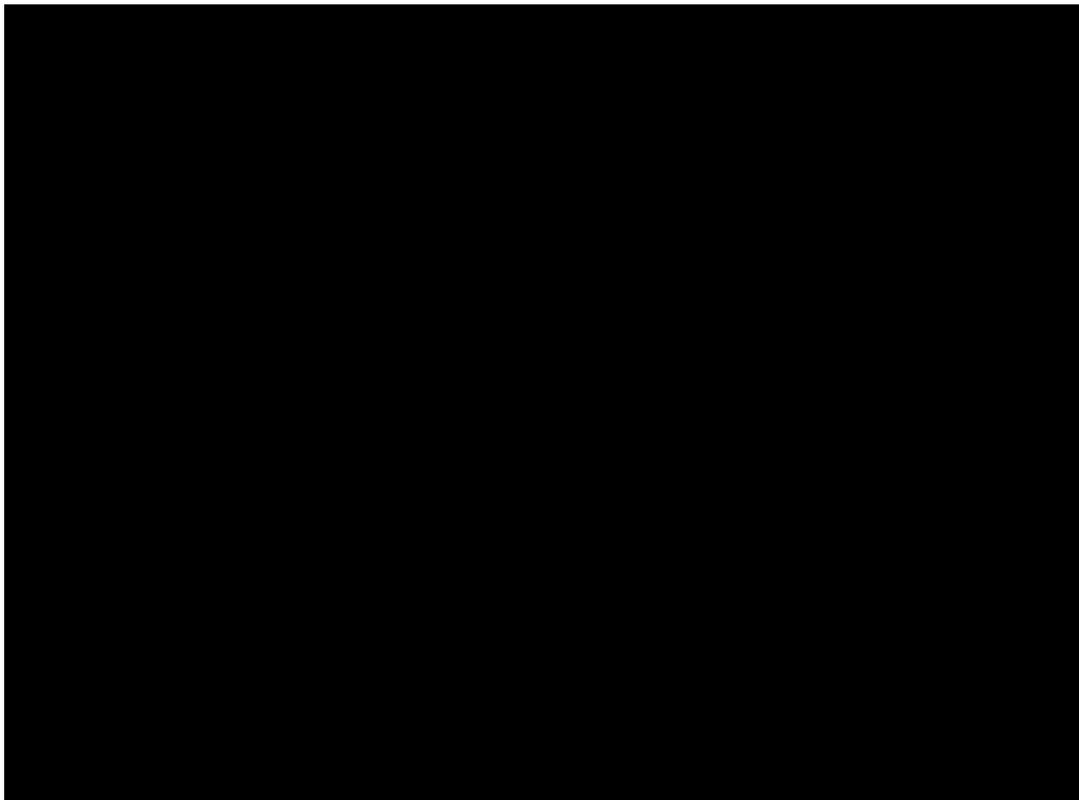
## Estudios de introgresión

En relación con los estudios de introgresión entre razas de maíz criollo y las variedades mejoradas o híbridos, la información es también escasa. Ortega Paczka (1973) al comparar las mazorcas de las colectas hechas por él en 1971 con las que se habían colectado en 1946 por E. Hernández Xolocotzi en el estado de Chiapas, encontró que aproximadamente 1/3 de las poblaciones de la raza de maíz Tuxpeño mostraron introgresión de variedades mejoradas e híbridos, lo que en términos globales representa el 20% de las 382 accesiones colectadas en 1971. En la Figura 2 se muestran las razas que Ortega Paczka (1973) encontró

en Chiapas en 1971, mientras que en las Figuras 3 y 4 se pueden observar materiales derivados por los agricultores a partir de híbridos y de variedades mejoradas, respectivamente.

Por otro lado, se ha comparado el rendimiento de accesiones antiguas que se conservan en bancos de germoplasma con el de accesiones colectadas en fechas más recientes (Cuadros 3 y 4). Los Cuadros 3 y 4 sugieren, aunque no necesariamente prueban, que las colecciones más recientes pueden tener antecedentes históricos de introgresión con los materiales mejorados.

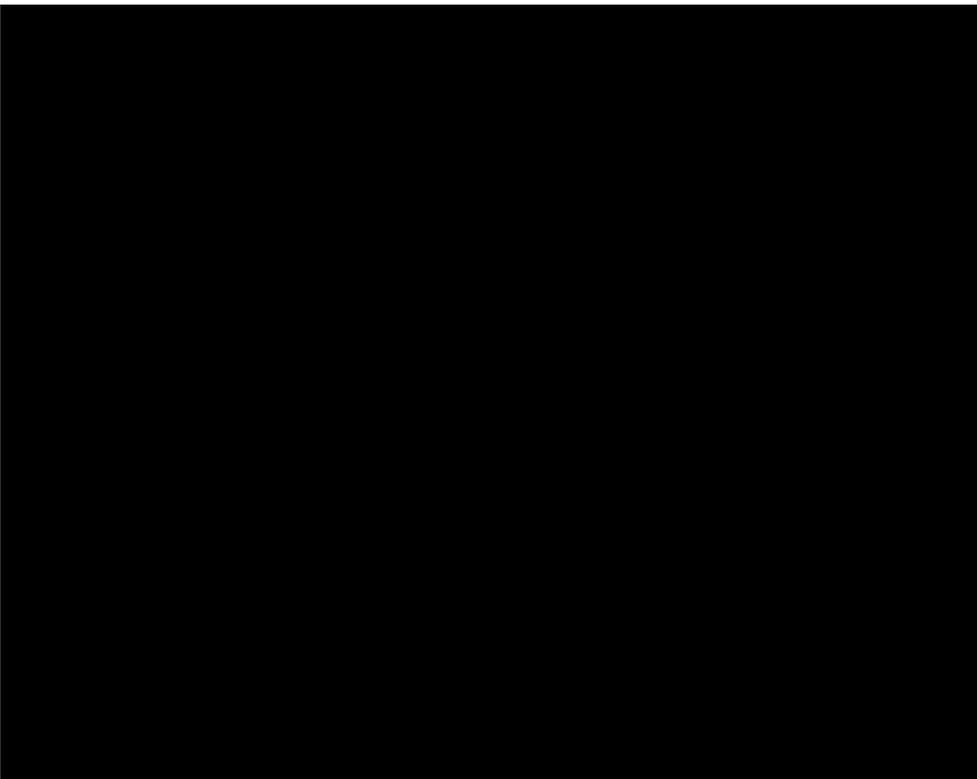
El Cuadro 3 resume el estudio de Vega (1973) en el cual se compararon los rendimientos de accesiones colectadas durante la década de 1940 a 1950 en los estados de Puebla, México y Tlaxcala con muestras colectadas en 1971 en la misma región. En este caso,



**Figura 2. Razas de maíz encontradas en Chiapas en 1971 (Figura 19 de Ortega Paczka, 1973). De izquierda a derecha y de arriba a abajo: Olotillo, Tuxpeño, Vandeño, Tepecintle, Zapalote Grande, Zapalote Chico, Nal - Tel, Quicheño, Negro de Chimaltenango, Olotón, Salpor, Juncaná, Tehua y Argentino.**



**Figura 3. Ejemplares de las poblaciones derivadas a partir de maíces híbridos por los agricultores y detectados en las colecciones que se hicieron en Chiapas en 1971. (Figura 22 de Ortega Paczka, 1973).**



**Figura 4. Ejemplares de poblaciones derivadas de variedades mejoradas de maíz, obtenidas por los agricultores, encontradas y detectadas en las colecciones que se hicieron en Chiapas en 1971 (Figura 23 de Ortega Paczka, 1973).**

las colecciones antiguas y las recientes no provienen de exactamente el mismo lugar pero sí pertenecen a la misma área geográfica. En promedio, hubo un aumento de 0.7 ton/ha en el rendimiento de las colecciones más recientes (Vega, 1973).

En Colombia, Fernando Arboleda (Cuadro 4, comunicación personal) comparó un menor número de accesiones, pero la exploración altitudinal fue más amplia. En este trabajo se comparó el rendimiento del cultivo en las mismas fincas donde se habían colectado las muestras de las accesiones, 20 ó 30 años atrás. También aquí se encontró que el rendimiento se había incrementado entre 0.6 y 0.7 ton/ha.

En los dos estudios descritos anteriormente (Vega, 1973; Arboleda, comunicación personal), se observó que el rendimiento parece haberse incrementado entre 25 y 33% en un período de 20 a 30 años. Surge

**Cuadro 3. Comparación del rendimiento de accesiones de germoplasma antiguo y nuevo, en Valles Altos de México (Adaptado de Vega Zaragoza, 1973). Datos obtenidos en Chapingo, 1971.**

Estado (categoría de germoplasma)	No. de Entradas	Rendimiento (t/ha)	Días a floración
Puebla (antiguo)	21	1.8	83
Puebla (nuevo)	110	2.3	81
México (antiguo)	40	1.4	79
México (nuevo)	92	2.1	80
Tlaxcala (antiguo)	4	1.1	76
Tlaxcala (nuevo)	66	2.0	76

**Cuadro 4. Comparación de rendimiento (t/ha) de colecciones antiguas y nuevas en el sitio exacto de recolecta. Medellín, Colombia, 1986-88 (F. Arboleda, comunicación personal).**

Germoplasma	Elevación			Promedio
	Baja	Media	Alta	
Original	2.22	2.24	2.47	2.31
Recolección reciente	2.81	2.95	3.74	3.16
No. de colecciones	5	2	3	
No. de sitios (ambientes)	13	6	8	
LSD (.05)	0.18	0.32	0.25	0.18

entonces la pregunta: ¿por qué las colecciones más recientes tienen mejor rendimiento que las originales? Para contestar a esta pregunta se sugieren las siguientes posibilidades:

1. La selección continua que los agricultores practican sobre sus poblaciones de maíz, mientras que las colecciones antiguas permanecen estáticas en los bancos de germoplasma.
2. La selección natural ha modificado de manera favorable los materiales colectados en épocas más recientes.
3. La introgresión de variedades mejoradas e híbridos en las colecciones más recientes.
4. La depresión endogámica debido a regeneración frecuente de colecciones en los bancos de germoplasma.

Si se considera un plazo corto, la probabilidad de intercambio genético entre maíz y teocintle es menor que el intercambio entre el maíz mejorado y el maíz criollo. Sin embargo, a largo plazo, la probabilidad de intercambio genético entre maíz y teocintle aumenta. Si el maíz transgénico tiene éxito en Texas o California, es altamente probable que la semilla sea trasladada, legal o ilegalmente, a otros lugares entre los que se incluye a México. En este sentido, si en Estados Unidos se desregula el maíz transgénico, lo más probable es que éste llegue a México en un tiempo muy corto. Aun cuando parte de ese maíz transgénico no se adaptara bien a México, es casi seguro que habrá polinización cruzada con el tiempo.

## Perspectivas

Una pregunta clave reside en saber si el efecto de tal intercambio de genes es importante. Es predecible que este tipo de intercambio genético, que en base a la información disponible es altamente probable, del maíz mejorado al maíz nativo o al teocintle será de consecuencias menores. Sin embargo, y aun cuando

este tipo de apreciación es compartida en términos generales (Miller, 1995; Berg y Singer, 1995), tendrá que demostrarse si esto es correcto.

Por otra parte, hay problemas cuya solución es urgente para los agricultores. Por ejemplo, cualquier productor de maíz en México estaría a favor de alguna planta transgénica que tuviera el potencial de conferir resistencia al daño producido por los insectos que infestan el grano almacenado; sin embargo, no hay en la actualidad ningún desarrollo de maíz transgénico que se enfoque a tan serio problema. Si ese tipo de resistencia se encontrara disponible, ¿habría algún político, elegido por los agricultores, o algún científico agrícola que realmente se inclinara a restringir su uso?

La generación de maíz transgénico con resistencia a herbicidas, a virus e incluso a los insectos, tendría que ser sobresaliente para que los agricultores procuraran superar las desventajas que la selección natural impondría a las plantas portadoras de transgenes y que probablemente serían inherentes a éstos.

La introgresión a teocintle del material transgénico de maíz que en la actualidad está disponible, es aún menos probable. En realidad, el principal enemigo del teocintle es la densidad poblacional humana y sus actividades correspondientes (consúltese el artículo de G. Wilkes en la presente Memoria). Parece ser remoto que los materiales transgénicos actuales pudieran conferir alguna ventaja al teocintle, en relación a los probables efectos adversos de los materiales transgénicos frente a la acción de la selección natural.

Los modelos genéticos básicos que describen estas situaciones son muy simples, si bien hay modelos mucho más complejos que podrían utilizarse en el caso de que se quisieran analizar los efectos, ya sea del maíz transgénico o de la selección natural. En general, los resultados son bastante predecibles si se adoptan suposiciones razonables (Cuadro 5). Estos procedimientos fueron desarrollados en su mayor

parte por S. Wright y J.B.S. Haldane en los años 1930's, y se pueden encontrar ejemplos y referencias en los libros de Genética Cuantitativa.

**Cuadro 5. Modelo genético y económico para la difusión de nuevas construcciones genéticas. A es la nueva construcción genética, con la desventaja genética *s* (debido a los efectos de la selección natural) y la ventaja económica *c*.**

Genotipo Supuesto	Modelo genético	Modelo económico	Modelo combinado
AA	1-s	1	1-s
A-	1-s	1	1-s
--	1	1-c	1-c

De acuerdo con lo establecido en el modelo genético y económico del Cuadro 5, una población de maíz nativo alcanzaría el equilibrio cuando se fijara cualquiera de los alelos AA o --, dependiendo del tamaño relativo de *s* y *c*. En las poblaciones nativas, *c* es apta para ser pequeña, con respecto a *s*, por lo que es probable una reversión a --. En las poblaciones silvestres como el teocintle se podría inferir que esto último tiene mayores probabilidades de ocurrencia.

### Literatura citada

- Berg, P. and M.F. Singer. 1995. The recombinant DNA controversy: Twenty years later. Proc. Natl. Acad. Sci. USA 92 : 9011-9013.
- Miller, H.I. 1995. BIO's "cooperation" with regulators deals a blow to competition. The Scientist 9(19):12.
- Murillo Navarrete, P. 1978. Estimación del grado de cruzamiento en lotes de selección masal sin aislamiento. Tesis profesional. Universidad de Guadalajara, Escuela de Agricultura. Guadalajara, Jalisco, México. 66 pp.
- Ortega Paczka, R. A. 1973. Variación en maíz y cambios socio-económicos en Chiapas, Méx. 1946-1971. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Chapingo, Méx. 199 p.
- Ortiz-Torres, E. 1993. Aislamiento y dispersión de polen en la producción de semilla de maíz. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Montecillo, Méx. 81 p.
- Vega Zaragoza, G. 1973. Estudio de la infiltración genética de los maíces mejorados sobre los criollos de temporal de los estados de México, Puebla y Tlaxcala. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Chapingo, Méx. 119 p.

## **Preguntas y respuestas después de las presentaciones de D. Louette, F. Castillo y M. Goodman**

### **B. Benz:**

Pienso que lo que M. Goodman dice es muy revelador: si  $c$  es relativamente pequeño,  $c$  tiene que ser pequeño en comparación con  $s$ ; entonces, no vamos a lograr una adopción de estas plantas transgénicas. Sin embargo, los campesinos pobres de México son quienes correrían el menor riesgo si sembraran algo cuyas ventajas fueran considerablemente superiores a lo que existiera en un momento determinado. Por consiguiente, la probabilidad de aceptar algo que puede producir mucho, aumenta la probabilidad de la adopción. Veán, por ejemplo, el cultivo de la mariguana.

### **M. Goodman:**

No tengo ninguna duda de que los agricultores mexicanos, de cualquier tipo, y aun en zonas distantes, van a sembrar cultivos transgénicos y pienso que van a hacerlo sea legal o no. Probablemente sucede lo mismo en todo el mundo; de los trabajadores migratorios mexicanos a los estudiantes de doctorado pasando por los misioneros en el Congo, toda esta gente piensa que hace algo bueno al transportar este material. Y esto no tiene nada que ver con las normas fitosanitarias o con alguna de las cosas que nos gusta pensar que nos protegen precisamente contra este tipo de actividades.

De algún modo, cualquiera que sea el resultado, hay que afrontar el problema y hay que hacerlo en todo el mundo. Estas cosas nunca se van a limitar a un solo país, por más que a las empresas les gustaría limitarlas.

### **N. Ellstrand:**

Me gustaría hacer una pregunta doble acerca de los mutantes y su función. En primer lugar, hay una creciente literatura sobre genética ecológica donde se

demuestra que las mutaciones nuevas no son necesariamente desventajosas. En segundo, ¿no tratarán las industrias de reducir los efectos desventajosos de los transgenes? Porque si las plantas son débiles, como Ud. dice, esto no ayudará a la industria.

### **M. Goodman:**

No tengo dudas de que la industria hará todo lo que pueda por disminuir cualquier desventaja que puedan tener las plantas transgénicas. No obstante, tengan en cuenta que lo harán en su material, el cual tal vez no tenga una buena transferencia ¿Hasta qué punto tendrán éxito? Creo que ni siquiera ellos lo saben en este momento. Porque esto todavía es muy experimental; probablemente no hay más de tres a seis híbridos que están realmente listos para ser comercializados el año próximo en los Estados Unidos. Aparentemente Ciba-Geigy tiene varios, Mycogen puede tener uno o dos. Hay mucha publicidad, pero no se va a disponer de mucha semilla. Se venderá en lotes de 1 a 3 (un lote de maíz transgénico por tres lotes de maíz normal) y en cantidades no apropiadas para el uso de los pequeños agricultores en los Estados Unidos.

Ahora, responderé a la otra pregunta. Obviamente hay todo un conjunto de literatura sobre la función de la mutación neutral, que abarca desde la escuela de Kimura hasta la gran cantidad de literatura aparecida desde mediados de los 60's. Sin embargo, estos transgenes no son muy propensos a ser neutrales en el sentido de que al ser insertados causan una mutación que producirá una reacción esencialmente "antigénica" ya que, además, en sí mismos son material genético extraño. Puesto que todos los organismos tienen sus propias enzimas de restricción, eliminan periódicamente estas inserciones. Como resultado, el mecanismo será un poco más difícil de mejorar. Creo que ayudarán mucho los actuales estudios básicos en vectores y promotores.

Si el CIMMYT adoptara de pronto esta tecnología como parte básica de su programa de híbridos, se hablaría entonces de introducir genes de los híbridos del CIMMYT a las poblaciones locales. El hecho de que el 85% de la superficie de México está sembrada con maíz no mejorado indica que hay algunas desventajas en los híbridos para su introducción y permanencia en las diferentes regiones. Esto no quiere decir que no podrían incorporarse híbridos o maíz mejorado, pero lo que sí sugiere es que las empresas privadas, el CIMMYT y el INIFAP, hasta el momento, no han tenido éxito en conquistar el 85% del territorio ¿Tendrán mejor suerte los transgenes? No tengo una respuesta.

**G. Wilkes:**

Estoy limitado por el semestre académico y a veces vengo a México a ver el teocintle en diciembre. Pese a estar en los puntos más alejados de las carreteras en México; aun en esos lugares se encuentran las camionetas de trabajadores migratorios que llegan ahí para la Navidad. A veces no hay otros vehículos que camionetas con placas de los Estados Unidos. Obviamente, esas son las personas que van a traer la semilla transgénica, son los transportadores y estarán en los distritos donde se encuentra el teocintle.

**M. Goodman:**

Los agricultores mexicanos residentes en Carolina del Norte probablemente saben más que yo acerca de enviar semilla al exterior. Si quieren mandar algo a México, les aseguro que saben cómo hacerlo.

**V. Villalobos:**

Podría por favor abundar más acerca de la estabilidad de los materiales transgénicos ¿No son estables?

**M. Goodman:**

No soy un investigador activo en ese campo, simplemente soy un fitomejorador, aunque estoy muy cerca de alguien que trabaja con una pistola genética,

así que estoy al tanto de estas cosas. Para mí fue una sorpresa saber que hay todo un grupo de personas que han dedicado sus carreras a tratar de mejorar la estabilidad de las plantas transgénicas. Tuvimos un Simposio McKnight en Raleigh, Carolina del Norte, la primavera pasada, que se concentró esencialmente en los intentos de estabilizar las construcciones transgénicas. Ingenuamente, pensaba que, bueno, si disparas en el callo vegetal con una pistola y logras un inserto, es magnífico; si logras introducir dos, mejor, y si logras poner tres, todavía mejor; si pones 16, sería sencillamente maravilloso, pero resulta que estaba absolutamente equivocado.

Si uno logra introducir una inserción, hay cierta esperanza de estabilidad, pero si se ponen más, de algún modo estas inserciones se reúnen y deciden irse. No sé cuáles son los mecanismos de esto y creo que hay mucha discusión sobre esta cuestión. Empero, es evidente que hay mecanismos para suprimir el material extraño y existen muchas investigaciones avanzadas, al menos en los Estados Unidos y en Europa, para tratar de vencer estos mecanismos. Sin embargo, por el momento todavía se trata de “disparar y rezar” en lo que concierne a la comercialización de estos productos.

Uno inserta un gene, lo estudia, espera que sea estable y, obviamente, el gene tiene entonces que ser retrocruzado en muchas líneas diferentes. Hasta que uno llega realmente al proceso de retrocruzamiento, en verdad no sabe cuán estable es el gene, porque puede ser estable en el organismo A y, cuando se lo pone en el organismo B, resulta escindido y todo se acabó. El problema es que esto no es evidente de inmediato y puede suceder en las generaciones posteriores. Cuando uno descubre en la generación  $S_6$  que, de pronto, el 25% de las plantas no tienen la inserción que tenían el 100% de las plantas de la generación  $S_2$ , uno sabe que tiene un problema.

**V. Villalobos:**

Lo que Ud. dice es muy importante para esta reunión. Tenemos que discutir esto suponiendo que, aunque no hay mucha experiencia de campo con los materiales transgénicos, cuando se tiene un gene ya insertado y expresado el gene permanecerá.

**M. Goodman:**

Esa fue sin duda la hipótesis inicial y pienso que, en su mayor parte, todavía es correcta. Pero sólo en su mayor parte.

**G. Carrillo:**

¿Qué tan importante es el estudio de genes que pudieran hacer más restrictiva la fertilización selectiva?

**M. Goodman:**

Obviamente eso tiene un impacto muy serio en la probabilidad de transferir transgenes del maíz al teocintle. Tendrá ciertos efectos sobre la transferencia de genes de plantas transgénicas a por lo menos algunas variedades semicomerciales de maíz blanco en México, porque ciertas variedades de maíz blanco, incluidos algunos de los híbridos que han salido de los programas del CIMMYT y la Oficina de Estudios

Especiales, tienen un factor gametofítico que impide la polinización por otros tipos de maíz. Por lo tanto, pueden ser razonablemente importantes, al menos a nivel local, pero creo que nuestro conocimiento de esto esencialmente se basará en un estudio de caso por caso, derivado de lo que mencionó J. Kermicle. Parece que no se pueden hacer generalizaciones acerca del problema.

**R. Martínez Parra:**

M. Goodman mencionó que si hubiera una planta transgénica en el mercado, de una u otra manera, los productores la van a traer. Quiero preguntar a D. Louette si en su encuesta usted identificó los criterios por los cuales el productor selecciona el material y lo introduce a su parcela.

**D. Louette:**

Los criterios son, sobre todo, el aspecto visual de la mazorca. La mayoría de las veces se lleva una mazorca cuando, por ejemplo, van a cosechar con un vecino o en otra región. La conservación del material se da si se obtiene una producción regular en varios ciclos y sin ningún accidente. Si hay algún accidente dejan la variedad que introdujeron, de un ciclo para el siguiente.

# La búsqueda de un equilibrio: los problemas ambientales y los posibles beneficios de los cultivos transgénicos en los centros de origen y diversidad

Ivar Virgin y Robert Frederick

Comisión Asesora sobre Biotecnología  
Instituto del Medio Ambiente de Estocolmo

## Introducción

Con pocas excepciones, la liberación de plantas transgénicas en América Latina ha involucrado a plantas desarrolladas fuera de la región. Sin embargo, la situación está cambiando y ahora se desarrollan plantas en países de la región y varios grupos de investigación se acercan a la etapa de los ensayos de campo. La papa es uno de los cultivos transgénicos más populares en América Latina, y más de 10 grupos de investigación trabajan en el desarrollo de variedades transgénicas. No obstante, la evaluación de la bioseguridad de estas variedades nuevas representa un desafío especial para los organismos reguladores, ya que se han efectuado muy pocas evaluaciones de los riesgos que pudieran surgir por la liberación de papas transgénicas. En general, la mayoría de las evaluaciones de riesgo derivado de la liberación de papas transgénicas se han realizado en países donde virtualmente no existían posibilidades de un flujo de genes a las poblaciones silvestres de *Solanum*.

Ante este panorama, la Comisión Asesora sobre Biotecnología (BAC) y el Instituto Interamericano para la Cooperación en la Agricultura (IICA) decidieron organizar un taller para la revisión integral de los problemas ambientales asociados con la liberación de papas transgénicas en su centro de origen. Se hizo hincapié específicamente en los productos transgénicos desarrollados en América Latina a efecto de ayudar a los organismos reguladores y a los científicos de la región. Entre los participantes figuraron investigadores sudamericanos que trabajan

en el desarrollo de papas transgénicas (incluido el Centro Internacional de la Papa, CIP), miembros de los comités nacionales de bioseguridad, la industria privada y otros especialistas con experiencia en la liberación de papas transgénicas en el norte.

## Resultados y conclusiones

Una vez que escucharon las presentaciones y discusiones generales, los participantes en el taller, divididos en tres grupos, examinaron con más detalle los problemas. Cada grupo consideró los caracteres transgénicos más importantes investigados en sus países. Se les pidió que definieran los problemas ambientales y los beneficios previstos de un determinado carácter transgénico teniendo en cuenta la etapa de desarrollo del cultivo (ensayo en el campo o comercialización). Los resultados fueron expuestos en una sesión plenaria (Cuadro 1).

Fue claro el consenso de que los principales esfuerzos en el desarrollo de papas transgénicas se hacen y se harán en relación con la obtención de plantas con mayor resistencia a las enfermedades y las plagas insectiles. Los caracteres más analizados en el taller fueron la resistencia a los insectos, las bacterias, los virus y los hongos. También se examinó la tolerancia a los factores abióticos adversos (en particular a la sequía), mientras que sólo se consideraron brevemente la resistencia a los herbicidas y las modificaciones de la calidad (por ejemplo, la alteración de la composición de almidón y el contenido de proteína).

En los Estados Unidos de América y en Europa, la posibilidad de la transferencia de genes a especies interfértiles virtualmente no existe a causa de la ausencia de parientes silvestres. En los centros latinoamericanos de origen, habrá flujo de genes entre las papas transgénicas fértiles cultivadas con

propósitos comerciales y las poblaciones silvestres de *Solanum*. En consecuencia, la discusión no se ocupó tanto del confinamiento de los transgenes sino de los posibles efectos que éstos tendrían en el ambiente; más específicamente, las consecuencias del flujo transgénico en los centros de diversidad.

**Cuadro 1. Resumen de las discusiones en grupos de los problemas ambientales y los posibles beneficios de las papas transgénicas. Se supuso que: (1) las papas transgénicas serán comercializadas en América Latina y; (2) habrá flujo de genes hacia las especies interfértiles.**

Caracteres	Prioridad en los países	Beneficios relativos/ para quién <sup>1</sup>	Magnitud de los problemas <sup>2</sup>	Medidas de control recomendadas <sup>2</sup>
Resistencia a los virus y bacterias	Todos los países.  Virus (PVX, PVY, PLRV); pudrición blanda bacteriana y marchitez bacteriana ( <i>Erwinia</i> ).	Beneficios entre elevados y medianos. Reducción del costo de la semilla y mejores condiciones fitosanitarias de la semilla.  Beneficio: PA>>GA	Pequeños a medianos. <sup>3</sup>	Se deben usar líneas estériles masculinas en los centros de diversidad de <i>Solanum</i> para limitar la contaminación sexual a los parientes silvestres. <sup>6</sup>
Resistencia a las plagas de insectos.	Todos los países. Lepidópteros y Dípteros (por ejemplo, la polilla del tubérculo de papa).	Beneficios elevados para el ambiente y la salud humana, menor empleo de insecticidas.  Beneficio: PA = GA	Pequeños a medianos. <sup>4</sup>	Se requieren otras investigaciones para determinar los efectos de caracteres con el potencial de aumentar la aptitud, con el fin de evaluar mejor y, cuando sea posible, cuantificar los riesgos ambientales. Se deben usar líneas estériles masculinas en los centros de diversidad de <i>Solanum</i> .
Resistencia a los hongos.	Todos los países.  El problema principal es el tizón tardío ( <i>Phytophthora infestans</i> ).	Beneficios elevados (menor empleo de fungicidas).  Beneficio: PA = GA	Grandes en las zonas con poblaciones silvestres de <i>Solanum</i> . <sup>5</sup>	Véase arriba.
Tolerancia a factores abióticos adversos (heladas y salinidad).	Heladas: Argentina y países andinos.  Salinidad: Cuba y Perú.	Beneficios elevados. Especialmente para los agricultores que cultivan tierras marginales.	Grandes en las zonas con poblaciones silvestres de <i>Solanum</i> . <sup>5</sup>	Véase arriba.
Alteración del almidón/ calidad de proteína.	Argentina, Chile, Perú y Venezuela.	Beneficios medianos o escasos.  Beneficio: PA>>GA	Pequeños.	No se recomendó ninguna medida específica.

<sup>1</sup> Se estima el beneficio relativo como escaso, mediano o elevado. Se hicieron distinciones entre el pequeño agricultor (PA) y el agricultor en gran escala (GA), cuando fue posible; = indica el mismo beneficio; >> indica mayor beneficio para el primero.

<sup>2</sup> En este capítulo y anteriormente se ha descrito la naturaleza de los problemas. Las determinaciones enumeradas aquí se basaron en consideraciones concernientes a la comercialización (en gran escala) del cultivo transgénico. En el caso de los ensayos sobre el terreno, se pensó que se podían controlar suficientemente los problemas ambientales con las medidas apropiadas de confinamiento.

<sup>3</sup> Estos caracteres probablemente confieran poca aptitud adicional al huésped; ya hay genes de resistencia en las poblaciones silvestres de *Solanum*; las especies silvestres pueden florecer con una infección bacteriana.

<sup>4</sup> Este carácter probablemente conferirá poca aptitud adicional al huésped. La tolerancia a las proteínas plaguicidas en los insectos se puede controlar mediante las prácticas de manejo o, en forma natural, mediante la disponibilidad de otras plantas huéspedes.

<sup>5</sup> Posible desplazamiento de los parientes silvestres a causa de la mayor aptitud de determinadas especies de *Solanum*.

<sup>6</sup> El empleo de variedades transgénicas estériles masculinas fue una medida general de precaución que se recomendó considerar en todas las líneas de plantas comerciales.

En general, se coincidió en que los centros de diversidad tienen gran valor, tanto en el ámbito local como en el mundial. Además, los participantes consideraron que se deben tomar todas las medidas razonables para conservar esa diversidad. Sin embargo, no hubo un claro consenso entre los participantes acerca de si la introducción de los caracteres transgénicos en las papas cultivadas y silvestres socavaría la diversidad de *Solanum* al modificar los patrones de crecimiento y, por consiguiente, desplazar a la población natural. Muchos pensaron que, en la mayoría de los casos, las variedades transgénicas de papa no serían diferentes de las plantas usadas en el mejoramiento tradicional. Otros argumentaron que un carácter que aumentara drásticamente la aptitud (capacidad invasora) de las plantas, al menos en teoría, representaría una amenaza para la diversidad de *Solanum*. En general, se opinó que la información disponible y las actividades de investigación actuales en este campo, específicamente en relación con América Latina, son inadecuadas.

En cuanto a los caracteres de resistencia a los insectos, bacterias, virus y hongos, la mayoría de los participantes opinó que los beneficios, en la mayoría de los casos, superarían a los problemas ambientales. Se argumentó que estos caracteres ya estaban presentes en las poblaciones silvestres de muchas regiones latinoamericanas y que los caracteres transgénicos no son distintos de los que se buscan por medio de la selección convencional realizada por los mejoradores de la papa desde hace muchos años. Por consiguiente, los riesgos *a priori* no difieren de los asociados con las variedades mejoradas convencionalmente. Se mencionó la dificultad de comparar el flujo de genes de los cultivos transgénicos resistentes a, por ejemplo, los hongos, con respecto al flujo de variedades mejoradas por métodos convencionales o que existen en la naturaleza. La razón es que un fenotipo específico en la última categoría se debe a caracteres multigénicos, mientras que las plantas transgénicas del mismo fenotipo

tendrían un solo gene dominante. Se observó que las características multigénicas se transfieren con mucho menos eficiencia.

### **Discusiones sobre caracteres específicos**

Se pensó que la resistencia a los virus mejoraría las condiciones fitosanitarias para los agricultores y los productores de semilla. Los agricultores en pequeña escala serían los más beneficiados merced al mayor acceso a la semilla certificada. Los genes que codifican para la resistencia a los virus ya están presentes en las especies silvestres y hay una larga experiencia con papas resistentes a los virus obtenidas mediante el mejoramiento tradicional. Hubo una breve discusión sobre la posibilidad de crear nuevos virus mediante la recombinación y la transencapsulación en plantas transgénicas resistentes a los virus. Se reconoció que se requieren investigaciones para considerar esta posibilidad. La mayoría de los participantes pensó que esto no sería un problema importante puesto que la recombinación de los virus mediante este mecanismo se produce ya con frecuencia en la naturaleza. En consecuencia, no se consideraron necesarias precauciones adicionales en comparación con los genes neutrales.

Las plantas transgénicas que codifican para la resistencia a las bacterias también fueron consideradas benéficas, por las mismas razones que las plantas resistentes a los virus. Se señaló que ya existen genes que codifican para la resistencia a las bacterias en la población de plantas silvestres. Además, se mencionó que, a pesar de la infección bacteriana, las plantas todavía pueden florecer y esparcir semillas. La infección afecta la calidad del tubérculo pero no la reproducción. Por consiguiente, no se consideró que la resistencia a las bacterias fuese un carácter que aumentaría notablemente la aptitud relacionada con la capacidad invasora de las plantas de papa.

La resistencia a los insectos es importante para los cultivos en la mayoría de los países latinoamericanos. La relación entre los beneficios y los problemas ambientales es elevada a causa de los efectos negativos de los insecticidas en el ambiente y la salud humana. Desde el punto de vista económico, los grandes agricultores, que gastan cantidades considerables en insecticidas, probablemente se beneficiarán más que los pequeños agricultores. Muchos participantes opinaron que había poca información disponible sobre el efecto de los transgenes que confieren resistencia a los insectos en los centros de diversidad de *Solanum*. Algunos argumentaron que las plagas no son el principal factor biótico adverso en las poblaciones de *Solanum* y, por tanto, la presencia de genes de resistencia no aumentará en forma notable su aptitud. En cuanto a los efectos de alteración ecológica, se mencionó que la mayoría de los insectos tienen otros huéspedes alternativos, lo cual reduce las posibilidades de que las poblaciones de insectos desarrollen tolerancia a productos transgénicos como la toxina *Bt*. Se sugirió realizar un estudio vinculado con este carácter, sobre el efecto del flujo de genes en la ventaja selectiva y los efectos de alteración ecológica. En este sentido, se propuso efectuar un estudio de los posibles efectos de alteración ecológica en diferentes ecosistemas (la región andina, tropical y subtropical) después de una aspersión con *Bacillus thuringiensis*.

En cuanto a los caracteres de resistencia a los hongos, la resistencia al tizón tardío (*Phytophthora infestans*) fue la que recibió más atención. Los participantes estuvieron de acuerdo en que las plantas transgénicas de papa resistentes al tizón tardío serían muy útiles en América Latina al aumentar la productividad y reducir la necesidad de fungicidas. Se beneficiarían tanto los agricultores en gran escala como los pequeños agricultores. Hay especies en el complejo genético de *Solanum* silvestre que son resistentes al tizón tardío y, por consiguiente, la transferencia de genes de la resistencia no afectará notablemente a las

poblaciones silvestres. Sin embargo, algunos participantes argumentaron que la resistencia al tizón tardío puede llevar a un aumento de la aptitud general del organismo y que el flujo de genes de este carácter hacia los parientes silvestres podría modificar su patrón de crecimiento de no invasor a invasor (maleza), lo cual posiblemente afectaría la diversidad de *Solanum*. A la inversa, se señaló que las poblaciones silvestres de *Solanum* no estaban bajo una elevada presión selectiva ejercida por el tizón tardío, en comparación con las variedades cultivadas. Esto obedece a las condiciones de crecimiento desfavorables para el tizón tardío (temperaturas y humedad inadecuadas, etc.) o a la resistencia natural en las especies silvestres de *Solanum*. En consecuencia, se señaló que transferir genes que confieren resistencia al tizón tardío no tendría un efecto importante en el patrón de crecimiento de las poblaciones silvestres de *Solanum*. El valle de Toluca en México, una zona con elevada diversidad de *Solanum* y gran presión del tizón tardío, constituiría un buen sitio para la investigación de este problema. En la población hay especies *S. demissum* naturalmente resistentes al tizón tardío y se propuso efectuar un estudio sobre su ventaja competitiva y el efecto en la diversidad.

La tolerancia a las heladas fue muy discutida como ejemplo de un carácter de la tolerancia a factores abióticos desfavorables. Hubo acuerdo en que las plantas tolerantes a las heladas serían benéficas en la región andina y en el sur de Argentina al aumentar la productividad y mejorar la calidad del tubérculo. La tolerancia natural a las heladas es resultado de altas concentraciones de alcaloides y está bajo control multigénico. Se argumentó que éste es un caso en que la transferencia de la tolerancia natural es más difícil que la transferencia de un solo gene dominante que codifica para una sola proteína que confiere tolerancia a la helada. Al discutir los problemas ambientales, se señaló que un carácter de tolerancia a la helada, si se propaga a los parientes silvestres, podría posiblemente incrementar la aptitud y,

posteriormente, la capacidad invasora. No obstante, las variedades transgénicas tolerantes a las heladas se usarían principalmente en altitudes donde la flora ya es tolerante a las heladas y consecuentemente, el carácter no conferiría ninguna ventaja selectiva por conducto de la introgresión a los parientes silvestres. Por otra parte, se señaló que, si se establecen los genes tolerantes a las heladas en poblaciones invasoras que crecen a altitudes más bajas, estas poblaciones podrían propagarse a altitudes mayores y, posiblemente, socavarían la diversidad de las especies de *Solanum* silvestres. Los participantes observaron que se usan en la región variedades resistentes mejoradas en la forma convencional, sin efectos notables en el ambiente. Por consiguiente, se recomendó realizar otros estudios sobre el aumento de la aptitud después de la transferencia de genes de tolerancia a heladas. El trabajo experimental debe incluir la transferencia de genes que codifiquen para la tolerancia a las heladas a variedades que ya son tolerantes a este factor, así como a aquellas que son sensibles a las heladas.

Se consideró que los caracteres que modifican la calidad de almidón, el contenido de proteína y la materia seca de las papas tienen efectos ambientales insignificantes. Se opinó que ninguno de estos caracteres es de gran importancia en el desarrollo de papas transgénicas en América Latina en la actualidad.

En relación con algunos de los caracteres anteriores, había interrogantes que no podían responderse con los conocimientos actuales. Por ejemplo, nadie en la reunión conocía algún estudio sobre los efectos ambientales de la liberación de un transgene (por conducto del flujo de genes hacia los parientes

silvestres), que demostrara una mayor aptitud asociada a la capacidad invasora de las plantas. Por tanto, se recomendó la realización de estudios con transgenes (caracteres) que confieren un aumento predecible de la aptitud. Se sugirió investigar la medida en que enfermedades y plagas particulares afectan a las poblaciones silvestres de *Solanum*. Los participantes señalaron que todo el mundo se beneficia con la utilización de parientes silvestres de los centros de origen y hay interés internacional por conservar esta biodiversidad. En consecuencia, los estudios de los efectos del empleo de transgenes en estos ambientes deben ser una responsabilidad internacional. Esto es particularmente importante en un momento en que los gobiernos latinoamericanos tienen cada vez menor capacidad para financiar este tipo de estudios y el empleo amplio de las plantas transgénicas será difícil de controlar. No obstante, los riesgos percibidos no deben ser un impedimento para las investigaciones sobre las papas transgénicas o pequeños ensayos restringidos en el campo, en los que se puedan manejar con eficacia los riesgos.

## Conclusiones

Los países tomarán la decisión de introducir o no plantas transgénicas basados en sus necesidades. El criterio adoptado por muchos de los participantes en el taller fue que se trata de equilibrar los problemas ambientales con los posibles beneficios. Los beneficios en muchos casos superarán a los riesgos percibidos. Sin embargo, en varios casos se requiere más información sobre los efectos ambientales de ciertos caracteres transgénicos en regiones específicas de América Latina.

# Evaluación de los riesgos del flujo transgénico de los cultivos a las especies silvestres

Norman C. Ellstrand

Departamento de Botánica y Fitotecnia  
Universidad de California en Riverside

## Introducción

La hibridación natural entre los cultivos y sus parientes silvestres tiene dos posibles consecuencias nocivas. El primer problema en potencia es la transferencia de alelos de los cultivos “a especies de malezas para crear una maleza más persistente” (Goodman y Newell, 1985). Mientras que algunos alelos de los cultivos pueden representar un inconveniente en la naturaleza, otros pueden conferir una ventaja. El problema es más que teórico. Los ejemplos de una mayor resistencia de la maleza que ha surgido como resultado del flujo génico de los cultivos de la agricultura tradicional a sus parientes que son malezas, incluyen a muchos de los cultivos más importantes del mundo: por ejemplo, la remolacha azucarera (Boudry *et al.*, 1993), el mijo perla (Brunken *et al.*, 1977), el arroz (Gould, 1991) y el centeno (Sun y Corke, 1992). En todos los casos, la evolución de la maleza ha ocasionado un costo considerable en términos de un incremento de las actividades de control.

El otro problema potencial es la extinción de la especie silvestre. La extinción por hibridación se puede producir en dos formas. “La depresión alogámica” es una reducción de la aptitud general del organismo después de la hibridación (Templeton, 1986); la especie localmente rara resulta parcialmente esterilizada al aparearse con la especie localmente común. La otra forma es la “inundación” o extinción por dilución, que se produce cuando una especie localmente rara pierde su integridad genética por la asimilación en la especie localmente común mediante repetidos ciclos de hibridación e introgresión (Ratcliffe, 1973). Ambos

fenómenos son dependientes de la frecuencia, en el sentido de la abundancia relativa de los genotipos, con una retroalimentación positiva, de tal modo que en cada generación sucesiva la especie localmente rara se vuelve cada vez más rara hasta que se produce la extinción (Ellstrand y Elam, 1993). Ambos pueden llevar con rapidez a la extinción. Si 900 individuos de una especie localmente común se aparean al azar con 100 individuos de la especie localmente rara, se puede producir en tres generaciones la extinción causada por la depresión alogámica y/o la inundación.

Nuevamente, el problema es más que teórico. El flujo de genes provenientes de los cultivos ha sido implicado en la extinción de los parientes silvestres de varias especies de cultivos (Kiang *et al.*, 1979; Small, 1984). En la actualidad, la hibridación con cultivos puede estar contribuyendo a la declinación de parientes silvestres de los cultivos, que abarcan desde los del nogal (McGranahan *et al.*, 1988) hasta los del algodón (por ejemplo, Wendel y Percy, 1990).

## Evaluación de los riesgos del flujo transgénico

El hecho de que se puedan producir esos fenómenos no significa que se producirán. Se pueden reunir datos de estudios experimentales o descriptivos y, si está disponible, de la literatura científica anterior para evaluar las probabilidades y la importancia de los riesgos del flujo de genes. En informes previos sobre el tema se esboza la evaluación de los múltiples riesgos de los cultivos transgénicos u otros organismos transgénicos (por ejemplo, Crawley, 1990; Rissler y Mellon, 1993; Comité Asesor sobre Investigaciones en Biotecnología Agrícola del Departamento de

Agricultura de los Estados Unidos, USDA 1995). A continuación me referiré específicamente a posibles formas de evaluar los riesgos del flujo de genes de un cultivo a especies silvestres.

## Mayor resistencia de la maleza

El problema de la mayor resistencia de la maleza dependerá de que: (1) se produzca la hibridación, (2) el transgene tenga la oportunidad de persistir en la naturaleza, y (3) confiera una ventaja a la maleza. Obviamente, si no hay la hibridación no se puede producir el flujo génico. La forma apropiada de comprobar si se puede producir la hibridación en las condiciones de campo es crear parcelas experimentales del cultivo y de la maleza que simulen las condiciones agroecológicas típicas de la situación en que se encuentran juntas esas plantas. Las parcelas experimentales deben abarcar toda la gama de esas condiciones. Se puede entonces medir el flujo génico poniendo a prueba la progenie de la mala hierba para detectar marcadores genéticos específicos del cultivo. El tamaño de las muestras debe ser suficientemente grande para detectar el flujo génico en niveles biológicamente significativos (el óptimo sería, un orden de magnitud por arriba de la tasa de mutación, y al menos suficientemente sensible para detectar tasas de hibridación de 1%). Se ha usado una serie de esos estudios para medir las tasas de hibridación maleza x cultivo en diversas especies, como el rábano (Klinger *et al.*, 1991), el girasol (Arias y Rieseberg, 1994) y el arroz (Langevin *et al.*, 1990). La polinización manual y el rescate de embriones no son técnicas apropiadas porque no simulan los vectores naturales ni la producción natural de semilla.

La interpretación de los datos es tan importante como los datos mismos. Frases tales como “el flujo génico se reduce rápidamente con la distancia” no sirven cuando se detecta alguna hibridación a distancias típicas de las que se presentan entre el cultivo y la mala hierba. Con esos datos, la interpretación apropiada es: “El transgene se incorporará a las

poblaciones de la maleza”; la respuesta apropiada es pasar al siguiente problema, la evaluación del riesgo.

La siguiente pregunta es: “¿Persistirá el transgene?”. La genética poblacional pronostica que un alelo persistirá en una población sometida a la presión del flujo de genes aun cuando el alelo sea neutral o moderadamente desventajoso (Slatkin, 1985). En consecuencia, si se pueden reproducir los híbridos y si las poblaciones de maleza están bajo un flujo constante de genes provenientes del cultivo, el transgene persistirá. Los datos apropiados sobre la persistencia son los que indican si los híbridos de la primera generación se reproducirán en las condiciones de campo. Los experimentos de este tipo descritos antes mostrarían si los híbridos pueden pasar sus genes a las generaciones futuras por conducto de las semillas, el polen y/o la reproducción vegetativa. Hasta el momento, sólo unos cuantos estudios han medido la aptitud de los híbridos de cultivos y malas hierbas en comparación con la de las malas hierbas progenitoras en condiciones de campo (Klinger y Ellstrand, 1994; Arriola, 1995). A menos que los híbridos sean estériles o sufran una fuerte depresión de la aptitud, los transgenes persistirán en las poblaciones silvestres.

Otra posibilidad son los estudios genéticos descriptivos de las poblaciones, que buscan marcadores genéticos específicos de los cultivos en las poblaciones naturales y que se pueden usar para determinar si se ha producido hibridación avanzada (es decir, introgresión) en el pasado y en qué medida. Esos estudios ya han demostrado la introgresión de alelos de los cultivos en poblaciones naturales (por ejemplo, Boudry *et al.*, 1993; Brunken *et al.*, 1977; Sun y Corke, 1992; Joergensen y Andersen, 1994). Se deben efectuar estos estudios a nivel de las poblaciones para determinar la frecuencia de los alelos. Las accesiones individuales de cada población no pueden proporcionar esos datos. Si se presentan alelos específicos del cultivo con frecuencias significativas (>1%) en las poblaciones de la mala hierba cercanas a las poblaciones del cultivo, es evidente que es probable la persistencia.

La siguiente pregunta es: “¿Aumentará el transgene la conversión a maleza?”. La pregunta anterior se puede abordar sin una consideración directa del transgene. Ciertos fenotipos del transgene (por ejemplo, la tolerancia a los herbicidas, la resistencia a las enfermedades, la resistencia a los insectos) ciertamente intensifican la aptitud. Como los transgenes pueden tener efectos pleiotrópicos inesperados en la aptitud, se podrían efectuar experimentos en los híbridos transgénicos sobre la aptitud en el campo, del tipo detallado anteriormente, para determinar los efectos de los transgenes. Se ha informado de algunos experimentos de este tipo, pero la mayoría fueron con cultivos transgénicos y no con híbridos (por ejemplo, Crawley *et al.*, 1993; Linder y Schmitt, 1995). Nuevamente, es fundamental la interpretación de los datos. Un aumento de la aptitud del 5% sin duda aumentará la resistencia de la maleza a tal punto que tenga importancia económica.

### **La extinción por hibridación**

El problema de la extinción por hibridación dependerá de que: (1) se produzca la hibridación en una proporción considerable y (2) el grupo taxonómico raro sea localmente raro en comparación con el cultivo vecino.

En contraste con el problema de una mayor resistencia de la maleza, el problema de la extinción por la hibridación depende de la tasa de apareamiento entre el cultivo y la especie silvestre (Ellstrand, datos inéditos). Específicamente, el riesgo disminuye en forma radical a medida que las tasas de apareamiento entre las especies se reducen en el apareamiento al azar (es decir, a medida que aumenta el apareamiento asociativo). La forma apropiada de medir las tasas de hibridación es crear parcelas experimentales del cultivo y el grupo taxonómico raro que simulen las condiciones naturales en que se espera que ambos coexistan. Las parcelas experimentales deben abarcar la gama de esas condiciones. Se puede medir entonces

el flujo génico poniendo a prueba la progenie del grupo raro para detectar marcadores genéticos específicos del cultivo. El tamaño de las muestras debe ser suficientemente grande para detectar el flujo génico en niveles biológicamente significativos (por lo menos suficientemente sensibles para detectar tasas de hibridación de 50%). No conozco ningún experimento relacionado con las tasas de hibridación para cualquier combinación de especie común x especie rara. Sin embargo, los estudios mencionados antes que miden la hibridación maleza x cultivo (Klinger *et al.*, 1991; Arias y Rieseberg, 1994; Langevin *et al.*, 1990) son modelos apropiados. Nuevamente, la polinización manual y el rescate de embriones no son técnicas apropiadas porque no simulan los vectores naturales ni la producción natural de semilla.

La otra pregunta es: “¿El grupo raro es localmente raro en comparación con el cultivo vecino?”. Esta pregunta es crítica porque la probabilidad de extinción de la población es dependiente de la frecuencia. En el caso en cuestión, aumenta a medida que disminuye el cociente entre el tamaño de la población local del grupo taxonómico raro y el tamaño de la población del cultivo ( $N[\text{silvestre}]/N[\text{cultivo}]$ ) (Ellstrand y Elam, 1993). El riesgo de extinción por hibridación sólo se producirá cuando un grupo taxonómico raro previamente alopátrico se vuelve simpátrico o peripátrico con un cultivo que tiene un área extensa de distribución. En consecuencia, los grupos taxonómicos en peligro son los que estarían nuevamente desafiados por la presencia de un pariente del cultivo.

Se pueden estimar los tamaños típicos de las plantaciones del cultivo. Las poblaciones del grupo taxonómico raro se pueden estimar mediante el computo directo y se las ajustará cuando se prevean alteraciones y fragmentación en el futuro. Estas cantidades relativas, combinadas con las tasas de hibridación obtenidas en los experimentos anteriores, pueden ser utilizadas para hacer una estimación aproximada del tiempo que transcurrirá hasta la extinción.

## Conclusiones

Los riesgos del flujo transgénico de los cultivos a los grupos taxonómicos silvestres son directos. Su probabilidad e importancia pueden ser estimadas mediante datos científicamente obtenibles. Si bien nunca es posible prever todas las consecuencias de una tecnología, un conjunto de normas reguladoras con fundamentos científicos puede detener la liberación de productos transgénicos que probablemente crearán problemas y, al mismo tiempo, permitir la liberación oportuna de otros.

## Agradecimiento

Algunos de los conceptos expuestos se desarrollaron con el patrocinio del Consejo para el Intercambio Internacional de Científicos, la Fundación Nacional para las Ciencias de los Estados Unidos de América, Sveriges skogs-och jordbrukets forskningsråd, el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América, y el Programa de Investigación y Enseñanza en Biotecnología de la Universidad de California.

## Literatura citada

- Arias, D.M., and L.H. Rieseberg. 1994. Gene flow between cultivated and wild sunflowers. *Theor Appl Genet* 89:655-660.
- Arriola, P. 1995. PhD Dissertation. University of California, Riverside, CA.
- Boudry, P., M. Moerchen, P. Saumitou-Laprade, P. Vernet, and H. Van Dijk. 1993. The origin and evolution of weed beet: Consequences for the breeding and release of herbicide-resistant transgenic sugar beets. *Theor Appl Genet* 87:471-478.
- Brunken, J., J.M.J. deWet, and J.R. Harlan. 1977. The morphology and domestication of pearl millet. *Econ Bot* 31:163-174.
- Crawley, M.J. 1990. The ecology of genetically engineered organisms: Assessing the environmental risks. In: H.A. Mooney and G. Bernard (eds.). *Introduction of Genetically Modified Organisms into the Environment*, pp. 133-150. London: Wiley.
- Crawley, M.J., R.S. Hails, M. Rees, D. Kohn, and J. Buxton. 1993. Ecology of transgenic oilseed rape in natural habitats. *Nature* 363:620-623.
- Ellstrand, N.C., and D.R. Elam. 1993. Population genetic consequences of small population size: Implications for plant conservation. *Annu Rev Ecol Syst* 24:217-242.
- Goodman, R.M., and N. Newell. 1985. Genetic engineering of plants for herbicide resistance: status and prospects. In: H.O. Halvorson, D. Pramer, and M. Rogul (eds.). *Engineered Organisms in the Environment: Scientific Issues*, pp.47-53. Washington, D.C: American Society for Microbiology.
- Gould, F. 1991. The evolutionary potential for crop pests. *American Scientist* 79:496-507.
- Joergensen, R., and B. Andersen. 1994. Spontaneous hybridization between oilseed rape (*Brassica napus*) and weedy *Brassica campestris* (Brassicaceae): A risk of growing genetically modified oilseed rape. *Amer Jour Bot* 81:1620-1626.
- Kiang, Y.T., J. Antonovics, and L. Wu. 1979. The extinction of wild rice (*Oryza perennis formosana*) in Taiwan. *Jour Asian Ecol* 1:1-9.
- Klinger, T., D.R. Elam, and N.C. Ellstrand. 1991. Radish as a model system for the study of engineered gene escape rates via crop-weed mating. *Conserv Biol* 5:531-535.
- Klinger, T., and N.C. Ellstrand. 1994. Engineered genes in wild populations: Fitness of weed-crop hybrids of radish, *Raphanus sativus* L. *Ecological Applications* 4:117-120.
- Langevin, S., K. Clay, and J.B. Grace. 1990. The incidence and effects of hybridization between cultivated rice and its related weed red rice (*Oryza sativa* L.). *Evolution* 44:1000-1008.
- Linder, C.R., and J. Schmitt. (En prensa). Potential persistence of escaped transgenes: Seed and seedling performance in transgenic oil-modified canola and wild x canola hybrids. *Ecological Applications*.
- McGranahan, G.H., J. Hansen, and D.V. Shaw. 1988. Inter- and intraspecific variation in California black walnuts. *J Amer Soc Hort Sci* 113:760-765.
- Ratcliffe, D.A. 1973. Safeguarding wild plants. En: P.S. Green (ed.). *Plants — Wild and Cultivated: A Conference on Horticulture and Field Botany*. Hampton: Bot. Soc. of the British Isles. pp. 18-24.
- Rissler, J. and M. Mellon. 1993. Perils amidst the promise. Union of concerned scientists. Cambridge, Massachusetts, USA.
- Slatkin, M. 1985. Gene flow in natural populations. *Annu Rev Ecol Syst* 16:393-430.
- Small, E. 1984. Hybridization in the domesticated-weed-wild complex. En: W.F. Grant (ed.), *Plant Biosystematics*. Toronto: Academic Press. pp. 195-210.
- Sun, M., and H. Corke. 1992. Population genetics of colonizing success of weedy rye in northern California. *Theor Appl Genet* 83:321-329.
- Templeton, A.R. 1986. Coadaptation and outbreeding depression. En: M.E. Soule (ed.). *Conservation Biology: The Science of Scarcity and Diversity*. Sunderland: Sinauer. pp. 105-116.
- USDA Agricultural Biotechnology Research Advisory Committee. 1995. Performance standards for safely conducting research with genetically modified fish and shellfish. United States Department of Agriculture. Document 95-01.
- Wendel, J.F., and R.G. Percy. 1990. Allozyme diversity and introgression in the Galapagos Islands endemic *Gossypium darwinii* and its relationship to continental *G. barbadense*. *Biochem Ecol Syst* 18:517-528.

# La reglamentación para las plantas transgénicas: la experiencia del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América (USDA) en las pruebas de campo, la producción en gran escala y la evaluación para su liberación en los centros de origen

**John Payne**

Director

Biotechnología, Biología y Protección Ambiental  
BBEP/APHIS/USDA

## Introducción

En mi charla de hoy quiero abarcar varios objetivos. Deseo presentar un panorama de la experiencia que hemos tenido en los Estados Unidos al reglamentar las pruebas en pequeña escala con los cultivos transgénicos en el campo y en los procedimientos para aprobar su empleo amplio. Luego quisiera describir un estudio de caso de la evaluación de un cultivo de ese tipo -una calabaza comestible- para el cultivo irrestricto en su centro de diversidad, los Estados Unidos.

## Definición de la terminología

Estuve antes comparando notas con Norm Ellstrand y hablamos acerca de las diferencias culturales o, quizás, las diferencias en el lenguaje entre las disciplinas científicas.

Obtuve un grado académico en fitopatología y luego realicé trabajo de posgrado en biología molecular, y hubo allí un cambio de lenguaje. He oído aquí algunos otros y voy a cambiar a un lenguaje que no hemos oído en absoluto, ni en español ni en inglés: el lenguaje que emplea la gente de los organismos reguladores o normativos. Les agradeceré que tengan paciencia en la traducción.

Por supuesto, al venir del gobierno, parte del lenguaje tiene que usar una serie de títulos. Soy Director Interino de Biotechnología, Biología y Protección Ambiental en el Servicio de Inspección de Sanidad Vegetal y Animal. Ese es, de manera aproximada, el equivalente estadounidense de la Dirección General de Sanidad Vegetal de México en el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. Somos responsables de aprobar permisos o notificaciones (explicaré la diferencia) para la liberación en el campo de cultivos transgénicos en los Estados Unidos, y luego de la aprobación final (para la cual tenemos nuestros propios reglamentos) para la liberación orientada al cultivo comercial.

## La estructura normativa estadounidense: fundamentos

En los Estados Unidos de América, existen diferentes entidades cuya responsabilidad es la de vigilar la inocuidad de los alimentos del hombre, la inocuidad de los alimentos para el ganado, el empleo de plaguicidas y los posibles problemas de toxicidad originados por ese empleo. La responsabilidad del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos incluye la reglamentación para otorgar licencia a las vacunas de uso veterinario bajo el mandato del Acta de Virus, Sueros y Toxinas. Los productos biotecnológicos de uso veterinario también están reglamentados por esa ley, que existe desde 1913; no

se requirieron leyes ni reglamentos nuevos, sino simplemente observar los tipos de datos que eran específicos de los productos de la biotecnología. En consecuencia, el criterio de riesgo no ha cambiado; continúa siendo el de proteger la salud humana, animal y vegetal, y la seguridad ambiental desde una perspectiva más amplia.

La legislación empleada para reglamentar la biotecnología vegetal es el conjunto de normas fitosanitarias, que abarcan la Ley de Cuarentena Vegetal de 1913 y la Ley de las Plagas Vegetales de 1957. Los riesgos asociados con la biotecnología no se ven como un conjunto singular de riesgos nuevos, sino más bien como los riesgos que conlleva una tecnología nueva. Los problemas fundamentales son los mismos de siempre, en nuestro sistema normativo no estamos tratando de probar que la biotecnología es segura; tratamos de demostrar más bien que las plantas transgénicas son tan seguras como otras variedades de plantas. En otras palabras, que el efecto en un ecosistema natural sin manejo —si es que existe tal cosa— no es mayor en el caso de las variedades o líneas “nuevas” que en el de las líneas tradicionales. Esa es nuestra perspectiva y origina muchos debates, porque aquellos que plantean la biotecnología como algo totalmente nuevo y diferente que trae riesgos totalmente nuevos y diferentes, esgrimen eso como argumento y luego insisten en que todos nosotros demostremos que la biotecnología es segura. Y se oye una mezcla de esos conceptos aun en este salón, como sucedió al discutir si los transgenes son peligrosos, a pesar de que no podemos observar la introgresión resultante de cientos —¿o de miles?— de años de cocultivo... así es. Eso en cuanto a la teoría; ahora pasará a la experiencia.

## **Reglamentos en los Estados Unidos**

En los Estados Unidos promulgamos reglamentos específicos para las plantas transgénicas a causa de la necesidad de obtener datos bien definidos para la

evaluación de los riesgos. En 1986 se publicaron los reglamentos. Exigían un permiso para la importación (el cual, por supuesto se obtiene siempre al importar), para la introducción en el campo a efecto de probarse, y para el traslado interestatal ya que los gobiernos de éstos tienen un particular interés en saber lo que se introduce. En 1993, se enmendaron los reglamentos para incluir un procedimiento muy abreviado que llamamos “notificación”, mediante el cual pudimos asegurar ciertos parámetros para un ensayo en el campo con el fin de garantizar su seguridad. Esos parámetros incluyeron cosas tales como la no persistencia en el sitio del campo, el aislamiento adecuado y otros parámetros establecidos en los reglamentos para, por lo menos, seis cultivos. Los investigadores que deseaban efectuar pruebas con un cultivo transgénico podían certificar que cumplían con esas normas, notificar que iban a proseguir, recibir nuestro acuse de recibo dentro de los 30 días y comenzar los ensayos en el campo en los 30 días siguientes, todo ello sin evaluaciones del riesgo ambiental o total.

Al mismo tiempo, formalizamos el proceso mediante el cual un solicitante podía pedirnos que emitieramos una resolución de que ya no regularíamos esas plantas sometidas a reglamentos especiales si el solicitante presentaba datos adecuados para demostrar que la variedad transgénica era tan segura como las otras variedades (la frase “... pedirnos que emitieramos una resolución...” es parte de la terminología que estoy introduciendo). Por supuesto, las variedades transgénicas todavía están sujetas a los reglamentos fitosanitarios para la importación y la exportación y otras normas sobre la calidad en el mercado y ese tipo de cosas, pero ya no están regulados específicamente como productos de la biotecnología.

Actualmente hemos presentado al público una propuesta de reglamento para que la comente —como parte del proceso de toma de decisiones en los Estados Unidos—, y que permitiría que todas las plantas transgénicas fueran sometidas a pruebas en el campo

mediante la notificación, excepto aquellas reconocidas como malezas ya sea por la ley o por una identificación estatal. El nuevo reglamento también simplificaría el proceso de solicitud de una resolución, reduciría el tiempo e implicaría que la quinta o sexta variedad de maíz con un tipo particular de tolerancia a un herbicida específico, por ejemplo, no recibiese el mismo examen minucioso que la primera.

### Las pruebas de los materiales transgénicos en el campo en los Estados Unidos de América

La Figura 1 muestra la progresión de la cantidad de permisos para pruebas en el campo de productos biotecnológicos a partir de 1987. Los reglamentos que permitían las notificaciones se pusieron en vigor en mayo de 1993, y en 1993-1994 se otorgaron numerosas autorizaciones para pruebas solicitadas con el procedimiento simplificado en lugar de la evaluación total. El número real de sitios en los campos es mucho mayor porque un permiso o notificación individual puede permitir sitios múltiples, a veces hasta en 18 estados diferentes y en múltiples localidades dentro de

cada estado. Sobre esta base, yo estimaría que las plantas transgénicas han sido probadas en más de 3,000 sitios diferentes en los Estados Unidos (Figura 2).

En orden de jerarquía, el maíz es el cultivo transgénico más frecuentemente ensayado en los Estados Unidos. Como se podría esperar, los principales cultivos anuales y las hortalizas se prueban más a menudo, pero también hay especies tales como el pasto *Agrostis rastrera*, que se usa en los campos de golf, y otras especies menos comunes. Obviamente también hay mucho interés en las plantas ornamentales y en cultivos especiales. Además, estamos considerando cada vez más el empleo de microorganismos transgénicos, en especial agentes patógenos de las plantas, que se modifican, se marcan y se vuelven a liberar en el sitio donde se identificaron sus estirpes progenitoras, ya sea como parte de la investigación sobre el control biológico del agente patógeno o simplemente como un sistema de marcadores para seguir los estudios epidemiológicos. *Xanthomonas campestris*, por ejemplo, ha sido sometido a pruebas en varios ensayos con un gen *lux* para seguir la progresión de la enfermedad.

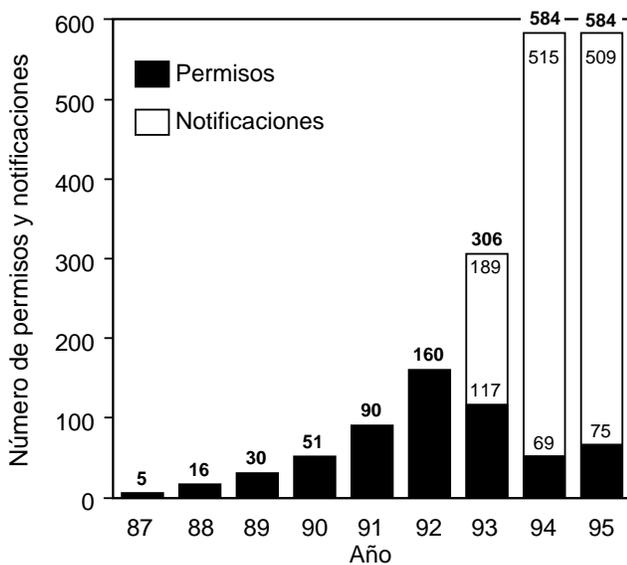


Figura 1. Número de permisos concedidos y notificaciones recibidas de liberaciones en el campo. Resumen del período de 1987 al 15 de septiembre de 1995.

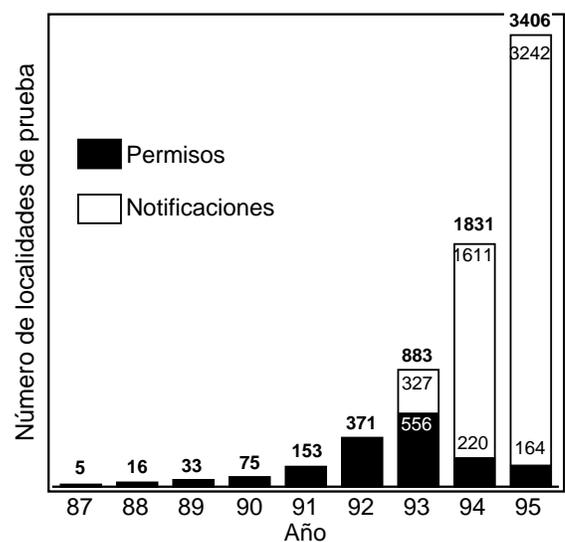
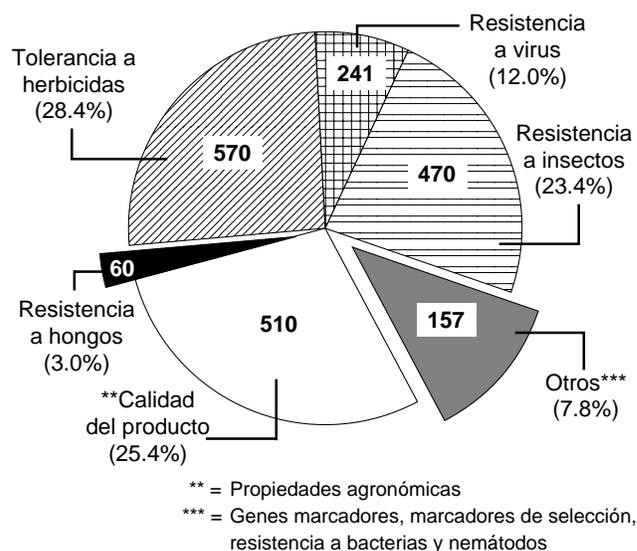


Figura 2. Número de sitios de prueba para liberaciones en campo, según el número de permisos concedidos y notificaciones recibidas. Resumen del período de 1987 al 15 de septiembre de 1995.

Los ensayos con transgenes son realizados por una serie de entidades, entre las que figuran empresas privadas, instituciones académicas, unidades agrícolas estatales, el servicio de investigaciones agrícolas del Departamento de Agricultura y fundaciones no lucrativas, en especial para el desarrollo de productos bacteriológicos y otras sustancias biológicas en los cultivos.

En cuanto al tipo de caracteres que han sido ensayados desde 1987, la tolerancia a los herbicidas fue con mucho el más frecuente hasta hace unos años, con aproximadamente el 35%, pero ese porcentaje está disminuyendo un poco (Figura 3). Las pruebas de resistencia a los insectos se están reduciendo ligeramente. El área de productos que crece con más rapidez se relaciona con características de la calidad: la amplia gama de modificaciones de la composición del aceite, la maduración de los frutos y otros caracteres similares. En el Cuadro 4 se enumeran los caracteres transgénicos cuyas pruebas decidimos ya no reglamentar, junto con los cultivos que se pueden producir en los Estados Unidos.

Muchos de los cultivos alimentarios han sido aprobados para la comercialización mediante la consulta con la Administración de Alimentos y



**Figura 3. Categorías más frecuentes de plantas transgénicas para liberación en campo, según el número de permisos y notificaciones. Periodo de 1987 al 30 de septiembre de 1995.**

**Cuadro 4. Solicitudes para la determinación de desregulación de cultivos transgénicos. Solicitudes aprobadas y pendientes al 30 de septiembre de 1995.**

Solicitud - #	Solicitante	Fecha de aprobación	Cultivo	Fenotipo	Superficie en Acres-1996
92-196-01p	Calgene	10/19/92	Tomate	PQ-Maduración de fruto	1,000
93-196-01p	Calgene	2/15/94	Algodón	HT-Bromoxinil	200,000
93-258-01p	Monsanto	5/19/94	Soya	HT-Glifosato	CBI
94-090-01p	Calgene	10/31/94	Rapeseed/Canola	PQ-Perfil aceite	60,000
92-204-01p	Upjohn	12/07/94	Calabaza	VR-WMV2, ZYMV	1,000
94-228-01p	DNA Plant Technology	1/17/95	Tomate	PQ-Maduración de fruto	CBI
94-257-01P	Monsanto	3/02/95	Papa	IR-Coleópteros	25,000
94-319-01p	Ciba-Geigy	5/17/95	Maíz	IR-Lepidópteros	350,000-400,000
94-290-01p	Zeneca & Petoseed	6/22/95	Tomate	PQ-Pectina del fruto	n/a
94-357-01p	AgrEvo	6/22/95	Maíz	HT-Fosfinotricina	5,000
94-308-01p	Monsanto	6/22/95	Algodón	IR-Lepidópteros	1,000,000
95-045-01p	Monsanto	7/11/95	Algodón	HT-Glifosato	20,000
95-093-01p	Monsanto	8/22/95	Maíz	IR-Lepidópteros	10,000
95-053-01p	Monsanto	9/27/95	Tomate	PQ-Maduración de fruto	n/a
	Pendientes	Recibidos			
95-145-01p	Dekalb	5/25/95	Maíz	HT-Fosfinotricina	
95-195-01p	Northrup-King	7/14/95	Maíz	IR-Lepidópteros	
95-228-01p	Plant Genetic Systems	8/16/95	Maíz	AP-Esterilidad masculina+ HT-Fosfinotricina	
95-256-01p	Du Pont	9/13/95	Algodón	HT-Sulfonilurea	

Medicamentos de los Estados Unidos. Aun la papa con resistencia a los insectos basada en delta-endotoxinas de *Bt* (*Bacillus thuringiensis*) ha recibido aprobación, incluida la de la inocuidad como alimento otorgada por la Administración de Alimentos y Medicamentos y para el Registro de Plaguicidas de la Agencia de Protección Ambiental. El Cuadro 4 presenta las solicitudes actualmente sometidas a examen en nuestra oficina. Como en el caso de los ensayos de campo, el maíz comienza a predominar en las solicitudes de aprobación para la comercialización.

### **Criterios para la evaluación en un centro de diversidad: el caso de la calabaza**

Cuando una empresa o institución nos presenta una solicitud para la desregulación de un cultivo transgénico, lo publicamos en el Registro Federal y pedimos al público que haga sus comentarios. La solicitud que ha recibido más comentarios se relaciona con una variedad de calabaza, desarrollada por Asgrow y ahora propiedad de Upjohn, que posee transgenes para las proteínas de la cubierta de dos tipos de virus del mosaico de la sandía y del mosaico amarillo de la calabacita, enfermedades muy serias en las zonas de producción de calabaza de mesa en los Estados Unidos. Se piensa que el centro de origen de la calabaza es el norte de México, pero en realidad hay una mayor diversidad en las poblaciones de calabazas en el este de Estados Unidos, en particular poblaciones silvestres a lo largo de las riberas arenosas y los bancos pedregosos de los ríos y en las zonas adyacentes. Hay poblaciones aisladas de calabaza que se extienden desde Texas a Illinois y Georgia. Los estados con las poblaciones silvestres más amplias también suelen ser los que tienen la mayor producción de calabaza de mesa. En consecuencia, muchos de los problemas que ustedes enfrentan en relación con el maíz en México fueron afrontados en los Estados Unidos en el caso de la calabaza.

Algunas de nuestras primeras hipótesis tal vez eran ingenuas y por cierto que resultaron erróneas. Una de ellas fue que las poblaciones silvestres probablemente eran resistentes o tolerantes a esos virus y, por consiguiente, eran portadoras y reservorios de los virus. De hecho, casi no había resistencia detectable en las poblaciones silvestres. Lo anterior es un hecho que deberíamos haber sabido dado que eran inadecuadas como fuente de resistencia en el fitomejoramiento para obtener resistencia a los virus. Cuando se ensayaron esas calabazas silvestres en los campos junto con las calabazas cultivadas, pudieron haber sufrido a causa de la adaptación deficiente al agroambiente, pero demostraron ser por lo menos tan sensibles como las líneas endogámicas universales usadas como testigos susceptibles, y a menudo murieron incluso con las infecciones naturales cuando se las sembró en monocultivo con otras calabazas. Esto creó una considerable preocupación y llevó a muchas más discusiones e introspección.

En cuanto al proceso, tuvimos un problema que todavía persiste: generalmente no es el ciudadano medio quien responde a nuestros pedidos de comentarios del público sino, más bien, integrantes de grupos con intereses especiales, como las asociaciones de defensa ambiental o los miembros de la disciplina científica más estrechamente relacionada con la solicitud. En el caso de la calabaza transgénica, por ejemplo, recibimos 58 comentarios de científicos de departamentos de ecología y 54 comentarios de integrantes de departamentos de fitopatología, mejoramiento genético o agronomía. Entre los investigadores, todos los de un departamento de investigación vinculada con la ecología dijeron que teníamos escasos datos para decidir, mientras que los fitopatólogos, los agrónomos y los fitogenetistas dijeron que nuestro reglamento era absurdo y que debíamos hacernos a un lado y dejar que el producto avanzara.

Esto apunta hacia un problema fundamental: para asegurar la solidez científica de los reglamentos, se requiere un Foro más amplio para la discusión científica de un conjunto común de datos entre los miembros de disciplinas que a menudo hablan principalmente entre sí y con sus propias hipótesis. La idea sería comparar notas e identificar definiciones de trabajos comunes, ya que aun términos evidentemente sencillos se definen en forma muy diferente en las distintas disciplinas. Términos tales como control, o los impactos sobre la biodiversidad de las poblaciones silvestres: para algunos científicos, disminuir la población en forma considerable es un impacto; para otros, la pureza genética es el objetivo y un solo gene recesivo en una sola planta de la población indígena, es inaceptable. En consecuencia, tenemos que reunirnos, poner sobre la mesa algunas de nuestras hipótesis, examinarlas cuidadosamente desde todas las orientaciones multidisciplinarias y llegar al conjunto básico de datos que son accesibles para todos, no a respuestas basadas en nuestras hipótesis.

Hemos permitido que se cultive ampliamente la calabaza transgénica en los Estados Unidos. Mientras estábamos recogiendo los comentarios del público, incluidos los de integrantes de las disciplinas científicas que describí, la empresa, a insistencia nuestra, también había salido a examinar el efecto de las enfermedades causadas por estos virus en las poblaciones silvestres y a determinar si la empresa tenía una función en el control de esas poblaciones. Se presentaron exactamente los dos problemas que describió Norm Ellstrand. Uno era determinar si las poblaciones silvestres estaban en efecto siendo controladas y, en el caso de que hubiera introgresión de las proteínas de la cubierta en las poblaciones silvestres, si esto llevaría a un problema vinculado con la capacidad invasora. Y sí ha habido invasiones incidentales de calabazas generalmente no

consideradas invasoras. El otro problema era una hibridación que pudiera causar un efecto negativo real en la población. Bueno, de acuerdo con un sondeo más bien amplio en una gran gama de poblaciones de varias zonas, no hubo síntomas de los virus. Hemos tomado muestras de los virus y las hemos sometido a pruebas en dos o tres formas diferentes y nunca existió una incidencia de partículas víricas en las plantas. Estos datos han sido criticados porque, según se argumenta, las pruebas no se efectuaron en el momento apropiado o la muestra era inadecuada. De hecho, era una muestra bastante grande y fue tomada cuando era mayor la prevalencia de la enfermedad en el campo. Además, en Estados Unidos los áfidos no intervienen en el traslado de los virus. Todavía no sabemos por qué los virus no son importantes en las poblaciones silvestres, pero otorgamos la aprobación basándonos en parte en esos datos.

Estas calabazas ahora pueden ser usadas en los Estados Unidos por cualquier académico que piense que hay un problema de aptitud, sin necesidad de contar con un permiso de APHIS (Animal and Plant Health Inspection Service) para someterlas a pruebas. Volvemos al hecho de que no exigimos a la empresa que obtuviera el conjunto completo de datos para demostrar que las calabazas eran inocuas; estábamos tratando de demostrar que eran tan inocuas como otras calabazas introducidas en la agricultura de los Estados Unidos. Si la introgresión en las poblaciones de calabazas silvestres afecta su diversidad, pensamos que se deben buscar otras medidas políticas para prevenir tal situación y que no se trata de un problema de biotecnología. La cuestión es mantener los ambientes protegidos separados de los ambientes agrícolas. En los Estados Unidos, por casualidad, están razonablemente protegidos gracias a la Ley de Zonas Silvestres y Ríos Panorámicos, un conjunto único de zonas de ecoturismo y hábitat protegidos.

## **Preguntas y respuestas después de las presentaciones de I. Virgin, N. Ellstrand y J. Payne**

### **D. Louette:**

Quiero saber si en los Estados Unidos hay experimentos ilegales sobre variedades transgénicas y en qué proporción. Me refiero a experimentos que se hagan y no se consulte si se puede o no hacerlos.

### **J. Payne:**

Por exactamente la misma razón que las cuestiones de fronteras siempre serán un problema, si uno tiene un grupo que no quiere acatar la ley, los reglamentos no tienen una función útil para evitar que la gente haga lo que quiere fuera de la ley. Hubo un caso aislado de un académico que hizo una prueba antes de que se pusieran totalmente en vigencia los reglamentos, y de vez en cuando oímos que hay personas que no siguen completamente las normas de bioseguridad. Sin embargo, no sabemos de muchos casos de desacato absoluto a los reglamentos.

### **B. Benz:**

No entendí bien cuando J. Payne apuntó que no pensaba que era un problema de biotecnología el que las empresas que quieren liberar materiales transgénicos demuestren que no habría efectos adversos al liberarlos. En primer lugar, ¿entendí bien lo que dijo?, y, en segundo, ¿es verdad?

### **J. Payne:**

Puede ser que mi explicación haya sido deficiente y puede ser que mi lógica haya sido deficiente. Veamos eso. El supuesto en los Estados Unidos es que la tecnología nueva conlleva beneficios y también riesgos, dados los tipos de caracteres nuevos que se pueden agregar a los cultivos. No deseamos normar la tecnología basados en la tecnología, sino que regulamos los riesgos de los productos de la tecnología cualquiera que sea la forma en que fueron producidos. Por tanto, buscamos un nivel de prueba. Volvemos al problema de que se pueden establecer

evaluaciones del riesgo que en general serían aceptadas, con fundamentos científicos, pero el nivel de comodidad y el nivel de riesgo que sea aceptable siempre es una decisión de la sociedad. No es una resolución científica. Uno puede establecer una resolución científica acerca del nivel de riesgo en distintos escenarios, pero el nivel de riesgo que está dispuesta a aceptar la sociedad es una cuestión sociopolítica. La sociedad en general es quien decide.

En los Estados Unidos, el sentimiento general es que el nivel tiene que ubicarse en un punto que no inhiba la tecnología nueva, dados los beneficios de ésta. Por consiguiente, pedimos a las empresas que prueben que sus productos no son más peligrosos que las variedades tradicionales. Si hay efectos en las plantas en un ecosistema natural, por ejemplo —y han habido exactamente esos efectos causados por la agricultura tradicional— decimos “adelante, resolveremos juntos esos riesgos mediante otros métodos de la política regulatoria”, como conservar los hábitat u otras estrategias semejantes. No usaremos los reglamentos de seguridad, los reglamentos fitosanitarios, para abordar ese problema.

### **G. Wilkes:**

Cuando APHIS-USDA solicita la opinión del público, ¿han podido observar patrones en ciertas ONGs, o los comentarios han sido al azar? No considero a los departamentos académicos de fitomejoramiento como ONGs en el sentido ordinario. Por otra parte, me pregunto cómo se notificó a los ecologistas. ¿Esperaban que alguna ONG se preocupara? Me pregunto si ustedes encontraron un cierto patrón de respuestas.

### **J. Payne:**

Sí, hasta cierto punto. Hay una afinidad natural entre los ecologistas y algunos de los grupos que se interesan en el ambiente, afinidad que a veces lleva a los ecologistas a estar más conscientes del problema porque los grupos de defensa del ambiente atraen su atención hacia ellos, y porque existe literatura compartida. No creo que esto afecte la forma en que

los ecologistas responden a la cuestión científica. La diferencia en la perspectiva es fundamental y se debe a la disciplina misma, no a algún tipo de filiación política.

**G. Wilkes:**

Considero al Registro Federal como un vehículo de información ¿Ven ustedes otros canales?

**J. Payne:**

En los Estados Unidos, con la tendencia hacia la información electrónica, actualmente proporcionamos todas las mañanas información electrónica actualizada a las 4 a.m. sobre las notificaciones y peticiones recibidas el día anterior. De este modo, cualquier persona que tenga interés en seguir los reglamentos puede obtener esta información. Recibimos unos 50,000 pedidos de verificación de la información cada uno o dos meses. La mayoría vienen de empresas que llaman, dos o tres veces al día, para asegurarse de que recibimos el documento que nos enviaron ayer, y otras empresas que quieren asegurarse de que nadie está usando su propiedad intelectual.

**R. Bird:**

Me pregunto si la empresa que investigaba las poblaciones naturales o silvestres de la calabaza (*Cucurbita* spp.) ha tomado muestras de germoplasma y las ha depositado en un banco de germoplasma como una especie de encuesta genética inicial.

**J. Payne:**

Bueno, no establecieron un nuevo punto de partida. Lo que hicieron fue averiguar qué nivel de introgresión pudo haberse producido en los últimos 100 años buscando y verificando las muestras de los herbarios de la última parte del siglo pasado, buscando diferencias morfológicas; estas poblaciones sí tienen morfologías muy distintas entre ellos y esas morfologías eran todavía muy reconocibles; aparentemente no ha habido cambios morfológicos de las poblaciones. Esto indica que no ha habido introgresión a partir de los cultivos agrícolas.

Nuestra resolución suponía que había flujo de genes. Pensamos, basados en deducciones, que la hibridación es un umbral, ya que las variedades cultivadas tienen una cáscara muy blanda mientras que las poblaciones silvestres dependen de una cáscara muy dura para flotar corriente abajo en los ríos y para sobrevivir en el invierno. En consecuencia, parece haber un umbral de hibridación que habría que superar para lograr la introgresión. Eso es algo que no se ha discutido, excepto por alusión en el caso del teocintle, en relación con el olote (la tusa), si es que tener un olote en realidad representa un efecto de umbral de la hibridación.

**I. Virgin:**

La participación pública en el Registro Federal no significa que APHIS haga un tipo diferente de evaluación del riesgo según la cantidad de respuestas a la cantidad de comentarios. ¿Podrían imaginarse una situación en que el número de notificaciones y ensayos sobre el terreno abrumen al público y no deje tiempo suficiente para responder?

**J. Payne:**

Aun ahora, en las resoluciones para producir cultivos comerciales en los Estados Unidos, recibimos tres o cuatro comentarios y eso es todo. Y, cuando damos 60 días al público para hacer comentarios, a menudo alguno de los organismos de fiscalización identifica problemas particulares y hay un poco más de correspondencia acerca de ellos, pero no nos vemos abrumados por la cantidad de cartas que recibimos.

Hay ahora una campaña de envío de cartas, fuera del proceso de toma de decisiones, acerca de los problemas relacionados con la aparición de resistencia a la endotoxina delta de *Bt* en poblaciones de plagas y la pérdida de la endotoxina delta como recurso, en particular para los agricultores que producen cultivos orgánicos, quienes se piensa que no recibirán ninguno de los beneficios de los cultivos transgénicos sino que sufrirán todos los efectos negativos si se produjera un aumento de la resistencia en las poblaciones de plagas.

**N. Ellstrand:**

Esto es para responder a la pregunta anterior de G. Wilkes. Yo no leo el Registro Federal porque tiene miles de páginas y está a media milla de mi oficina. Pero sí estoy en contacto con organizaciones no gubernamentales que por lo general escriben una carta que dice "Estimado Norm, pensamos que usted podría estar interesado en comentar sobre el paquete de documentos de cinco libras que le hemos enviado; por favor hágalo para x fecha", pero de ordinario no dan ninguna indicación sobre cómo quieren que les responda. Al mismo tiempo que recibo esas cartas, sé, ya que trabajo en el Departamento de Botánica y Fitotecnia y tengo muchos colegas biólogos moleculares, que ellos reciben comunicaciones similares de Monsanto y Calgene.

**J. A. Serratos:**

Quiero saber si hay armonización entre los sistemas de regulación de Canadá, los Estados Unidos y México, porque usted dijo que en los Estados Unidos la novedad del proceso en biotecnología no es considerada un riesgo; es el producto lo que ustedes regulan, mientras que, por ejemplo, en Canadá consideran a la novedad como algo que debe vigilarse. En este aspecto la regulación de México se parece a la de Estados Unidos. Sin embargo, no he visto ninguna coordinación entre los tres países y, ya que tenemos el TLC, se supone que debemos trabajar en colaboración más estrecha en estas cuestiones. Esta pregunta, incidentalmente, se relaciona con la reciente desregulación del maíz transgénico en los Estados Unidos, la cual considero una decisión unilateral.

**J. Payne:**

En realidad, creo que hay un nivel muy alto de armonización entre los sistemas reguladores de los tres países. Usted tiene razón al señalar las diferencias en la activación en los Estados Unidos y México por una parte y Canadá por la otra. Pero la forma en que se efectúa la revisión de hecho sólo implica unas cuantas aplicaciones que son diferentes. En Canadá, esto implica incluir la tolerancia a los herbicidas que

surgió como resultado de la mutación o la selección, pero muy pocas otras aplicaciones. En los otros aspectos, las cosas universales que se regulan son muy similares en los tres países, y también la forma en que se efectúan las revisiones, en términos de los tipos de preguntas que se hacen y, cuando hay ejemplos comunes, al menos en el rigor científico, los conjuntos de datos son bastante comparables. Ha habido mucha comparación, una comparación muy consciente, entre los tres organismos reguladores involucrados en examinar su proceso y asegurar de que en realidad hacían el mismo tipo de preguntas. Nos reunimos varias veces al año con los canadienses. Los organismos reguladores que participan en la Organización para la Protección de las Plantas de América del Norte (NAPPO), donde también hay muchas discusiones de ese tipo, se reunieron recientemente y lo harán de nuevo el mes próximo en Saskatoon, Saskatchewan, para otra ronda de deliberaciones.

Esto se relaciona con la coordinación del proceso de evaluación en particular. No hemos tratado de armonizar los mecanismos de activación, en tanto que abordamos aproximadamente las mismas cosas. Pero hemos acordado usar un criterio distinto al de Canadá. En realidad, pensamos que es bastante irrelevante la diferencia en el criterio usado.

Sin embargo, hemos dado un paso adicional. Una cosa que no hemos abordado muy bien es la cuestión de los artículos de comercio. Cuando decidimos permitir que algo se cultive ampliamente en los Estados Unidos, eso no resuelve todos los posibles problemas en cuanto al producto: la aprobación no permite que el artículo comercial sea vendido a México o Canadá. Canadá y México tienen que tomar esas decisiones. Canadá tomó una medida unilateral con respecto a la armonización al buscar la aprobación de una variedad de colza que es tolerante a los herbicidas. Iba a ser molida —muchas de las plantas procesadoras están en el norte de Estados Unidos— y llevada a los Estados

Unidos donde nunca ha sido cultivada en un ensayo de campo. Técnicamente, con nuestras normas regulatorias, podríamos haber requerido un permiso y que toda la semilla fuera traída bajo ese permiso para ser procesada en Minnesota. Pero decidimos que este es un producto cuyo uso final hará que sea biológicamente inactivo. Parte de él puede ser derramado accidentalmente en el camino, pero eso puede suceder con cualquier producto de colza que viene desde el Canadá y no ha provocado la propagación de la colza como maleza. Si se hacen las evaluaciones del riesgo según la probabilidad de introgresión producida a partir de la caída fortuita en el camino de semillas de colza resistente a los herbicidas, la probabilidad es muy escasa. Por consiguiente, decimos: "Canadá ha elaborado una resolución; aceptamos totalmente la decisión de Canadá de cultivar esta colza y vamos a tratar a este producto colza como cualquier otro producto colza."

Seguiremos considerando este caso por caso por un tiempo, pero pensamos que este tipo de criterio puede llevar a la aceptación de cultivos provenientes de México con base estrictamente en su perfil fitosanitario, a causa del tipo de revisión que se efectúa en los cultivos transgénicos en México. De este modo, uno no tendría necesariamente que producir el cultivo en los Estados Unidos, ni obtener la aprobación para hacerlo en el país antes de permitir que entre como un producto. No es necesario separar los problemas de los productos de los problemas ambientales que surgen con la agricultura de producción.

#### **R. Ortega Paczka:**

Nosotros tenemos preocupación, en primer lugar, de que se nos use para probar las situaciones de mayor riesgo, como en el caso de la industria. No deseamos que aquí se prueben aquellas cosas que no fueran aceptadas en los Estados Unidos o en otros lugares. Aun en igual condición de trato, hay problemas serios originados por las diferencias que tenemos. Por

ejemplo, México no tiene suficiente personal calificado para preveer, ni instalaciones de cuarentena, ni capacidad de monitoreo, ni un sistema eficiente de seguridad para eliminar problemas. Esa es una realidad. Por otro lado, la vecindad con los Estados Unidos y el Tratado de Libre Comercio plantean un nuevo problema. No sé si en las pláticas del TLC se hayan contemplado estos problemas que tiene específicamente México en cuanto a su capacidad técnica para detectar los problemas y en su momento detenerlos. No sé cómo hayan contemplado este problema en el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, incluso para su propia seguridad.

#### **J. Payne:**

Bueno, no intervine personalmente en las discusiones del TLC y no estoy seguro en qué medida se cubrieron esos tipos de consideraciones. Sé que se abordan los problemas de infraestructura y hay un verdadero intento ahora de proporcionar toda la asistencia que sea necesaria para mejorar la infraestructura. Yo señalaría que, en ciertos casos, de hecho México tiene personas altamente calificadas para el monitoreo, y tal vez los Estados Unidos puedan aprender de México en cuanto a los sistemas de monitoreo.

No es necesario ser biólogo molecular para examinar los riesgos en el campo provocados por los cultivos transgénicos. Lo hacen mejor los fitogenetistas, o los agrónomos, personas que pueden identificar los biotipos extraños, que pueden determinar cuándo se ha producido contaminación y pueden establecer las condiciones de confinamiento apropiadas. Se basan en una larga experiencia en el mejoramiento y esa experiencia es más útil cuando fue adquirida en el ambiente beneficiario y en presencia de los factores que podrían afectar la polinización en ese ambiente. Por tanto, pienso que uno lo ve desde la perspectiva de no tratar a los cultivos transgénicos como totalmente nuevos sino como parte del sistema biológico con el cual tenemos bastante experiencia, y uno se basa en la experiencia que tiene.

## Informe presentado por el grupo 1.

El grupo 1 desarrolló algunos aspectos complementarios relacionados con los temas siguientes: la distribución del teocintle en México, y la frecuencia e intensidad del flujo genético entre el maíz y el teocintle. La discusión de estos temas se enfocó alrededor de las preguntas sugeridas por los organizadores, como se indica en el informe y en este grupo se discutieron, además, dos preguntas complementarias, ¿Dónde podrían ubicarse los sitios de prueba para el maíz transgénico? ¿Qué acciones de conservación de germoplasma debe emprender México, en el marco del advenimiento del maíz transgénico?

Participaron en este grupo las siguientes personas: T.A. Kato (moderador), J.J. Sánchez (relator), B. Benz, R. Bird, F. Cárdenas, F. Castillo González, J. Manuel Hernández, J. Kermicle, R. Ortega-Paczka, S. Taba y V. Villalobos. Les correspondió a T. A. Kato, J. Sánchez y V. Villalobos hacer la presentación de los informes de los aspectos complementarios.

### ¿Qué grado de flujo genético podemos anticipar entre el maíz transgénico y el teocintle?

**A. Kato**

El estudio de la introgresión entre maíz y teocintle y las estimaciones del grado de su ocurrencia, se han realizado utilizando tres tipos de análisis: a) morfológicos; b) cromosómicos (nudos y cromosomas especiales), y c) moleculares (variación isoenzimática). La información que se tiene hasta ahora deriva fundamentalmente de estos estudios, en donde se pueden reconocer dos corrientes de interpretación de los resultados y observaciones reportados en éstos. Estas interpretaciones se agrupan de la siguiente forma:

- a) Según los estudios y observaciones de campo, especialmente del análisis de características morfológicas, se ha propuesto que ocurre un considerable flujo genético en ambas direcciones (maíz a teocintle y viceversa).
- b) Los estudios cromosómicos, isoenzimáticos y algunos estudios morfológicos llegan a una conclusión diferente. En este tipo de estudios se considera que la introgresión no ocurre en algunos casos y en otros, ocurre en frecuencias muy bajas.

En la mayoría de los trabajos mencionados las evidencias presentadas son circunstanciales y hasta ahora, no ha sido posible conocer suficientemente lo que ocurre en el campo entre maíz y teocintle simpátricos. En vista de lo anterior y con el objetivo de apoyar la toma de decisiones prácticas, se considera que para mantener un grado aceptable de seguridad, conviene adoptar la hipótesis de que sí ocurre la introgresión bidireccional entre maíz y teocintle, aun cuando ésta sea de baja frecuencia.

### ¿Cuánto flujo genético podemos esperar entre el maíz transgénico y los maíces criollos?

**A. Kato**

La información etnobotánica y los resultados de estudios experimentales indican que la probabilidad de flujo genético entre maíz transgénico y criollo sería mucho mayor que la anticipada para el maíz transgénico y teocintle. Se supone que habría mayor flujo genético entre maíces transgénicos y criollos por la intervención de los agricultores en algunos de los procesos que se indican a continuación:

- a) Los agricultores promueven o intervienen directamente en el movimiento de variedades de maíz dentro de la misma región, de regiones contiguas y entre zonas muy alejadas entre sí. Estas últimas ocurren mediante migración gradual o por introducciones directas.

- b) Los agricultores promueven la hibridación entre variedades de maíz, en muchos casos, de manera consciente y sistemática.
- c) Es muy frecuente encontrar que los agricultores tradicionales hacen selección empírica de sus maíces.

Cuando algunos de estos agricultores obtienen alguna semilla superior, estos materiales seleccionados adquieren un alto nivel de aprecio entre las comunidades por lo que se puede hacer comercialización local y regional.

El flujo genético de maíz transgénico a teocintle o a las variedades nativas puede ser afectado por diferentes factores, entre los que se identifican los siguientes:

- a) Las diferencias regionales en los métodos y prácticas de cultivo del maíz (fechas de siembra o uso de arvenses), y en el uso o adopción de materiales mejorados, que en el futuro podría incluir al maíz transgénico.
- b) La proximidad del maíz transgénico con el maíz local dentro de una región determinada.
- c) El grado de cruzamiento entre el maíz transgénico y el maíz o teocintle local, que estaría relacionado con factores como las barreras de aislamiento, ploidía y épocas de floración.
- d) La capacidad de sobrevivencia de la primera y segunda generaciones de los híbridos derivados de todas las combinaciones posibles entre el maíz transgénico, el teocintle y los maíces criollos.
- e) La presión de selección sobre las progenies de los híbridos derivados de todas las combinaciones posibles entre el maíz transgénico, el teocintle y los maíces criollos.

- f) La variación de la expresión del gene transferido en el material recipiente como, por ejemplo, los efectos pleiotrópicos y epistáticos.
- g) Factores políticos y culturales relacionados con la promoción y aceptación de las nuevas variedades.

### **¿Qué efectos se pueden anticipar en las poblaciones de maíces criollos y teocintle?**

**A. Kato**

Los reportes de los resultados de pruebas experimentales con maíces transgénicos, que se han publicado hasta la fecha, indican que los genes transferidos presentan cierta estabilidad y parecen segregarse en forma mendeliana. Por otra parte, parece que tampoco se han registrado publicaciones en donde se reporte la determinación de efectos pleiotrópicos, epistáticos o de otra naturaleza, en los transgenes. Partiendo de lo anterior y suponiendo que los pocos reportes en la literatura reflejan adecuadamente y sin sesgo los resultados, se puede inferir que unas cuantas variedades transgénicas, en forma independiente, no tendrían un impacto significativo sobre las poblaciones de maíz o teocintle, aparte de aquellos que confieren específicamente los genes transferidos.

Sin embargo, hay que tener presente que los sistemas de producción y la utilización del maíz en Estados Unidos y México son muy diferentes, por lo que las evaluaciones del maíz transgénico y las técnicas seguidas para ello en el primer país, no son necesariamente válidas para las condiciones del segundo.

Además, suponiendo que en el futuro se introdujeran un número mayor de maíces transgénicos de diferente naturaleza, se tiene que anticipar que la situación puede cambiar drásticamente en cada una de las localidades o regiones. En este sentido sería conveniente ponderar los elementos siguientes para la

evaluación de las implicaciones del maíz transgénico en México:

- a) En las variedades transgénicas el gene transferido es un segmento adicional de ADN que normalmente no se encuentra en el maíz convencional ni en el teocintle. Por otro lado, durante el proceso de transferencia no es posible controlar el lugar de inserción del gene en los cromosomas. Por esta razón, en dos o más variedades transgénicas con el mismo gene transferido, éste puede encontrarse en diferentes loci formando parte de grupos de ligamiento distintos. Si algunas de estas variedades transgénicas son introducidas, independientemente, a una localidad y posteriormente los transgenes fueran transferidos al maíz criollo o al teocintle, por hibridación o introgresión, con el tiempo pueden llegar a juntarse en el mismo genomio y acumularse en las poblaciones nativas. Esto ocasionaría que el mismo transgene se encuentre por duplicado, triplicado o en repeticiones de mayor grado. Esta multiplicación génica dentro del mismo genomio podría causar diversas irregularidades, entre las que se encuentran principalmente las aberraciones cromosómicas y algunas anormalidades fisiológicas. Si esta situación llegara a establecerse en las poblaciones de maíz criollo y el teocintle, entonces se puede anticipar que se presentarían diversos efectos de los cuales muchos podrían ser desfavorables para un desarrollo y reproducción normales de las plantas y por tanto, de las poblaciones.
- b) Por otro lado, como los transgenes pueden mutar en forma libre, y si originalmente no mostraban algún efecto adverso, después del cambio producirían efectos de diversa índole, que actualmente no es posible predecir.

Conforme se incremente la formación de variedades transgénicas y éstas, en proporciones similares, se introduzcan y se liberen, el número de genes totalmente extraños en los complejos génicos tanto del

maíz como del teocintle irá en aumento. Se puede predecir que esta situación llegará en pocos años, dado que la tecnología está disponible y cada vez se perfecciona y se hace más eficaz. Esta situación podría generar nuevos tipos de interacciones génicas entre los transgenes y entre éstos y los genes "nativos". ¿Qué efectos producirán estas interacciones? No es posible anticipar algo concreto, pero potencialmente sí hay grandes posibilidades de que ocurran efectos considerables, tanto favorables como desfavorables.

Un problema fundamental en el análisis de esta situación es la falta de información que pueda orientar la toma de decisiones en relación con la introducción, prueba y liberación del maíz transgénico y las consecuencias que podrían traer las acciones que se lleven a cabo. Lo más recomendable sería hacer estudios y pruebas piloto cuidadosamente controladas y estrictamente vigiladas para obtener la información requerida antes de introducir y liberar maíz transgénico.

Es necesario además llevar a cabo estudios más precisos sobre introgresión entre maíces nativos y entre éstos y el teocintle, con la finalidad de aclarar si ocurre o no y en qué grado ocurre si éste es el caso. Estos estudios pueden hacerse bajo estricta vigilancia y supervisión de investigadores y académicos capaces.

Una vez que se tenga evidencia de que el maíz transgénico no tiene efectos adversos en los maíces criollos o el teocintle y se tome la decisión de aprobar su uso comercial, suponiendo que se determine que el efecto general de éstos puede no diferir del que pueden tener, o han tenido, los maíces híbridos obtenidos por métodos convencionales de mejoramiento genético, se pueden anticipar las siguientes consecuencias:

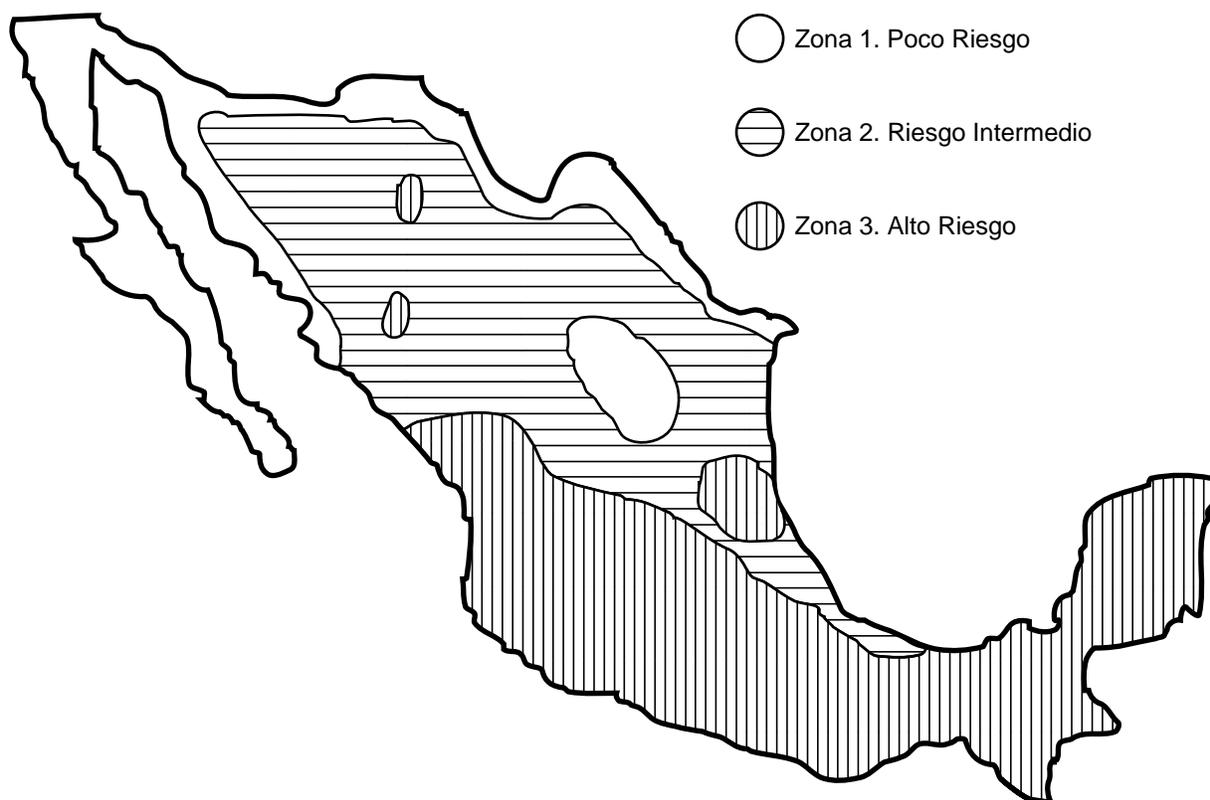
- a) Desplazamiento de variedades nativas de uso en agricultura comercial, en periodos cortos de tiempo, en aquellos lugares donde existen condiciones de producción con potencial elevado.

- b) Desplazamiento o modificación lenta de variedades nativas para consumo con usos especiales.
- c) Las generaciones avanzadas de híbridos o variedades introducidas y “adaptadas”, así como las variedades nativas “modificadas” pueden convertirse en la fuente de enlace en la transferencia de germoplasma exótico al teocintle.
- d) El uso de germoplasma exótico, con o sin transgenes, en forma de híbrido comercial, resulta en la expresión de características negativas que no se detectan de inmediato sino que aparecen en generaciones avanzadas o cuando se modifican algunos factores ambientales. Estas características negativas, como la susceptibilidad a ciertos factores ambientales, posteriormente pueden ser transferidas a variedades nativas o al teocintle.

## ¿Dónde podrían ubicarse los sitios de prueba para el maíz transgénico?

**J. Sánchez**

La pregunta nos trata de forzar a definir un sitio de riesgo nulo; sin embargo, no quisimos aceptar esa idea. Nuestra propuesta es establecer áreas en donde se pudieran minimizar los riesgos. Entonces, se acotaron 4 zonas de riesgo con una escala cualitativa que va de cero a tres (0-3), con las definiciones siguientes: La zona de riesgo cero, que es aquella donde no hay riesgo, no será establecida, al menos en un futuro inmediato. La zona de riesgo 1, con poco riesgo, donde, si se hiciera alguna prueba, debería de existir al menos un método de aislamiento para el maíz transgénico. En la zona 2, de riesgo intermedio, deben aplicarse al menos dos métodos de aislamiento.



**Figura A. Ubicación de las zonas de riesgo para las pruebas de campo con maíz transgénico en México.**

Finalmente, en la zona 3 que es de alto riesgo, no se darían permisos especiales y, si esos permisos se pudieran otorgar, entonces se deberán utilizar al menos tres estrategias de aislamiento.

Los niveles de aislamiento serán de 3 tipos: 1) aislamiento espacial, para el cual se sugieren, 20 km de distancia de las áreas de producción de semilla o de poblaciones silvestres; 2) por ciclo de siembra, para el que se sugiere utilizar los ciclos de invierno donde la producción de maíz es reducida; 3) desespigamiento del material que se quiere probar. Estas serían algunas de las posibilidades para aislamiento.

La supervisión de las zonas de riesgo deberá ser realizada por personal capaz y autorizado. Se sugiere que los supervisores sean agrónomos o biólogos, capacitados en aspectos de control y aislamiento.

No habrá zona cero para los primeros dos o tres años. En la Figura A se señala la zona 1, que es la de menor riesgo y que coincide con las planicies costeras donde todavía existe maíz, por ejemplo, en Baja California, Sinaloa, Sonora o la frontera con los Estados Unidos, donde la siembra de maíces híbridos ha hecho que la siembra de maíces nativos sea casi nula. Sin embargo, cerca de la planicie costera del Pacífico a 300 m de altura hacia la Sierra Madre Occidental, se encuentra una frecuencia más alta de maíces nativos.

La zona 2 (Figura A) en el trópico húmedo, corresponde a la zona de riesgo intermedio. Sin embargo, existen algunas áreas donde hay grupos indígenas, que tendríamos que considerar como zona de alto riesgo para el caso del maíz.

La zona de riesgo tres (3) en la Figura A, cubre una buena parte de Chiapas, Oaxaca y Guerrero hasta una parte de la Sierra Madre Occidental, donde todavía tenemos muchos maíces nativos y la mayor parte de poblaciones conocidas de teocintle y *Tripsacum*.

Si se quisieran probar materiales de Bajío y de Valles Altos se tendrían problemas por la gran cantidad de maíces criollos en estas dos regiones. La alternativa sería buscar zonas libres de maíces nativos en los estados de Puebla, Tlaxcala, Chiapas o Chihuahua.

En algunas regiones del norte de México con altitudes de 1500 a 2000 m, de clima desértico, con pequeños lotes de riego y donde no se siembra maíz, se podrían utilizar algunas áreas de prueba. Estas podrían ser propuestas como zonas de riesgo intermedio. Se sugiere que a medida que se avance en los trabajos experimentales de flujo genético, estas zonas podrían modificarse. Es decir, se podrían cambiar algunas zonas cero hacia las regiones desérticas de la península de Baja California y probablemente algunas pequeñas zonas de tipo 3 podrían pasar, posteriormente, a zonas de nivel 1 ó 2.

### **¿Qué acciones de conservación de germoplasma debe emprender México, en el marco del advenimiento del maíz transgénico?**

**V. Villalobos**

Como primer punto de análisis se describió la situación de los bancos de germoplasma en México. En este sentido, se consideraron únicamente las colecciones *ex situ*.

Existen unas 16,000 accesiones de materiales mexicanos que incluyen maíz, teocintle y *Tripsacum*. El INIFAP tiene aproximadamente 10,000 accesiones y el CIMMYT cuenta con aproximadamente 4,000 accesiones que, básicamente, son duplicados de las que posee el INIFAP. Existe una colección en el Colegio de Postgraduados con aproximadamente 2,000 accesiones, las cuales han sido colectadas en sus nichos ecológicos, lo cual le confiere una identidad propia.

Se ha estimado que la diversidad genética de los géneros *Zea* y *Tripsacum* en América Latina, está contenida en aproximadamente 26,000 accesiones que se encuentran almacenadas en diversas colecciones de todo el Continente. El CIMMYT está interesado en coleccionar la mayoría de esta diversidad genética y en la actualidad cuenta con aproximadamente 14,000 accesiones de ese total.

Se estima que existe una colección básica (base collection) de 4,000 accesiones mantenida a  $-18^{\circ}\text{C}$  y 10% de humedad relativa, en Bancos de Germoplasma de largo plazo.

Se hacen estudios para determinar la colección activa, que es la que se usa generalmente para el mejoramiento genético y estudios básicos (10% representativa de la colección básica). Esta colección está en formación en el CIMMYT y se integraría con 1,000 a 1,500 accesiones.

Para la conservación *ex situ*, se propusieron dos recomendaciones fundamentales. Una de ellas, práctica y de corto plazo, es que se mantenga en una caja de depósito del Banco de Germoplasma del CIMMYT, el material que se encuentra en el Colegio de Postgraduados ya que no se cuenta con condiciones para el mantenimiento de baja temperatura. Asimismo, se propuso analizar cuál es el estado de la colección del INIFAP, y solicitar que una réplica de esa colección también se almacene a largo plazo en las condiciones adecuadas. Si hay repetición de las colecciones, que éstas se almacenen transitoriamente en los bancos de germoplasma mientras se renuevan o mejoran las instalaciones de almacenamiento de la institución solicitante del servicio.

La segunda recomendación, que no se puede seguir posponiendo, es que México necesita tener un Banco Nacional de Germoplasma Vegetal, no sólo para maíz, sino para todas las especies botánicas de importancia agrícola. Desafortunadamente, México que es uno de

los centros de diversidad genética vegetal más importantes, no cuenta con un banco de esas características.

La diversidad del teocintle en condiciones *ex situ* es la siguiente: El CIMMYT tiene aproximadamente 150 accesiones, mientras que el INIFAP cuenta con aproximadamente 140 colecciones. Estas 290 colecciones, de las que no sabemos exactamente si hay duplicación entre ellas, representan el 80% de la diversidad nacional.

En el caso de *Tripsacum* no se tienen muchos datos. Sin embargo, se estimó que existen aproximadamente 150 ó 200 accesiones en los bancos, que representan a 16 especies de las 24 que existen.

Se indicó que de las razas de maíz que se han colectado y almacenado, sólo alrededor del 10% de estas razas se utilizan para los programas de mejoramiento actual. Este dato es muy importante y deberá considerarse para las recomendaciones futuras.

En cuanto a la conservación *in situ* de maíz y teocintle se analizó, en primer lugar, la definición de este tipo de conservación. Se partió del hecho de que el maíz es un material genético de mucha movilidad por lo que la conservación *in situ* es muy compleja. Así, nuestra definición operacional de la conservación *in situ* de maíces es la de conservación en finca, donde los agricultores protegen o seleccionan sus variedades criollas para garantizar determinada producción. En muchos casos, el mantenimiento de la identidad genética que representa a una raza en particular se hará de manera empírica. Ejemplos de lo anterior son las razas Zapalote Chico, Tabloncillo y Pepitilla; éstos, en cuanto a su orden de magnitud, son diferentes en relación al Tuxpeño o al Maíz Cónico.

Se consideró que los factores que afectan la permanencia y la fertilidad de las razas que se han conservado merced al trabajo y el manejo que le dan los productores, son exactamente los mismos que

pudieran en un momento dado afectar a los híbridos e inclusive a los materiales transgénicos.

Cuando se hace referencia a la conservación *in situ* de teocintle, se considera que el teocintle sí se mantiene en condiciones *in situ*. En estas condiciones destacan, por ejemplo, el teocintle Chalco y el de la Mesa Central (*Zea mexicana*), Durango, Nobogame, Jalisco, Oaxaca y las zonas donde se encuentran *Zea diploperennis*, *Z. perennis* y *Z. mays* spp. *parviglumis*. Cabe destacar que existe una área silvestre protegida que es la de Manantlán, Jalisco, la cual ha considerado dentro de sus proyectos la conservación en finca de una población de *Z. diploperennis*.

Se consideró que se deben tomar algunas acciones para determinar el tamaño de las colecciones en sus dos condiciones.

En primer lugar, se consideró que la introducción o la liberación de material transgénico afectará de manera directa a los maíces criollos y posteriormente al teocintle a través de los criollos. Las prioridades y las recomendaciones deben estar precisamente orientadas a estas dos especies en ese orden.

La primera recomendación es que, previamente a la liberación del maíz transgénico, se complete el 20% de las colecciones que faltan para tener la representatividad de la diversidad genética de teocintle en México, bajo condiciones *ex situ*. Igualmente, es importante intensificar, lo más pronto posible, un programa de monitoreo de las poblaciones de teocintle, con la participación de las instituciones locales. De esta forma se rescataría el conocimiento de las comunidades que están de alguna manera asociadas al manejo de su germoplasma. Esto entraría en los datos de pasaporte de las accesiones.

Se recomienda hacer estudios demográficos, estudios de exploración y de caracterización. En este sentido, se recomienda complementar la caracterización

morfológica con estudios de diversidad molecular, perfiles electroforéticos y huellas de ADN. Una vez hechos estos estudios, se harían estudios poblacionales y evolutivos.

Respecto a los criollos, es importante hacer una caracterización *in situ* y *ex situ*. Hay muchos materiales almacenados, por lo que sería importante discriminar la posible duplicidad de esas colecciones y de alguna forma complementar las dos colecciones más importantes existentes en el país.

Con el fin de atender los riesgos que implica la pérdida de germoplasma, debido a los factores mencionados por algunos de los investigadores invitados a este taller y que están desplazando y erosionando la diversidad de estas especies, se recomienda identificar aquellas zonas de más alto riesgo para que se inicien estos trabajos precisamente en esas zonas. Se recomienda igualmente trabajar en zonas contiguas o cercanas a las poblaciones que tienen un alto crecimiento demográfico o aquellas que están sujetas a cambios ecológicos importantes.

Se consideró que la liberación de maíz transgénico entraña riesgos, pero es necesario hacer el balance de riesgo y beneficio para determinar si los riesgos pueden ser mayores que los beneficios y cómo afectan o benefician éstos a los productores de diferentes niveles socioeconómicos. En otras palabras, se estimó que el material transgénico que se incorpore al mercado estará sujeto a la elección y posteriormente al manejo y comercialización de los productores.

## **Discusión del informe presentado por el grupo 1**

### **J. Payne:**

El grupo 1 sugirió que tal vez en las áreas de alto riesgo no debería haber pruebas, aunque con el desespigamiento y las medidas de control, no se espera que haya flujo de genes. Si no hubiera polen y

si hubiera medidas de control, ¿sería posible diseñar un campo experimental de bajo riesgo que podría ser de alto riesgo si hubiera polinización libre?

**J. Sánchez:**

Las áreas que se identifican como de alto riesgo, incluyen la mayor parte de las zonas de Valles Altos, Bajío o zonas intermedias. Sin embargo, se mencionó que en esas zonas no se prohibirían totalmente las pruebas. En esas zonas, las medidas de control deberán ser, al menos tres de las que nosotros mencionábamos. Una es desespigamiento; otra es distancia. De hecho, nuestra propuesta no niega la posibilidad de acercar los materiales a la región, sino que las medidas de contención deberían ser mucho más astringentes, siempre y cuando fueran autorizadas las pruebas de campo.

**J. Payne:**

Sólo quiero hacer un comentario. Creo que es útil pensar en términos de dos o tres niveles de protección, aunque creo que es importante no pensar en ellos como aditivos. Es importante ver factores biológicos, y pensar en ellos como un sistema biológico; hay que ver si un procedimiento de contención es efectivo por sí sólo o en combinación con otros. En los Estados Unidos, hubo una tendencia a pensar en ciertos procedimientos como aditivos. Yo sé que lo hacen para ahorrar tiempo pero como medida de precaución, se debería ver y considerar la biología.

**F. Cárdenas:**

Quiero hacer una aclaración. La colección de maíces de México que tiene INIFAP es de alrededor de 10,000 colectas. De estas colectas, aproximadamente, entre 4,000 a 5,000 se encuentran en CIMMYT. En Fort Collins, Colorado, se encuentra una réplica de las colectas que posee el CIMMYT y estamos en un proceso de reproducción e incremento de los materiales que no se encuentran ni en Fort Collins ni en CIMMYT, para que haya duplicados en los dos Bancos.

**M. Goodman:**

Me gustaría agregar algo a los comentarios que hizo el Dr. Cárdenas. Tal vez haya personas en el público que no advierten que el INIFAP probablemente ha dedicado más esfuerzos a coleccionar y regenerar colectas de maíz que cualquier otro país u organización en el mundo en los últimos 10 años. El Dr. Cárdenas encabeza estas actividades, el investigador Juan Manuel Hernández ha hecho por lo menos la mitad de ese trabajo y Jesús Sánchez también ha hecho mucho de ese trabajo. No creo que eso se reconozca ampliamente. Además, México supera con mucho a cualquier otro país en términos del estudio reciente de las colecciones de maíz indígena.

**N. Ellstrand:**

No sabía que existiera información que mostrara que los transgenes tienen un grado de mutación más alto que el de otros genes. ¿Me podría dar algún ejemplo de transgenes con un grado de mutación más alto?

**A. Kato:**

Bueno, en realidad yo tampoco sé cual es el grado o la frecuencia de mutación de éstos transgenes; no tengo información al respecto. Pero yo supongo que puede ser al menos similar al de los genes normales del genoma. Entonces, creo que desde ese punto de vista, su comportamiento puede ser semejante al de los demás genes, pero con el tiempo pueden acumularse mutaciones y cambiar el efecto. En síntesis, creo que no se puede predecir.

**V. Villalobos:**

Sobre este tema, pienso que si se agrega que la incorporación de un gene al genoma, a través de ingeniería genética, éste se va a comportar en lo sucesivo como cualquier otro gene en forma mendeliana.

**A. Kato:**

Creo que no es estrictamente cierto que los transgenes se van a comportar en forma mendeliana, porque en el

material no transgénico no existe ese gene. ¿Cómo se va a comportar al cruzarse y al retrocruzarse? Todavía no lo sabemos.

El gene insertado es un segmento adicional, por lo que podemos suponer que es como si se introdujera un cromosoma muy pequeño intercalado en un cromosoma normal; entonces no podríamos decir cómo se va a comportar ese cromosoma. Aunque es un segmento muy pequeño, no podemos predecir en forma exacta cómo se va a comportar. Posteriormente, si una variedad tiene transgenes homocigóticos, probablemente se comporte de forma mendeliana, pero no se podría asegurar con absoluta certeza. Cuando se cruzan materiales transgénicos y no transgénicos la confianza en la predicción es aún mucho menor.

#### **V. Villalobos:**

Es que casualmente todo eso ya se sabe. Toda la información sobre material transgénico apoya esas funciones. Si, a través de la biología molecular, se incorpora un gene bien conocido a un genoma receptivo, éste se va a comportar y va a tener un mecanismo, una forma de segregación, como lo dictan las leyes de Mendel. Después debemos considerar que hay todavía, en efecto, cierta incertidumbre respecto al lugar preciso en que ese gene se está insertando, lo cual va a cambiar las características fenotípicas y genotípicas del individuo receptor. Pero hay que tomar en cuenta que ese material que fue modificado genéticamente entra a un programa de mejoramiento de tipo convencional, en el cual se eliminan aquellos individuos que no tienen ningún interés agronómico y aquéllos que son seleccionados, a través del método convencional, son las variedades que en su momento vamos a incorporar a una población comercial.

#### **A. Kato:**

Sí, pero el punto que estamos tratando aquí es la relación de materiales transgénicos y los no transgénicos. Si nada más se trata de manejar grupos

de materiales transgénicos, es otra cosa muy diferente, pero aquí estamos hablando del efecto que puede tener el transgene o gene transferido una vez que se introduce a los materiales no transgénicos, es decir, tanto cultivados como silvestres. Lo antes expuesto es un problema diferente, creo yo. Porque si fuera igual que manejar materiales no transgénicos, como los manejamos tradicionalmente, entonces ¿cuál es la preocupación de estar aquí discutiendo este tema?

#### **D. Louette:**

Me parece conveniente comentar que es menos complicado anticipar lo que podría pasar en el maíz criollo con la inserción de un transgene, que imaginarnos lo que podría pasar en el teocintle. En el caso del maíz, podríamos suponer que el transgene tendría el mismo efecto sobre los criollos, pero sería muy difícil anticipar lo que puede pasar con los teocintles, porque muchos de esos genes pueden tener un efecto pleiotrópico y modificar muchísimo, por ejemplo, la manera de reproducirse del teocintle.

#### **A. Kato:**

Un punto que sí debemos considerar es que los transgenes son segmentos de ADN extra, que no existen en el género *Zea*. Porque si se hubieran obtenido del género *Zea*, de cualquier especie o población, entonces ya sería otro asunto muy diferente.

#### **J. Payne:**

De hecho, muchos genes provienen de microorganismos o de especies de plantas muy diferentes entre sí. Sin embargo, con la experiencia de haber visto miles de transgenes, retrocruzas de muchas generaciones de  $F_6$  ó  $F_8$ , las construcciones sí se comportan de forma mendeliana, a menos que se haya incorporado más de un gene en el transgene. En tal caso, varios tipos de recombinaciones pueden ocurrir con secuencias similares. Esas nunca se toman como pruebas ya que si no son estables, no sirven como material básico. Las que muestran transgenes

útiles son en general aquellas a las que sólo se les incorporó un gene. Si los genes se originan de un microorganismo, el gene necesitaría de cierta manipulación en el laboratorio para cambiar secuencias de bases para que así se exprese en la planta y sea estable y se mantenga. Sin embargo, ese trabajo generalmente se determina en el laboratorio y el invernadero y los que van al campo han sido muy estables durante varias generaciones. Eso es lo que pasa con miles de diferentes tipos de plantas, incluyendo al maíz, en los Estados Unidos.

De todos los experimentos que se han hecho hasta ahora, sólo conozco un caso con un claro efecto pleiotrópico. Este ocurrió cuando, en el segundo año de pruebas de campo, se distribuyó ampliamente un material experimental en varios estados y se involucraron nuevos ambientes. Por consiguiente, se observó una reacción ambiental con el genotipo, hubo achaparramiento, éste se reconoció enseguida y, por supuesto, la línea se retiró del programa de mejoramiento, que es lo que se debe hacer cuando se encuentran pleiótropos en un programa de mejoramiento. Así, los transgenes se han comportado, en nuestra experiencia actual, durante 7 u 8 años y muchas generaciones, en forma mendeliana, lo cual no significa que sean estables. Son tan estables como cualquier otra parte del genomio, pero no menos.

#### **D. Hoisington:**

Sólo quiero subrayar lo que J. Payne dijo en dos puntos. El primero, es cierto que cuando uno incorpora un transgene en una pieza de ADN en el cromosoma de un organismo, se crea un pequeño segmento de micro-heterogeneidad en ese locus. Empero, esa heterogeneidad existe en cualquier genomio de cualquier planta. Sabemos que hay inserciones y deleciones, que hay ADN repetitivo en una cantidad considerable y que las unidades de repetición varían mucho, aun entre dos plantas del mismo campo de cultivo; el organismo se encarga de regular toda esta heterogeneidad. El otro punto es que

siempre es cierto que cuando un gene se introduce a un nuevo genoma no podemos predecir *a priori* qué es lo que va a pasar. Sin embargo, casi todos los genes que se han usado hasta ahora —el gene *bar*, el gene *gus*, los genes de resistencia a los antibióticos y los genes *Bt*— se han incorporado en muchas plantas diferentes, y obtenemos el mismo fenotipo, siempre y cuando nos limitemos a introducir un solo gene estable. Creo que sería justo decir que esos genes, son genes mendelianos y que su nivel de expresión —en la mayoría de los casos y sin tomar en cuenta en qué planta se introduzcan— será muy similar.

#### **A. Kato:**

Lo que he estado diciendo es lo que se discutió en nuestro grupo y no quiero forzar a la aceptación de lo que hemos resumido en nuestra presentación. Sin embargo, quiero preguntar a los participantes de esta reunión: ¿Tiene alguien la certeza de que siempre habrá un comportamiento idéntico de los transgenes? Como en el caso de la introgresión, yo siempre había tenido la idea de que el maíz y el teocintle se mantienen genéticamente aislados, pero por la información que se ha dado en este taller me doy cuenta que se debe considerar un grado de incertidumbre. Entonces, por cuestiones prácticas, debo aceptar que puede haber introgresión y que eso es lo más conveniente para la toma de decisiones en situaciones especiales.

#### **J. Payne:**

Creo que nunca hay certeza absoluta. Creo, dado el tamaño de unos cientos o quizá mil diferentes líneas de plantas transformadas y cultivadas en el campo, que el tamaño tal vez no sea el adecuado. Sin embargo, la evidencia hasta el momento muestra que son estables en un gene, no con certeza absoluta pero, con las muestras disponibles hasta ahora, es bastante segura. En cuanto al punto específico de cambiar de germoplasma elite a germoplasma silvestre, ese experimento está llevándose a cabo en varios casos y estoy bastante familiarizado con uno de ellos que es el

cambiar la calabaza de mesa cultivada a su pariente silvestre. Además, los genes son muy estables en el pariente silvestre, así como en el germoplasma elite.

**A. Kato:**

¿Se conoce la causa de esa inestabilidad? ¿Se refieren a inestabilidad en la expresión o en la transmisión?

**J. Payne:**

Yo me refería al caso en donde puede haber múltiples copias insertadas y después hay una recombinación dentro del material y eso es cierto. Puede tener un efecto en el germoplasma pero no sé nada de ello, si generalmente es un asunto de número de copias. Ese tipo de inestabilidad ocurre cuando hay pérdida del gene o de la función del gene, cualquiera de las dos. Ese nivel de inestabilidad se ha detectado de manera muy temprana en las pruebas de campo. Si esos cientos o quizás miles de líneas que mencioné antes —ojalá tuviera un número más exacto— se hubieran colocado en el campo sin que se les observara con cuidado, no estaría contestando su pregunta con tanta seguridad, pero sí han estado bajo un intenso escrutinio y se les ha seguido muy cuidadosamente. Además, se han traído de regreso los materiales del campo y se les ha analizado a nivel molecular, e incluso a ese nivel no se ha observado cambio alguno en el grado de mutación o en la estabilidad en ese punto.

**D. Louette:**

Aunque un gene puede ser tan estable en una especie como en otra, el efecto final sobre cada especie puede ser diferente. Un ejemplo podría ser el cambio de endospermo en el maíz, en donde el efecto sobre la germinación de la semilla es mucho menor. Con el maíz no importa, porque se pueden sembrar más semillas, pero si ese gene pasa al teocintle, puede tener un efecto negativo sobre el endospermo y sobre la germinación, con la diferencia de que en este caso no hay nadie ahí para sembrar más semillas.

Entonces, se estaría cambiando el sistema reproductivo de la especie y eso sí es un efecto letal. Aunque el efecto inicial es exactamente el mismo.

**V. Villalobos:**

Propongo que acordemos que, una vez incorporado un gene a través de ingeniería genética, en cualquier genoma recipiente, en este caso de maíz, variedad o criollo, el transgene se va a comportar en forma mendeliana.

**R. Ortega Paczka:**

Mi opinión es que, hasta donde hay evidencia, los transgenes se comportan, una vez incorporados a un material, de forma mendeliana y estable; sin embargo, puede haber excepciones a las que habría que prestar mayor atención.

**A. Kato:**

Al decir de forma mendeliana no quiere decir que no haya excepciones y modificaciones y eso se conocerá con el tiempo.

**V. Villalobos:**

Hay dos cosas aquí que, tal vez conviene no mezclarlas: una es en sí la mecánica de la ingeniería genética y la otra son los riesgos. Entonces una cosa no está garantizando la otra. Lo que estamos tratando de hacer es minimizar los riesgos potenciales, suponiendo que éstos existen. En otras palabras, se trata de minimizar los riesgos y aumentar los beneficios.

**M. Goodman:**

Me preocupa un poco que los resultados positivos lleguen a la literatura científica y que los resultados negativos no lleguen. Por ejemplo, si las cosas siguen las relaciones mendelianas, la gente suele trabajar con ellas; sin embargo, si no se entiende una relación de 17 a 32, no lo publican. Además, en primer lugar, muchas de estas cosas son hechas en secreto por las empresas

y éstas, por lo general, no publican mucho de su trabajo. Es obvio que los materiales que llegan a las pruebas de rendimiento y las que finalmente se liberan tienen principalmente un comportamiento mendeliano. Es decir, van a tener una buena expresión. Lo que no creo que la mayoría de ustedes sepa —algunos tal vez sí— es que un gene dado con buena expresión en la línea de maíz Missouri 17 no tiene buena expresión en la línea 247 del CIMMYT. Entonces, ¿cuántas veces se tendrán problemas para obtener buenas expresiones cuando se transfieren las construcciones de una línea a otra? No puedo imaginarme que de vez en cuando no se encuentren problemas genéticos de algún tipo. En la expresión de los genes que yo conozco todo es cuantitativo; hay una expresión en diferentes situaciones y no imagino que esas cosas tampoco tengan variabilidad en sus antecedentes. No dudo que los que cumplen con las condiciones de comercialización sean bastante buenos y no creo que ninguno cree problemas. Sin embargo,

no veo ningún motivo para apresurarnos y decir que todo es de esta manera a menos que estemos absolutamente seguros de que tal es el caso.

**D. Hoisington:**

Creo que todos estamos totalmente de acuerdo con lo que M. Goodman acaba de decir. El punto clave es que un transgene no es diferente en absoluto a cualquier otro gene que exista en la planta. Todo lo que sabemos que puede pasarle a los genes probablemente ya les ha pasado o les pasará a los transgenes.

También estoy de acuerdo con D. Louette en que, cuando ciertos genes se introducen a otras especies de plantas, pueden tener un efecto final diferente. Tenemos que la misma expresión produce el mismo producto; sin embargo, por muchas razones también tendrán un efecto último en la viabilidad de ese organismo.

## Informe presentado por el grupo 2

La tarea de este grupo fue evaluar el estado del conocimiento actual en relación con la evaluación de riesgos y bioseguridad, así como diseñar las investigaciones necesarias para analizar y evaluar el efecto y los impactos posibles del maíz transgénico en caso de liberación al ambiente.

Participaron en este taller las personas siguientes: F. Castillo (moderador), D. Louette (relatora), N. Ellstrand, M. Goodman, J. Kermicle, J. Larson, R. Obando, J. A. Serratos, V. Villalobos, G. Wilkes y M. Willcox. Corresponde a F. Castillo y N. Ellstrand la presentación del informe.

### ¿Qué tipo de investigaciones deben llevarse a cabo para evaluar el efecto de la introgresión del maíz transgénico en el teocintle y los maíces criollos?

F. Castillo

1. A manera de introducción, se consideró que la diversidad de maíz, teocintle y *Tripsacum* está amenazada por varias fuerzas que han reducido o eliminado poblaciones de estas especies y las subespecies de teocintle reconocidas hasta ahora. Entre estas fuerzas figuran la expansión del área urbana, el cambio en el uso del suelo y la adopción de maíces mejorados. En este sentido, se consideró que los riesgos para el maíz criollo por la introducción del maíz transgénico, probablemente sean equivalentes al impacto que han tenido los maíces mejorados e híbridos sobre los maíces nativos. Por lo anterior, se recomendó enfáticamente que deberán tomarse medidas que aseguren la conservación de esa diversidad, como lo ha indicado el grupo 1 de este Foro. Si no se toman medidas urgentes, algunos tipos de teocintle y maíces criollos serán eliminados y con esto la preocupación por el efecto del maíz transgénico sobre ellos.
2. Por la información que se tiene acerca de los efectos de los transgenes en el maíz, una vez que ha sido transformado, se infirió que si la expresión de estos transgenes ha sido benéfica para una

variedad de maíz transgénica, entonces se podría esperar que fuera benéfica también para la variedad de maíz local. Sin embargo, no se puede anticipar o inferir el efecto de los transgenes sobre el teocintle, hasta que éstos se incorporen a su genoma. Los transgenes que se han incorporado al maíz pudieran tener efectos pleiotrópicos en teocintle, lo que implicaría la posibilidad de cambios inesperados que pudieran ser benéficos para el maíz nativo, pero letales o sumamente adversos para la capacidad reproductiva del teocintle.

3. Se analizaron algunos escenarios de los efectos posibles de los transgenes utilizados en transformación, al ser incorporados por introgresión, a variedades de maíz o teocintle.
  - 3.1. *Genes de resistencia a plagas de insectos.* No hay, hasta ahora, información suficiente del efecto del maíz transgénico, que expresa la proteína insecticida del gene de la  $\delta$ -endotoxina de *Bacillus thuringiensis*, en las poblaciones naturales de insectos. Se infiere que la presencia de individuos tolerantes a la  $\delta$ -endotoxina, podría contribuir al desarrollo de poblaciones de insectos resistentes al producto transgénico. Este efecto se presentaría bajo siembras uniformes de maíz transgénico. La presencia de variantes de maíz, sin el transgene, amortiguaría la evolución acelerada de la resistencia de las poblaciones de insectos a las plantas transgénicas bioinsecticidas.

3.2. **Resistencia a herbicidas.** El maíz transgénico resistente a herbicidas puede producir dos tipos de impacto. Para las poblaciones de teocintle se presentaría una situación de riesgo en el momento de la aplicación de herbicidas que acompañe a la introducción de variedades transgénicas resistentes a éstos. En este caso, se impondría una selección negativa muy intensa sobre el teocintle que crece en los campos cultivados lo que implicaría un grave riesgo de extinción. Es necesario hacer notar que los agricultores, en algunas zonas donde crece el teocintle, ejercen también una fuerte presión de selección negativa sobre el teocintle, aunque no es una actitud generalizada en todas las regiones (confróntese con la presentación de J. Sánchez, en este mismo documento). La rotación de cultivos también puede tener un efecto similar.

El segundo impacto sería completamente opuesto al descrito antes. En este escenario se supondría una ventaja adaptativa del teocintle, si el transgene se incorporara a éste, por introgresión. El teocintle podría desarrollar una mayor capacidad de sobrevivencia por la resistencia a herbicidas y en consecuencia, incrementar su potencialidad de convertirse en maleza.

3.3. **Genes que modifican la calidad del grano.** Se anticipó que los genes que controlan algunas características del grano podrán manipularse en el futuro, por lo que se discutieron los riesgos posibles.

La modificación del endospermo, como el carácter dulce y amiláceo que se presenta en algunos tipos de maíz, reduce la longevidad de las semillas. Si estos genes se presentaran en teocintle, reducirían su capacidad de germinar en el campo. Las semillas de teocintle permanecen en el suelo en estado de latencia por lo que, si se incorporaran genes modificadores del

endospermo, estas semillas de teocintle no tendrían la misma capacidad de sobrevivencia que las semillas normales. Si se incrementara el contenido de aceite, el resultado sería similar.

3.4. **Genes que modifican la estructura de la planta.** La introgresión de genes que condicionan la androesterilidad, reducirían la capacidad de sobrevivencia del portador e incrementarían la tasa de cruzamiento; con seguridad, las poblaciones de teocintle serían modificadas desventajosamente en relación al maíz. Se mencionó que la modificación de algunas características estructurales podrían reducir la capacidad de formar semilla. En este sentido, una posibilidad serían los genes que controlan la reducción de ramas laterales de las inflorescencias. En teocintle, la incorporación de transgenes que controlarían la característica mencionada reduciría la capacidad de formar semilla y generar progenie.

3.5. **Genes que condicionan la apomixis.** La institución francesa ORSTOM está llevando a cabo, en colaboración con el CIMMYT, un proyecto de investigación cuyo objetivo es transferir la apomixis del *Tripsacum* al maíz. Dados los avances de esta investigación, se infiere que la posibilidad de obtener maíz apomítico y su manipulación genética a través de ingeniería genética podría ser una realidad en el futuro próximo. En este sentido, el advenimiento del maíz apomítico incrementaría la capacidad de reproducción "vegetativa" del maíz, por lo que disminuiría la variabilidad de las poblaciones. Para el maíz criollo éste produce efectos similares al uso extensivo de híbridos. Para el teocintle se podría anticipar una reducción significativa de la variación de las poblaciones si suponemos que es posible el flujo genético del maíz apomítico al teocintle.

4. Para determinar el efecto de los maíces transgénicos sobre los maíces criollos y los teocintles, se identificaron 5 áreas de investigación de las cuales existe información en cantidad variable. A continuación se describen estas áreas de investigación en adelante de la posterior exposición detallada que hará Norm Ellstrand de algunas de estas áreas.

4.1. *Distribución geográfica, caracterización morfológica y tamaño de las poblaciones de las diferentes taxa del teocintle.* En esta área se tiene bastante información, según lo indicado por J. Sánchez en la presente Memoria. México tiene esta ventaja sobre otros países que son centros de diversidad y origen de cultivos agrícolas.

4.2. *Dinámica de las poblaciones de teocintle.* Se necesita información complementaria sobre el tamaño efectivo de las poblaciones de teocintle, ya que se sabe el tamaño de éstas pero no cuál es la estructura genética en la población. Por otra parte, hay algunos aspectos básicos de la panmixia y la capacidad reproductiva de las poblaciones de teocintle, que deben estudiarse.

4.3. *Determinación de las frecuencias del flujo genético.* Esta investigación se podría llevar a cabo en un año, para lo cual se sugiere el experimento siguiente. En este experimento se siembra —en una misma área— una variedad introducida, una variedad criolla y teocintle, en condiciones que reproduzcan al máximo las condiciones naturales de campo agrícola. Se permite la polinización libre y se determina el flujo genético entre estos tres componentes mediante marcadores co-dominantes, tipo isoenzimas, que nos permitan diferenciar los tres componentes y determinar la procedencia del polen. El experimento deberá realizarse con diferentes taxa de teocintle y diferentes materiales locales representativos de la diversidad y distribución geográfica. Este trabajo

se puede realizar tanto *in situ* como en campos experimentales. Se puede realizar en un solo año si se consideran diferentes condiciones con probadores, como diversidad de teocintle y diferencias en fechas de floración. Los tamaños de muestra deben ser suficientes para detectar un nivel de flujo de 1% por lo menos.

4.4. *Frecuencias de introgresión.* Se compararán los híbridos y los no-híbridos o poblaciones naturales obtenidas del experimento descrito anteriormente. Se determinará la germinación en el híbrido y en el no híbrido comparando las frecuencias del marcador en las semillas y en las plántulas. Las semillas deben ser tratadas con agua oxigenada para romper la dormancia. Se valoraría la sobrevivencia de plántulas, la fecundidad femenina tomando el número de semillas producidas, y la fecundidad masculina comparando la frecuencia de los marcadores en los híbridos y en los no híbridos de su descendencia. Se puede hacer la comparación también entre híbridos F1, la generación F2 segregante y cruza regresiva. Estas comparación se haría en el siguiente año a partir del material colectado en el experimento anterior, o con cruza forzada o manuales.

4.5. *Efecto de los transgenes incorporados al teocintle.* En este caso se compararían los híbridos, resultado de tres combinaciones: (1) teocintle por maíz transgénico, (2) teocintle por maíz no transgénico o antes de ser practicada la transgénesis, y (3) teocintle con maíz mejorado que provenga del mejoramiento genético tradicional con características similares a las que confiere el maíz transgénico.

Los tres híbridos se compararían en función de su adaptabilidad. Este experimento debería realizarse con un rango amplio de transgenes y si es posible para cada gene que se quiera liberar.

## **Diseño de experimentos e investigaciones para estudiar la hibridación y la introgresión de maíz transgénico a maíces criollos y teocintle y viceversa.**

**N. Ellstrand**

El objetivo de los experimentos que propusimos es medir dos parámetros relevantes que pueden utilizarse en modelos para evaluar las consecuencias de la introducción de plantas transgénicas. Los parámetros relevantes son el grado de migración ( $m$ ) y el coeficiente selectivo ( $s$ ). Estos parámetros son adecuados para varios modelos y además permiten predecir con bastante certeza qué es lo que va a pasar.

Nosotros proponemos tres tipos de experimentos. El primero tiene que ver con los grados de hibridación para calcular  $m$  y su variación. El segundo serían experimentos de introgresión para calcular la aptitud relativa del híbrido que podría ser negativa o positiva. De igual manera, el coeficiente selectivo del gene normal necesita calcularse independientemente del coeficiente selectivo del transgene, porque en ambos tipos de genes los coeficientes selectivos podrían ser positivos, negativos, o estar en conflicto. Finalmente, el tercer tipo de experimentos sería calcular el coeficiente selectivo del transgene en el híbrido. Las plantas transgénicas no se utilizarían en los dos primeros; por tanto, los experimentos se pueden hacer *in situ*.

El experimento número uno es quizás el más complicado. El punto más importante es medir el grado de flujo de genes de los cultivares modernos a las razas nativas, de los cultivares modernos al teocintle y de las razas nativas al teocintle. Esto podría lograrse utilizando por lo menos dos —y tantas como sea posible— localidades apropiadas. Las regiones de macro distribución de teocintle como la Mesa Central, la del Balsas y Chalco, serían dos localidades

adecuadas, con dos localidades de repetición por cada localidad general, una *in situ*, de ser posible, y otra, en una estación experimental local del INIFAP.

Los materiales de prueba se sembrarían de manera variable para ajustarse a las variaciones naturales y la fenología de todas las localidades mexicanas. Debido a la replicación que tienen con el tiempo, se podría hacer el experimento en un año. Eso es útil con respecto a la información que se necesita y con respecto al interés de la industria de la biotecnología.

Después de la lluvia de ideas, se decidió que el uso de marcadores codominantes era el más eficaz. Cuando se hacen pruebas de progenie, se puede identificar qué progenie se cruzó al otro tipo. Se toma esa progenie, se cruza con cada uno de los progenitores y se divide el número total de progenies y ese es el cálculo de  $m$ . Esto puede calcularse entre sitios dentro de una localidad, entre localidades o tipos taxonómicos, de ser el caso, y entre tiempos diferentes, lo que da como resultado un muy buen cálculo de la variación del flujo de genes en esos niveles.

En el segundo experimento se siembran plantas de la siguiente generación en los mismos sitios *in situ*. Se tendrían  $F_1$ 's (de ser necesario se forzaría la hibridación a partir de la semilla creada por un estudio previo) y lo que llamamos  $S_1$ 's o medios hermanos. Así es que tenemos tipos puros y tipos híbridos cuya aptitud relativa mediremos.

La diferencia entre esas aptitudes nos da el coeficiente selectivo ( $s$ ), que representa la ventaja o la desventaja de los genes de cultivos que se encuentran en un híbrido: ya sea que se les inserte o se les retenga de la población. Como tenemos híbridos, también podemos examinar la transmisión del marcador de cultivo específico en un híbrido, lo que nos permitiría calcular la aptitud masculina. Esta característica, a menudo

pasada por alto en los estudios ecológicos, es importante porque, aun si la planta carece totalmente de semillas, produce polen. De igual manera, en este caso, la aptitud de otras plantas que podrían ser fertilizadas tiene un impacto.

Las pruebas de aptitud masculina (en términos de transmisión de marcadores y de pruebas de progenie) comparan las semillas que se toman directamente de las hembras. Los estudios de germinación se realizan para determinar la frecuencia del marcador en la semilla contra la frecuencia del marcador en las semillas que germinan. La frecuencia puede aumentar o disminuir dependiendo de la aptitud de la semilla y el punto hasta el que el marcador afecta la aptitud. La supervivencia de la planta es otro componente de la aptitud. Si las cosas se hacen de manera correcta, la primera siembra puede hacerse en el primer año y la segunda siembra en el segundo, con todas las combinaciones apropiadas: híbridos, entre el maíz moderno y las razas nativas, entre el teocintle y las razas nativas y entre el teocintle y el maíz moderno (en este caso, en las hembras).

El tercer experimento se hace para medir la aptitud relativa cuando se incorpora un transgene. Así que necesitamos comparar un híbrido que involucre al maíz transformado (tan cercano a un producto pre comercial como sea posible) y maíz sin transformar que esté lo más cerca posible al que fue transformado. Se entiende que ocurre poco cambio genético, aunque la pregunta más importante tiene que ver con el impacto del transgene en la aptitud específica.

Hoy día no es posible conducir estos experimentos *in situ*. Sin embargo, éstos deben de llevarse a cabo bajo condiciones lo más cercanas posibles, seguramente en México. Un grupo sintió que estos estudios de aptitud podrían incorporarse a las pruebas a pequeña escala, en campos abiertos que propuso el Grupo 1, dado que las condiciones de contención que sugieren son lo suficientemente astringentes. Estos experimentos

deben ser conducidos por científicos que entienden las medidas de aptitud. Los tamaños de las muestras deben ser los adecuados para descubrir las diferencias en la hibridación en la aptitud que son importantes biológicamente: la importancia estadística sin la importancia biológica no sirve de nada. Si la muestra no puede capturar la importancia biológica, entonces los experimentos no deben de llevarse a cabo.

## Discusión del informe presentado por el grupo 2

### R. Bird:

Una sugerencia para este grupo es que este estudio de introgresión requiere al menos de dos años, por la necesidad que existe de tener algo de retrocruzamiento cuando se observan combinaciones de caracteres que no son de  $F_1$ , sino de caracteres propios en diferentes miembros de la población de retrocruzas en ambas direcciones.

### N. Ellstrand:

¿Sugieres que tomemos, en el tercer año, la progenie que hemos recolectado: retrocruzas,  $F_2$ s y nuevos  $F_1$ s, y los coloquemos de vuelta en el campo para tener una generación avanzada?, o ¿sugieres que hagamos el experimento en repeticiones?

### R. Bird:

No sólo repeticiones, también avances. Se puede avanzar en las generaciones de invierno o en los invernaderos, para obtener resultados con mayor rapidez.

Algo más: se necesita tener en cuenta que teocintle y probablemente la  $F_1$  o algunas retrocruzas, deben ser tratadas con agua oxigenada para que germinen de manera sincrónica y en un alto porcentaje. En otras palabras, si se pone la semilla de teocintle en agua oxigenada a 20% durante 5 horas, se logra el 95% de germinación, pero sin esto la germinación es de sólo 5%.

**A. Alvarez:**

En el caso de que hubiera una o algunas variedades de maíz que presentaran resistencia a herbicida y que esta resistencia se hubiera obtenido a través de mejoramiento convencional —que quizá estén o hayan sido utilizadas, alguna vez, como material comercial— ¿Crearían conveniente utilizar este tipo de material para ver la transmisión de estos caracteres que se semejan más a los que muy probablemente estén en materiales transgénicos? Me refiero de manera específica al gene *bar* que se usa como marcador de selección en plantas transgénicas de maíz.

**J. A. Serratos:**

¿Sugiere usted que se use exclusivamente el gene marcador de selección en el experimento tipo 3 que es con plantas transgénicas?

**A. Alvarez:**

Sugiero utilizar como fuente de polen las plantas resistentes a herbicida que se han obtenido por métodos convencionales.

**N. Ellstrand:**

Me gustaría dejar en claro que los experimentos tipo 3 serían experimentos múltiples utilizando varios productos transgénicos que serían propuestos para su liberación en México. No estamos hablando de comparar una sola construcción transgénica contra un tipo no-transformado. De hecho, estamos buscando la generalidad. Nosotros calculamos que esto se asociaría con las pruebas de campo a pequeña escala que realizan las empresas y que tan pronto como una colección representativa de esos productos se acumulara y se analizaran sus datos, se encontraría uno de estos tres tipos de información. Ya sea que las plantas transgénicas sean característicamente inferiores a los híbridos no transgénicos, que los híbridos transgénicos sean característicamente superiores, o que los híbridos transgénicos son variables comparados con sus contrapartes.

**V. Villalobos:**

Si experimentalmente vamos a evaluar un material transgénico, tal vez una buena pregunta es: ¿contra qué compararlo? Participé en una reunión, en la cual se discutió sobre un concepto que se llama equivalencias substanciales. Y este concepto se acuñó debido a esa necesidad de comparar un material transgénico con algo que le sea lo más parecido posible al no transgénico.

Entonces este concepto, equivalencia substancial, se refiere al genotipo que es exactamente el mismo sin el transgene y de esa forma se hacen todas las pruebas y evaluaciones de campo. Esto es importante considerarlo no tanto por el aspecto meramente experimental, sino porque estos materiales van a llegar a los supermercados o van a llegar al público dentro de poco tiempo. Entonces, tenemos que pensar en la explicación al consumidor en cuanto a ese material que ha sido modificado genéticamente. Tal vez convenga hacer una reflexión respecto a uno de los genes que sabemos que va a ser uno de los blancos objetivo de la transformación en maíz que es precisamente el de herbicidas, o sea, ¿contra qué lo vamos a comparar? Como yo interpreto esa pregunta, es compararlo contra el material que a través de métodos convencionales se ha seleccionado para resistencia a herbicidas, es decir, compararlo contra el mismo genotipo sin el gene. Esa es la pregunta en todo caso

**N. Ellstrand:**

Me gustaría añadir mis comentarios personales. Como los productos transgénicos son, básicamente, nuevos en su naturaleza, tal vez sea imposible encontrar comparaciones relevantes. Así, tenemos maíz transformado para que sea resistente a los herbicidas: tal vez sea imposible encontrar maíz no transformado que tenga resistencia a los herbicidas. Yo pienso que ese es el punto número 1. El otro punto que quiero tocar es subrayar que el proceso que involucra la

transferencia de múltiples genes: las construcciones, sus marcadores de genes y el marcador seleccionador. Nos gustaría conocer el impacto de éstos así como el fenotipo del híbrido. Esto faltaría en las líneas endogámicas tradicionales.

**J. Payne:**

Mi pregunta es de un tema un poco diferente. Me gustaría saber si el diseño del experimento consigue el efecto deseado. Me parece que la aptitud tiene dos diferentes significados, sea que estamos hablando de las poblaciones criollas o del teocintle, que crece de manera silvestre. ¿Este experimento va a contestar la pregunta de si el teocintle será más o menos apto en un ambiente fuera de un campo agrícola? Parece ser que no, porque no es una pregunta sobre la presión competitiva de otras plantas. Además, no estoy seguro de que la aptitud de las razas criollas sea el punto clave, porque la presión de la selección para mantener cualquier población dada de una de las razas nativas es la preferencia del agricultor por preservar la semilla.

**N. Ellstrand:**

Idealmente, si se quisiera conocer el impacto de las construcciones transgénicas en el teocintle, se transformaría el teocintle y después se le cultivaría con teocintle no transformado *in situ*. Yo creo que sería peligroso hacerlo *in situ* y también creo que sería oneroso para la industria el pedirle que transforme al teocintle.

Ahora, creo que una vez que se tenga el gene y 50,000 dólares, se puede conseguir en un año, eso es lo que me han dicho. Yo creo que lo mejor que podemos conseguir es tener un genoma que sea un 50% teocintle y cultivarlo bajo condiciones lo más realistas posibles, aunque por supuesto esto no se va a hacer *in situ*, por lo que se tendrá que hacer un compromiso con el proceso. El punto es que se está trabajando híbrido con híbrido y entonces, se supone, cualquier diferencia se debería a la construcción transgénica.

**M. Goodman:**

Me gustaría ver cómo se conduce el experimento tipo tres. Aunque no nos diría mucho de lo que necesitamos saber sobre el uso de maíz transgénico, sí nos daría información muy interesante. Me gustaría advertirle a todo aquel que intente llevar a cabo este tipo de experimentos, que se tomen en cuenta el concepto de vigor híbrido, porque uno va a traer transgenes a un ambiente que de alguna manera es algo diferente a las poblaciones criollas con las que se han cruzado. La única manera en que se puede tener aunque sea un éxito moderado con estos experimentos, sería tener materiales isogénicos con el transgene y sin él, porque de otra manera esto se convertiría en un conjunto de experimentos que no tienen ninguna relación con lo que ustedes están interesados.

**N. Ellstrand:**

El vigor híbrido es un punto importante y esa es la razón por la que queríamos comparar un híbrido contra otro porque, se supone, el testigo se haría cargo del vigor híbrido y la única diferencia entre el híbrido testigo y el híbrido transformado sería el transgene.

**M. Goodman:**

Eso es cierto, aunque el problema no reside en el vigor híbrido inicial en la generación  $F_1$ . El problema reside, como ya mencionamos, con el vigor híbrido subsecuente que persiste durante varias generaciones después. Los agricultores tienen mucho que ver en la suerte de un gene que se introduce a estas poblaciones y casi requiere de este tipo de experimentos para que se determine.

**R. Quintero:**

En relación con las propuestas que se hicieron: ¿Qué pasaría si no se hace nada de eso? ¿Sería importante llevar a cabo esta investigación?

**F. Castillo:**

Se comentó que con la información que se presentó en el primer día, se pueden tomar algunas decisiones en cuanto a la necesidad de hacer la experimentación o la investigación que se sugiere. El interés es fuertemente académico. En cuanto a términos prácticos, creo que hay algo de información que se puede derivar de estos experimentos.

**A. Kato:**

Parece que se está pensando en los riesgos que puede haber y las decisiones que podrían tomarse con base en esta información. Pero siempre hay riesgos y provienen muchas veces de cosas que no se conocen, que no se anticipan. El caso del citoplasma Texas, es un ejemplo que podría ilustrar esta inquietud. Había mucha seguridad de que era una cosa buenísima para el mejoramiento, facilitaba el trabajo y ahorra tiempo en todo el proceso de mejoramiento. Nadie anticipaba el desastre que ocurrió; se decidió que se introdujera en muchas variedades e híbridos de maíz, se extendió y fue un desastre.

Entonces, lo único que digo es que debemos ser más cautelosos y quizás las decisiones deban estar más condicionadas a reglamentación más estricta, porque de otra manera, suceden cosas que no se esperan.

**F. Castillo:**

Creo que al respecto habría que considerar las sugerencias o recomendaciones que dieron los grupos 1 y 2 en las que apuntan que las pruebas que se autoricen tengan diferente grado de control y, en la medida de lo posible, se realicen en lugares donde no haya riesgo de flujo genético.

**M. Willcox:**

Solamente quiero agregar que si se decide hacer pruebas en lugares seleccionados que, por lo menos, se tomen las medidas de seguridad apropiadas. Porque si decimos que no sabemos o no podemos anticipar las consecuencias de la liberación y nos negamos a enfrentar el diseño e implementación de reglamentos, entonces abrimos la posibilidad que la gente lo haga ilegalmente y en consecuencia no habría ningún control. Si no hay ninguna regla, la posibilidad que haya actos ilegales es mayor.

## Informe presentado por el grupo 3

El grupo 3 tuvo la responsabilidad de analizar la liberación de maíz transgénico en el marco de la normatividad vigente en México, y de la información discutida durante las presentaciones del Foro en cuanto a la interacción de los diferentes tipos de maíz y teocintle. Los integrantes de este grupo discutieron en torno a dos preguntas: ¿se pueden llevar a cabo pruebas de campo seguras o sin riesgo, con el maíz transgénico? y ¿cuáles procedimientos y regulaciones serían necesarios? Además, trataron un tema complementario en relación al diseño de pruebas para minimizar el flujo genético.

Los participantes en este grupo fueron: A. Alvarez (moderador), J. Ron Parra (relator), G. Carrillo, A. Gálvez, D. Hoisington, M. L. Mena, R. Obando, J. Payne, R. Quintero e I. Virgin. Le correspondió a A. Alvarez y J. Ron hacer la presentación del informe.

### **Tomando en cuenta el agroambiente, la diversidad genética y la agroeconomía de México, ¿se pueden llevar a cabo pruebas de campo seguras o sin riesgo, con el maíz transgénico?**

Para contestar a esta pregunta se planteó una serie de consideraciones. Cuando se habla de llevar a cabo pruebas de campo seguras o sin riesgo, tenemos que ser muy cuidadosos. Nunca se podría hablar de llevar a cabo pruebas sin riesgo. En buena medida, los ejercicios de evaluación de riesgos que se están haciendo con las plantas transgénicas no son de ninguna manera únicos. Por ejemplo, la industria química ha venido ejercitando una serie de medidas, de reuniones, de consideraciones para saber si se libera un producto, un insecticida o un pesticida. También, en la industria farmacéutica se hacen consideraciones y se liberan medicamentos, los cuales deberán indicar, por norma, los posibles riesgos de éstos. Y sin embargo, alguien en la población alguna vez sufrirá las consecuencias de los efectos imprevistos de los fármacos, a pesar de las medidas que se tomen. Otro caso paralelo es el de las medidas de seguridad que se toman para el manejo de material radiactivo y que están diseñadas para prevenir y minimizar los riesgos.

#### **A. Alvarez**

El comité de bioseguridad de cualquier país no puede ser la excepción; no puede de manera alguna asumir la responsabilidad de conceder permisos bajo el supuesto de que no hay ningún riesgo. Por tanto, de esta pregunta se deben eliminar las palabras siguientes: “sin riesgo”.

Siempre se tendrán que evaluar los parámetros y los conocimientos que se tienen en un momento dado, para tratar, de la manera más honesta y más profesional, de asegurar el menor riesgo.

Después de la discusión en nuestro grupo, se llegó al consenso de que sí se pueden llevar a cabo pruebas de campo con el maíz transgénico, tomando siempre en cuenta que las medidas propuestas pueden ser válidas para algunos genes, para algunas localidades y épocas determinadas, pero no para todo. Las medidas propuestas solamente son generalidades, que son muy importantes, pero que se tendrán que resolver, caso por caso, como de hecho lo hace el Comité Nacional de Bioseguridad Agrícola. Es decir, se pueden llevar a cabo pruebas con material transgénico de maíz en México, siempre y cuando se tomen medidas adecuadas para prevenir el flujo genético. Estas medidas dependerán de qué se quiere probar y de los objetivos de los ensayos propuestos.

Por experiencias anteriores de algunas instituciones que han ensayado material transgénico en campo, en las primeras etapas se pueden tomar medidas como el desespigamiento del material transgénico. Medidas tales como el desespigamiento, la polinización con material homólogo no transgénico o distancia de aislamiento, procuran un buen nivel de seguridad e indudablemente evitan gran parte del problema. Además, si fuera necesario, se podrían llevar a cabo estas pruebas en localidades alejadas de regiones ricas en variedades criollas o teocintle aunque fuera sumamente impráctico hacer un escrutinio en 20 Km para asegurarnos que no hay materiales criollos, comerciales o teocintle, como lo sugirió el grupo 1. De acuerdo con lo discutido por nuestro grupo, las distancias que se podrían manejar son del orden de 300 a 500 m, que son las utilizadas por las compañías productoras de semillas híbridas.

La inclusión de barreras con materiales no transgénicos de la misma especie, para detener el flujo de polen, es una medida muy importante. En este sentido, el Comité exige que los materiales utilizados como barrera se consideren como material transgénico y, por tanto, estén sujetos a los mismos mecanismos de destrucción o contención que el material que se está probando en el centro.

El grupo que presentó el mapa de distribución del teocintle nos aporta información muy valiosa que puede ser un auxiliar altamente importante, tanto para quien planea llevar a cabo estos experimentos como para quienes tienen que determinar si la prueba se acepta o no. De nuevo, esta consideración es en función del riesgo que puede llevar el gene.

Se ha discutido que quizás el gene *bar*, el gene de resistencia a herbicida, le confiere una característica positiva a los teocintles. Pero puede haber algún otro gene que se considere negativo y habrá que pensar en términos de estos mapas, dónde se pueden llevar a cabo las pruebas.

Se discutió y analizó la situación en los Estados Unidos, donde se han llevado a cabo muchas pruebas con maíz transgénico, y se concluyó que esta situación ventajosa, en cuanto al establecimiento de pruebas con estos materiales, deriva del hecho de que no hay material silvestre o criollo y el material que existe es material híbrido. Los híbridos se consideran como un callejón sin salida, ya que tienen muy escasas probabilidades de ser regenerados por los agricultores. Ese material no tiene mayor problema. Por consiguiente, se sugirió que se buscaran lugares donde la producción de maíz se base fundamentalmente en materiales híbridos y hacer allí las pruebas con maíz transgénico. De esta manera se tiene la certeza de que alrededor no hay criollos, no hay teocintle y tenemos una barrera natural.

Por supuesto, habrá que poner un cuidado muy especial en el análisis de las instituciones que pretendan llevar a cabo estas pruebas. Se tendrá que demostrar que disponen del equipo técnico y científico adecuado para manejar las pruebas con el debido profesionalismo.

Se debe hacer un seguimiento continuo de la prueba y llevar una bitácora siempre a disposición de los miembros del Comité Nacional de Bioseguridad Agrícola. Asimismo, tiene que existir documentación, mapas en donde se señale el sitio exacto donde se va a llevar a cabo la prueba, acceso restringido y mecanismos de vigilancia en los sitios de prueba para evitar que salga material voluntaria o involuntariamente de estos lugares.

Si se toman en cuenta todas las sugerencias que han surgido de esta reunión, que ha sido sumamente enriquecedora, se podría concluir que sí es factible llevar a cabo pruebas con maíz transgénico sin mayor problema. Tal vez, el mayor problema se presentará cuando se llegue al momento de la desregularización de maíz transgénico y su liberación como material comercial.

Se llegó al consenso de que no conviene detener la investigación en bioseguridad ya que en el curso del tiempo se conocerá más sobre el efecto de los genes. Porque si se parte —como aquí se ha dicho y el cual parece un punto de partida muy importante por cuanto a la bioseguridad—de que va a haber flujo genético, la consideración más relevante debe ser cuál va a ser el efecto de los transgenes en los materiales criollos y en el teocintle.

Se espera que de alguna manera se llegue a obtener esta información pero, en este momento, se considera que hay suficientes elementos para afirmar que las pruebas se pueden hacer. No hay por qué esperar hasta saber con certeza, o con cierto grado de certeza, cuál será el efecto de estos genes.

Por otra parte, si se llega a conocer con cierto grado de certeza el posible efecto de estos genes y llegamos a una etapa de desregulación, valdría la pena considerar un proyecto de seguimiento donde se pudiera analizar el impacto de estos genes en esas poblaciones.

La realización de pruebas de campo con material transgénico en centros de origen o diversidad se podrían aprovechar como oportunidades para ganar información, ya que no hay ninguna experiencia hasta ahora. Se debe evitar caer en el círculo vicioso de presumir muchos riesgos y, por tanto, no se prueba nada; como no se prueba nada, no se obtiene información y, en consecuencia, todo se prohíbe.

Debe llegar el momento en que se pueda romper ese círculo vicioso y entonces tomar ya una decisión de liberar estos materiales transgénicos. Posteriormente, en lo posible, habrá que hacer experimentos de seguimiento durante un tiempo razonable. El CIMMYT, INIFAP, CINVESTAV, la UNAM, el Colegio de Postgraduados y muchas otras organizaciones estarían interesadas en estos resultados.

## **Diseño de pruebas de campo para minimizar el riesgo de flujo de genes al ambiente.**

**J. Ron Parra**

En nuestro grupo se partió del supuesto de que se va a establecer un ensayo de campo con maíz transgénico en alguno de los sitios indicados por el grupo 1 y entonces habría que diseñar las medidas que se deberían considerar.

El aislamiento ideal estaría dado en un área semidesértica como, por ejemplo, en el estado de Baja California, donde no hay teocintle, casi no hay criollos, y el cultivo de maíz no es muy importante. En esa región, las barreras biológicas para el aislamiento, tal vez, no serían necesarias. Allí se podría contar con una área ideal para realizar este tipo de pruebas. Pero, ¿cuál sería la opinión de las empresas que están interesadas precisamente en las áreas con mayor frecuencia de distribución de teocintle? En este caso, sería necesario tomar algunas medidas de aislamiento en el sitio experimental.

Se ha mencionado que el desespigamiento es necesario porque una de las fuentes principales de contaminación es el escape de polen. Entonces, lo más sencillo, directo y fácil es el desespigamiento de las plantas. El aislamiento en el ámbito de campos experimentales o centros de desarrollo de estos materiales es recomendable porque se debe contar con infraestructura y con técnicos capacitados para realizar estos trabajos de una forma adecuada y responsable, y evitar el escape del polen. En síntesis, el aislamiento con desespigamiento en un área donde hay riesgo de contaminación podría ser una de las recomendaciones. La otra sería que los materiales fueran supervisados por personal capacitado que tenga experiencia con este tipo de variedades.

Se sugirió que para lograr el aislamiento en campos de productores, convendría utilizar barreras físico-biológicas de contención de polen, las cuales podrían ser el mismo cultivo, en este caso maíz, o la caña en el caso de regiones tropicales y subtropicales. El sorgo de tipo forrajero, en algunos casos, puede utilizarse en valles altos. Si el material utilizado como barrera es de la misma especie, en este caso maíz, no debe utilizarse como grano para alimento. Si hay probabilidades de escape a través del grano o la semilla, debe destruirse el grano que se obtiene de las barreras. Alrededor del sitio experimental no debería sembrarse maíz en el ciclo siguiente al ensayo con el material transgénico. Además, se deberá regar y barbechar el campo para eliminar, posteriormente, las plantas voluntarias.

En el sitio experimental debe darse un seguimiento de todo el proceso de liberación, ensayo y monitoreo, para sistematizar la información que se genere de todas estas actividades. De esta forma se podrán definir las características más adecuadas en cuanto a barreras y aislamiento para evaluaciones futuras.

El diseño y el tamaño de estos sitios experimentales dependerán del tipo de material transgénico que se vaya a evaluar, del germoplasma que se encuentra en las zonas aledañas, de las líneas progenitoras del material transgénico y del ambiente en el que se va a desarrollar. Cada uno de estos elementos, inclusive los factores genéticos, deben tener un diseño experimental para evitar escapes al nivel de pruebas de campo. Se enfatizó la necesidad de contar con infraestructura física adecuada, en el sitio experimental, que proteja de robo al material transgénico.

Hubo un consenso general en el sentido de que, pese a que se tomen todas estas medidas, no hay 100% de seguridad de que los materiales transgénicos no vayan a escaparse.

### **Discusión del informe presentado por el grupo 3**

#### **G. Carrillo:**

¿Podrían mencionar algo en relación con la señalización de los lugares donde se llevan a cabo las pruebas con material transgénico? Es decir, ¿qué tan recomendable sería señalar, en la localidad, los sitios y la naturaleza de las pruebas que se están realizando y, qué papel puede jugar la población local en este tipo de pruebas? Creo que es importante que los pobladores conozcan, en términos sencillos, un balance de estas acciones, porque después viene el problema de la aceptación del producto por parte de la misma gente.

#### **V. Villalobos:**

Pienso que es un tanto riesgoso anticipar esta serie de aspectos. Yo opino que la gente se tiene que educar gradualmente para entender lo que está ocurriendo con la introducción de material transgénico. Sin esa previa sensibilización, yo creo que sería contraproducente.

#### **J. A. Serratos:**

¿Se consideró el establecimiento de una auditoría especial para los resultados de la evaluación de riesgos o de los resultados obtenidos en el establecimiento de pruebas de campo con material transgénico? ¿Quién va a llevar a cabo esta investigación y cómo se le podría auditar, si es que se tuviera esa inquietud?

#### **A. Alvarez:**

Hasta ahora el Comité Nacional de Bioseguridad recibe, como parte de la solicitud para llevar a cabo cualquier prueba, todos los elementos lo más substanciados posibles, correspondientes a la estimación de la magnitud de riesgos que ha hecho la propia institución solicitante. En función de ese análisis de riesgos que ellos han hecho, pueden plantear una serie de medidas que consideran

convenientes para la seguridad. El Comité entonces evalúa la información, puede solicitar ayuda de expertos, puede coincidir o no con la información y puede exigir o no determinados cambios.

Cuando se hace la prueba en sí, debe llevarse una bitácora, la cual siempre esta disponible para los miembros del Comité. Normalmente, los funcionarios de Sanidad Vegetal reciben el material transgénico. Si se dijo que se iba a importar media libra de semilla, entonces los funcionarios certifican que sea exactamente media libra de semilla. Si se va a llevar al invernadero y se van a plantar 200 plántulas, que sean 200 plántulas. Si se ponen más, las plantas sobrantes se deben eliminar antes de llevarlas al campo experimental. Siempre hay gente del Comité y siempre hay gente de Sanidad Vegetal vigilando estas acciones.

También, el Comité tiene la facultad de visitar sin previo aviso, los campos experimentales para cerciorarse de que se están llevando a cabo las medidas que se sugirieron o las medidas que el proponente se comprometió a seguir. En cuanto a la auditoría, yo creo que los datos pueden ser compartidos y pueden ser mostrados abiertamente al Comité para que éste haga su propia evaluación de los resultados que se hayan obtenido.

**J. A. Serratos:**

A lo que me refería es que si podríamos considerar como algo necesario, en este caso, que hubiera un organismo independiente que vigilara todas estas acciones y que se llevaran a cabo de una manera regular y auditada.

**R. Obando:**

Tal vez estamos confundiendo dos cosas. Una, el Comité de Bioseguridad es el organismo asesor de Sanidad Vegetal, y la otra es el instrumento que tiene el país a través de Sanidad Vegetal para controlar todo este tipo de pruebas. Entonces, realmente el auditor es

Sanidad Vegetal y este organismo debe comisionar a una persona permanente en la zona donde está el experimento para asegurarse que las condiciones son adecuadas. Tal vez por la poca experiencia que tiene el país en esta área de transgénicos falte más capacitación, falte definir sistemas más estrictos de vigilancia. Pero Sanidad Vegetal es la responsable de todo eso.

**J. A. Serratos:**

Entonces, mi propuesta para este Foro es en el sentido de que se creen un mecanismo y un cuerpo especial de auditoría para un caso tan importante y político como lo es el maíz y la introducción de maíz transgénico en México.

**R. Ortega Paczka:**

Según entiendo lo que dicen, la supervisión y el poder de intervención lo mantiene Sanidad Vegetal, aun en la fase de la experimentación y de producción. Entonces ahí me queda un poco la duda, ¿Sanidad Vegetal y el Comité de Bioseguridad mantienen sus facultades de supervisar, vigilar, en su caso intervenir y eliminar material, aún en la fase experimental?

**A. Alvarez:**

Bueno, yo creo que esto se ha prestado a confusión en varias ocasiones. Y cuando hacemos una diferencia grande entre la fase comercial y la fase experimental es por lo siguiente:

El Comité Nacional de Bioseguridad Agrícola tiene su ingerencia solamente en la etapa experimental. Su ámbito comprende todos los pasos previos hasta asegurar que el material, desde el punto de vista de bioseguridad, no va a tener un impacto negativo sobre un ecosistema, sobre el medio ambiente y sobre los sistemas agrícolas. Es decir, todos estos puntos están bajo la supervisión del Comité Nacional de Bioseguridad Agrícola, los cuales no abarcan los aspectos de salud humana, ya que eso le corresponde en la etapa de consumo a la Secretaría de Salud. Pero

se vigila todo el desarrollo del material transgénico en la etapa experimental hasta que llega a un punto en que la empresa o institución que está haciendo estos experimentos solicita la desregulación. En ese momento, si el Comité está convencido de que el material no genera ningún riesgo, que es esencialmente igual que el material no transgénico, entonces, se puede dictaminar la desregulación de ese material.

En ese momento, el material no sólo se puede cultivar ya en cualquier lugar, en cualquier cantidad y en cualquier época sino inclusive se puede introducir a programas de fitomejoramiento tradicional. En ese momento, prácticamente ya es un material normal y la regulación cae dentro del Sistema Nacional de Inspección y Certificación de Semillas, como una semilla, como una variedad que tiene que cumplir ciertos requisitos. Esa es la principal diferencia.

**B. Benz:**

Yo creo que el asunto de la vigilancia debe quedar bien establecido, sobre todo porque debemos considerar que muchas veces nos encontramos con situaciones donde la vigilancia se propone, pero no se lleva a cabo de hecho. Tenemos que reconocer que las instituciones mexicanas responsables de la vigilancia no tienen suficiente capacidad de respuesta y en muchas ocasiones, ésta es muy limitada. Siendo realistas ante esta situación, debemos sugerir que el seguimiento durante la fase de experimentación se haga con personas capacitadas y con la participación de instituciones no gubernamentales independientes.

**A. Alvarez:**

La sugerencia se toma, no creo que haya ningún problema, pero sí quiero enfatizar que, hasta ahora, sólo se han recibido entre 11 y 14 solicitudes en México. También quiero mencionar que los miembros del Comité son especialistas de la UNAM, Colegio de Postgraduados, Chapingo, invitados de otras instituciones y personal de la Secretaría de

Agricultura proveniente de la Dirección General de Sanidad Vegetal, del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias y del Sistema Nacional de Inspección y Certificación de Semillas. Éstos son los miembros que van y que han ido a vigilar estos campos.

No podemos estar todo el tiempo ahí, eso es cierto. Pero creo que la vigilancia, en la medida de lo posible, se ha hecho bien sin que esto signifique que no estamos abiertos a las alternativas propuestas. La sugerencia de B. Benz y J. A. Serratos me parece una buena posibilidad; es un asunto muy importante y sería en beneficio y en favor de las instituciones que quieren probar organismos transgénicos, y del mismo Comité.

**R. Quintero:**

En ese grupo ven alguna diferencia en el caso que hemos estado analizando en este Foro, del maíz transgénico y los maíces criollos o el teocintle; es decir, algo que en particular debería de preocuparnos después de todo lo que hemos discutido aquí en estos días. No me pareció percibir en la presentación de A. Alvarez, que este grupo haya encontrado algo especialmente diferente de los casos anteriores de ensayos con materiales transgénicos. En particular, si hoy día tuviésemos frente a nosotros un maíz transgénico, ya sea generado en México o que viniera de fuera, ¿habría alguna preocupación especial y diferente en todo esto?

**A. Alvarez:**

Yo creo que si hacemos la separación de las dos etapas de las que he hablado, no hay diferencias. Es decir, mientras se cumplan una serie de condiciones que nos permitan asegurar que no habrá flujo de material genético y que no habrá escape, entonces, la prueba se puede hacer en cualquier momento. La preocupación, al contrario de otros casos que se han dado en México, es la liberación comercial, porque ahí no puede haber confinamiento.

**R. Quintero:**

En vista de tu contestación tan precisa, me gustaría sugerir que este Foro se pronunciara por el tratamiento especial de este caso. El caso del maíz transgénico es diferente, no en esta etapa experimental, sino en lo que sigue, en esa segunda etapa de la liberación. Precisamente porque es novedoso, es diferente. Debe quedar muy claramente establecido por este Foro y después buscar si se crea un comité especial de seguimiento o no. Quizá esto último sea asunto de otra discusión.

Me gustaría que quedara muy claro que hay algo que se percibe como diferente de los casos anteriores, que debe ser considerado de una forma especial.

**A. Alvarez:**

Yo creo que ese es precisamente el motivo real de este Foro. Tenemos que considerar que somos un país rico en materiales criollos, en materiales silvestres como el teocintle, y lo que nos interesa es saber o tener el mayor grado de seguridad de qué va a pasar con estos transgenes en esos materiales, en el momento de que hablemos de la desregulación y no haya contención. ¿Hay riesgo? ¿Pueden verse en riesgo estas especies? ¿Qué les va a suceder?

Ese es el motivo de este Foro y es lo que nos interesa. En el momento que queramos probar y liberar espárrago, todas estas preguntas se vuelven irrelevantes, pero no podemos hacer lo mismo con el maíz en México.

**R. Ortega Paczka:**

Quisiera comentar dos cuestiones generales que no tienen que ver específicamente con los transgénicos: los problemas de la erosión genética y otros problemas que tiene el país.

El primero ya lo mencionó M. Goodman y quizá en la relatoría valdría la pena señalar la importancia que tienen los bancos de germoplasma, en este caso el de

maíz. Por otra parte, deseo enfatizar la importancia de las reservas biológicas y de las grandes carencias y problemas que padecen. Estas reservas podrían, en algún momento, auxiliarnos en la resolución de problemas que surgen.

El segundo también lo acaban de mencionar, en México, nuestra capacidad de infraestructura, de personal y recursos para operar en cuanto a investigación, capacitación y control de la producción no son suficientes. Hay algunas cuestiones de tipo general que México necesita fortalecer, incluso para analizar este problema, en cuanto al personal con el que se cuenta.

**Discusión general****M. Goodman:**

Se ha comentado sobre la coordinación de los esfuerzos entre México y los Estados Unidos, pero no he oído absolutamente nada sobre la coordinación de esfuerzos con Guatemala, Nicaragua, Honduras y Costa Rica. Todos estos países se verían afectados seriamente con cualquier decisión que México tomara.

**A. Gálvez:**

Me gustaría abundar en este punto, porque de hecho en la Convención Mundial de Diversidad Biológica hay una inquietud muy grande de los países del tercer mundo por este fortalecimiento, en cuanto a la capacidad de infraestructura y de recursos humanos, para hacer este tipo de evaluaciones de riesgos. A nivel internacional, hay dudas muy fuertes en cuanto a las capacidades de los países en vías de desarrollo para evaluar los riesgos. Yo creo que valdría la pena que este Foro diera una recomendación para un modelo tan interesante como es el de maíz y teocintle y que puede además dar un ejemplo para algunos otros productos. En los países de Centro y Sudamérica —que tienen también maíz— este ejercicio en México podría ser de gran utilidad.

**R. Obando:**

Este comentario de A. Gálvez nos lleva de lleno al tema final de los planes futuros. En estos días se ha estado discutiendo la parte de bioseguridad, la parte de investigación y qué debemos hacer en la parte de conservación de germoplasma. Se han sentado bases durante estos dos días en los diferentes temas. Y sobre todo, tal vez en el tema que pudiera tener más actividad en el futuro que es en el tema de la investigación.

En función de todo lo que se ha planteado, ¿qué planes podemos hacer para el futuro: a corto, mediano y largo plazo? Es un tema que podemos abrir para avanzar hacia el final de la reunión y son bienvenidos los comentarios, las inquietudes y las sugerencias de ustedes.

**R. Ortega Paczka:**

Amanda Galvez sugería que esto se viera como un modelo. Hay que tener cautela. Por ejemplo, ciertamente el teocintle es una arvense, pero tenemos escasas poblaciones. Sin embargo, el paso de material transgénico sería mucho más riesgoso en los pastos. En un momento dado, una planta transgénica que aumentara la capacidad de los pastos de ser maleza es mucho más peligrosa. Nosotros tratamos un asunto específico que es maíz y teocintle en las condiciones de México, pero hay que tener más cuidado con aquellas especies no suficientemente domesticadas, como es el caso de algunas plantas que son silvestres y que se pueden convertir en forrajes, especialmente pastos, allí es extraordinariamente peligroso. Allí sí se puede prever que un carácter que se nos escape tendrá efectos negativos con mayor rapidez.

**G. Carrillo:**

Quiero pedir a A. Gálvez que nos de algunos lineamientos generales, si hay algo al respecto que pudiera servir —en este caso— como punto de partida o como punto de comparación de lo que aquí se ha dicho.

**A. Gálvez:**

Desafortunadamente no hay lineamientos establecidos. Algo que es muy claro es que, en la Convención de Diversidad Biológica no hay forma de asegurar los compromisos, porque para construir la infraestructura y capacitar recursos humanos se necesitan fondos, sobre todo en los países en desarrollo. No hay manera de atar el compromiso, digamos, de la transferencia de fondos hacia los países en desarrollo a través de un documento internacional o de algunas de estas clases de convenios mundiales que, además, tardan mucho tiempo en ser firmados.

Entonces, la Convención de Diversidad Biológica lo está apuntando como algo importante, pero solamente como una inquietud de los países en desarrollo. Creo que nosotros tenemos que ser propositivos y emprendedores para poder cumplir con los compromisos y —como decía M. Goodman— hacer intercambio de experiencias y proyectos con los países involucrados. Desafortunadamente, no tengo un ejemplo porque parece que no existe.

**M. Goodman:**

Por lo que he podido ver, el sistema de investigación agrícola del gobierno mexicano padece fuertes problemas monetarios. El personal es capaz pero tiene demasiado trabajo. Carece de fondos para cosas tan simples como la gasolina de sus vehículos. Este parece ser un problema que obviamente molesta a este grupo, pero también me parece que hay organizaciones, como el CIMMYT, que están interesadas en liberar plantas transgénicas. Tal vez Asgrow, Pioneer o Dupont, si es que estas organizaciones están interesadas en liberar plantas transgénicas y si se va a necesitar un esfuerzo gubernamental para vigilar este trabajo, me parece que es bastante justo que se cobren las liberaciones y pagar por ese tipo de trabajos. Estoy seguro de que a la gente del CIMMYT no le va a encantar la idea, ni tampoco a la de Pioneer o Dupont, pero creo que la gente que quiere hacer el trabajo tiene cierta obligación de pagar por el trabajo.

**V. Villalobos:**

En relación con lo expresado por A. Gálvez y la pregunta de G. Carrillo, quiero informar que sí hay mecanismos y tal vez debiéramos estar preparados para tener una posición un poco más decisiva y determinante en la reunión mundial sobre los recursos genéticos que va a tener lugar en junio del próximo año, en Alemania. Esta es, tal vez, la oportunidad única que se nos puede brindar como país centro de origen y con un gran porcentaje de la diversidad biológica conocida. Definitivamente podría llevarse una posición con varias opciones a esa reunión.

Específicamente, propondría que se llevara la petición y la posición de que México debería, en este caso, recibir alguna forma de financiamiento internacional porque en el país se concentran todas las condiciones para llevar a cabo este tipo de trabajo con relación a qué pueda ocurrir en el futuro con material transgénico en el centro de origen. Creo que tenemos las condiciones y solo falta el recurso económico.

La reunión mundial de los recursos genéticos debería ser una oportunidad para que México lleve una propuesta concreta como país y creo que pasarán muchos años para que haya otro Foro de esta naturaleza en donde podamos presentar una posición concreta.

Para que esto pueda ser posible tenemos que hacer mucho trabajo en el nivel interno en nuestras instituciones. Necesitamos tener una Comisión Nacional de Recursos Genéticos, la cual no existe. Tenemos una institución que tiene el mandato, el INIFAP y que ha venido haciendo un trabajo de hormigas y sin recursos. Esto debe ser reconocido de alguna forma y además debe tener una responsabilidad y un respaldo.

La conservación de los recursos genéticos no es una cosa que se determine en un sexenio, sino algo para toda la vida. Y eso debe ser algo intrínseco como lo es nuestra comida misma.

Tenemos que completar las colecciones y esto debe ser una prioridad y es un trabajo inmediato. Finalmente, debemos llevar una propuesta conjunta, en el sentido de que México cuente con un banco nacional de germoplasma que contenga toda la diversidad genética autóctona de México. Esto es una necesidad de más largo plazo. Ya que estamos hablando de temas del futuro, el futuro más próximo es en junio de 1996 y es una oportunidad que no se va a dar más. Creo que hay tiempo suficiente para ir pensando, pero ya con acciones, qué papel va a jugar México en ese Foro tan importante.

**J. Payne:**

Un punto de vista adicional o alternativo para obtener algunos de los recursos —y pienso específicamente para el tipo de pruebas que se sugirió— es el que desarrollemos algunas bases de datos que nos permitan la venta de proyectos mientras seguimos avanzando. No obstante, el maíz transgénico en México debe probarse con el patrocinio de un consorcio que involucre a la industria productora de semillas de manera voluntaria.

Creo que para las empresas lo mejor sería ayudar a fortalecer ese tipo de investigaciones y desarrollar la información. No estoy de acuerdo con la idea de que la industria pague una cuota obligatoria para poder participar. Creo que esa sería una medida adecuada para asegurar que los beneficios de esas industrias *no* lleguen a México. Las empresas se irían a cualquier otra parte.

**M. Willcox:**

Creo que lo del consorcio es una buena idea. También cabe la posibilidad de otorgar concesiones monetarias a una institución para apoyar ese tipo de trabajo.

**J. A. Serratos:**

Deseo sugerir que de este Foro organicemos el comité que participará en Alemania. Sugiero que propongamos quiénes podrían ser los integrantes de dicho comité, y que las instituciones representadas

aquí preparen la plataforma para intervenir en la reunión en Alemania. Es decir, sugiero sentar las bases para nominar un pequeño comité, que intervenga a través de nuestras instituciones en esa reunión y los lineamientos que el comité podría llevar a esa reunión.

**R. Martínez Parra:**

Un punto de aclaración nada más: la plataforma para ese Foro de 1996 ya está lista. Por coincidencia, en esta sala hay cuatro personas que asistieron a una reunión regional y posiblemente cuatro más que asistan a la próxima regional en Colombia. Pero creo que es muy importante que dos o tres participantes, o uno, el que sea, de este Foro incorpore el elemento de lo transgénico que no estaba contemplado en esa plataforma. Quiero recordarles que debe ser una posición oficial de México, la que se lleve a esa reunión de junio de 1996 y que hay mucho trabajo por hacer. Apenas es un principio, no hay todavía ni siquiera una comisión en recursos fitogenéticos.

**R. Ortega Paczka:**

Se habla mucho de que México es el centro de origen de plantas cultivadas —eso es cierto y es quizás lo más importante— pero no se habla de otra cosa: que en México tenemos 50 años de fitomejoramiento. En este caso, también es particularmente importante la conservación de las líneas básicas y de los materiales mejorados que existen.

Los materiales transgénicos también agregan lo suyo, se van a incorporar a un proceso que ya se da. No solamente ha habido una pérdida de la diversidad genética de las variedades nativas sino también perdemos los materiales ya mejorados, más ahora que se están suspendiendo programas de mejoramiento.

Yo propondría para el resumen del grupo de la conservación que se incluyera dentro de los puntos, la conservación de aquellos productos que ha generado el mejoramiento genético.

Sabemos que cuando hacemos mejoramiento genético convencional en maíz, no partimos de cero: generalmente estamos introduciendo caracteres favorables a materiales ya sobresalientes y esto debiera de ser válido tanto para materiales generados en nuestras instituciones oficiales como para aquellos que han sido trabajados por empresas. Incluso aquí debieran figurar hasta los transgénicos. Es decir, en las colecciones de los bancos debieran estar las colecciones de mutantes. Pero en el caso de México, lo más importante son los materiales mejorados.

**M. Goodman:**

Quiero secundar los comentarios de R. Ortega y señalar problemas paralelos que existen en los Estados Unidos. Hemos perdido líneas endogámicas de importancia histórica porque los bancos de germoplasma no aceptaron material mejorado. Por ejemplo, en los Estados Unidos todavía no hay nada que regule el almacenamiento de líneas endogámicas obsoletas, aunque importantes, de las empresas privadas que, si bien no son parte del dominio público, una vez que sean obsoletas deben volverse del dominio público.

Los bancos de germoplasma se han basado en las colecciones hechas en los diversos campos agrícolas. Ocasionalmente, unos cuantos materiales sintéticos logran llegar a los bancos aunque de hecho los materiales mejorados han sido excluidos de los bancos de germoplasma del mundo entero. No obstante, en el caso particular de los maíces, creo que hay que esforzarse para preservar, por lo menos, aquellos que son históricamente importantes.

**R. Obando:**

Mi comentario en relación a la investigación que se debe realizar sobre el flujo de genes y por los ejemplos que nos mostraron los integrantes de ese grupo, es que se requiere un trabajo interinstitucional. Es necesario un trabajo de equipo donde participen los biotecnólogos, biólogos moleculares y la gente que

maneja la investigación desde disciplinas científicas más tradicionales. Entonces habrá que elaborar proyectos y propuestas interinstitucionales para tener los mejores estudios al respecto en la búsqueda de recursos externos.

**R. Quintero:**

Vamos a hablar del futuro. El Dr. Rowe enfatizó que no había estado presente el sector privado nacional ni internacional. Me gustaría saber si el CIMMYT piensa apoyar algún Foro o alguna reunión similar a ésta, donde se incluyera la participación del sector privado, o hasta aquí terminará esta actividad con respecto al maíz transgénico.

**R. Rowe:**

Por lo menos hasta este momento no hemos planeado ningún otro Foro más que éste. Queríamos empezar con los representantes y las personas de instituciones públicas mexicanas a fin de que entendieran la forma de pensar y la orientación del Comité de Bioseguridad. Tal vez sea lógico que el próximo paso sea con el sector privado. Tal vez este sector esté más dispuesto a reunirse una vez que entiendan las conclusiones a las que ha llegado este grupo sobre la posibilidad de realizar pruebas de campo controladas en México. Esto sería dar un paso hacia el futuro, aunque permítanme recalcar desde el principio que nosotros no queremos necesariamente marcar la pauta; más bien, proporcionaríamos nuestra ayuda y nuestro trabajo en ese respecto. Si ustedes creen que una reunión de ese tipo sería útil, nos encantaría colaborar con ustedes para organizarla.

**M. Willcox:**

Creo —particularmente si se está considerando proponer a un consorcio de empresas privadas que otorgue fondos para algunas investigaciones— que hay motivos para reunir algunas compañías privadas con el INIFAP, Sanidad Vegetal, el Comité de

Bioseguridad, la Comisión Nacional de Biodiversidad y otras entidades. Esa sería una manera en la que podríamos reunirnos con el sector privado.

**N. Ellstrand:**

Realmente no hemos hablado mucho sobre la distribución del documento que saldrá de esta reunión, como un posible medio de acción. Si el documento contiene lo más importante de lo que escuchamos en estos días, pienso que sería poco común, en el sentido de que vendría a ser el documento más cuidadoso de este tipo que se haya producido. Esto es particularmente importante, porque los países que tienen centros de origen esperan un liderazgo cuidadoso, de allí que lo que estamos creando aquí podría resultar más poderoso de lo que pensamos y por tanto se debe distribuir de manera adecuada.

**R. Obando:**

Con el propósito de cerrar la reunión, primero quisiera felicitar a mí y después a ustedes porque siento que hemos hecho un muy buen trabajo durante estos tres días.

En lo personal, ha sido una gran experiencia —aun cuando no soy especialista en maíz ni tampoco biotecnólogo— ya que hemos aprendido mucho de ustedes. He visto la evolución de lo que se trató durante estos días y siento que se han puesto muchas bases en el camino por ser éste el primer Foro que trata el tema y en un cultivo tan importante como es el maíz para México.

Creo que estamos contribuyendo al avance de la ciencia y ojalá lo que salga de aquí sea la punta de lanza para fortalecer todo lo que se ha hecho en estos tres días a través de más y más investigación, que nos permita tomar mejores decisiones en el futuro, tanto como país como en el plano internacional.

## Resumen del Foro

### Presentaciones

#### Distribución del teocintle en México

El teocintle y su relación con el maíz ha sido motivo de estudio desde principios de este siglo. En México y Guatemala se han realizado exploraciones que han permitido la ubicación precisa, el conocimiento taxonómico y biogeográfico de las poblaciones y las diferentes razas de teocintle presentes en ambos países. En la actualidad se tienen identificadas más de 80 % de las poblaciones de teocintle cuyo germoplasma se conserva en bancos de instituciones de investigación y docencia como el INIFAP, el CIMMYT, el Colegio de Postgraduados y la Universidad Autónoma de Chapingo.

Las poblaciones más grandes de teocintle se ubican en la cuenca del río Balsas, en el área de Chalco-Amecameca en el estado de México, y en los estados de Michoacán y Guanajuato. Algunas poblaciones cubren sólo unas cuantas hectáreas en los estados de Oaxaca, Durango y en la región de Nabogame en el estado de Chihuahua.

En algunas regiones, el teocintle se usa como forraje cuando la planta aún no madura y se elimina del cultivo del maíz cuando esto ocurre. Sin embargo, se tiene información proporcionada por agricultores del estado de Jalisco que permite suponer que allí el teocintle se utiliza para el mejoramiento del maíz.

El cambio en el uso del suelo — en especial el pastoreo y la urbanización — es la principal amenaza contra el teocintle. En las últimas décadas se ha observado una reducción drástica de las poblaciones de teocintle y la amenaza de extinción es un peligro real. En este sentido, el maíz transgénico se podría considerar como una amenaza marginal en comparación con el efecto del crecimiento urbano.

#### Flujo genético entre el maíz y el teocintle, y del maíz criollo al mejorado

En trabajos exploratorios se han encontrado, con cierta frecuencia, plantas híbridas y generaciones avanzadas del cruzamiento entre maíz y teocintle. Pese a ello, la separación entre maíz y teocintle es muy consistente. Tal situación ha generado dudas acerca de la presencia de flujo genético entre maíz y teocintle cuando conviven de manera simpátrica. Los resultados de la caracterización de poblaciones mediante estudios de la constitución de nudos cromosómicos y análisis de isoenzimas conduce a interpretaciones en ambos sentidos, sin que se pueda separar con precisión el tipo de semejanza por razones filogenéticas o por la existencia de intercambio genético en fechas recientes.

El flujo genético libre entre poblaciones de maíz puede ser modificado por la incompatibilidad gametofítica, controlada por series alélicas, por medio de la cual se impide la polinización de manera selectiva debido a la dominancia y la interacción respectiva entre estigma y polen. Tal incompatibilidad se detectó entre algunos cruzamientos interraciales de maíz; al incluir al teocintle en este espectro, se ha detectado al menos otro locus que confiere efectos gametofíticos. Se necesita intensificar la investigación para conocer mejor los mecanismos que pudieran modificar la capacidad de cruzamiento entre maíz y teocintle así como la sobrevivencia y los mecanismos que controlan la permanencia de los descendientes de cruzamientos en sus generaciones avanzadas.

El movimiento de semillas de poblaciones de maíz nativo, dentro y entre comunidades campesinas que cultivan el mismo grupo racial de maíz, es dinámico. Los agricultores reconocen varias “clases” de maíz en sus comunidades y pueden intercambiar semilla entre predios que son propiedad del mismo grupo familiar,

o bien pueden conseguir semilla de sus vecinos o de localidades distantes para mantener la productividad de sus cultivos. Por otro lado, se ha documentado que el polen de maíz sembrado en lotes vecinos puede fecundar, al menos, plantas que se encuentren en los primeros 10 metros adyacentes al borde de los lotes contiguos. Esta situación, más la fuerte fragmentación de la tierra en México, permite que el flujo genético entre maíces de una región sea intenso.

La diversidad de los maíces nativos se ha mantenido en la mayoría de las regiones, con su dinámica genética originada por el movimiento tradicional de semillas. Aunque es escasa la información que se tiene, derivada de la comparación de maíces nativos colectados en diferentes épocas, ésta sugiere que la productividad ha mejorado con el tiempo. Se aduce que este incremento en la productividad de los maíces criollos se debe, principalmente, a la ganancia genética derivada de la selección de las mejores mazorcas para semilla, o bien merced a la introgresión de maíces mejorados.

### **Regulación y estimación de riesgos por la liberación de plantas transgénicas**

El criterio principal para el análisis de la liberación de plantas transgénicas en su centro de origen debe enfocarse hacia la búsqueda de un equilibrio entre los problemas ambientales y los posibles beneficios derivados de la liberación comercial de estos productos transgénicos.

En algunos cultivos, los estudios de campo indican que existe una alta probabilidad de intercambio genético entre plantas cultivadas y parientes silvestres. Se ha mencionado que es relativamente frecuente la generación de plantas híbridas en el campo, por lo que se considera que es importante estimar cuál es el riesgo implícito que conlleva la introducción de plantas transgénicas en áreas donde existen poblaciones de parientes silvestres del cultivo.

En este sentido, se pueden identificar dos consecuencias nocivas derivadas de la hibridación entre cultivos transgénicos y parientes silvestres. Una es la creación de malezas más persistentes y la otra es la extinción de la especie silvestre por vía de la hibridación.

Si bien no hay datos cuantitativos directos en relación con el intercambio genético entre plantas cultivadas y parientes silvestres, se deben considerar al menos dos aspectos fundamentales en este sentido: el efecto de los transgenes sobre la sobrevivencia de la progenie producida por el cruzamiento entre la variedad transgénica y el pariente silvestre, y el cambio en el valor adaptativo asociado a la presencia del transgene. Aunque no es posible anticipar todas las consecuencias de una tecnología nueva, el diseño de experimentos apropiados para la obtención de datos sólidos permitiría tomar decisiones con fundamento científico y así evitar la liberación de productos transgénicos inadecuados para el medio ambiente y, al mismo tiempo, permitir la liberación oportuna de otros.

En los Estados Unidos se han desregulado varios cultivos transgénicos, entre los que figura la calabaza, la cual tiene parientes silvestres en el sur de la Unión Americana. El fundamento del sistema normativo estadounidense establece que no es necesario probar si la biotecnología es segura o no, sino demostrar que las plantas transgénicas son tan seguras como otras variedades de plantas. En consecuencia, la resolución del gobierno de Estados Unidos para no regular algunos cultivos transgénicos se basó en la conclusión de que los efectos de los transgenes pudieran ser comparables a los producidos por la utilización del fitomejoramiento convencional.

## Conclusiones y recomendaciones de los grupos de discusión

### Grupo 1. Flujo genético, distribución y conservación de teocintle y maíz criollo.

El estudio de la introgresión entre maíz y teocintle se ha realizado utilizando tres tipos de análisis: a) morfológicos; b) cromosómicos (nudos y cromosomas especiales), y c) moleculares (variación isoenzimática). Sin embargo, en vista de la escasez de evidencias contundentes en cuanto a la ocurrencia de introgresión entre maíz y teocintle simpátricos y con el objetivo de tener un amplio margen de seguridad en la toma de decisiones prácticas, se recomienda adoptar la hipótesis de que sí ocurre la introgresión bidireccional entre maíz y teocintle, aun cuando ésta sea de baja frecuencia.

Se estima, al analizar la información disponible, que el flujo genético del maíz transgénico a las variedades nativas de maíz o al teocintle estaría influido por una gran cantidad de factores, que van desde el grado de cruzamiento entre el maíz transgénico y el maíz o teocintle locales, relacionado con factores como barreras de aislamiento, ploidía y épocas de floración, hasta factores políticos y culturales relacionados con la promoción y aceptación de las nuevas variedades. De lo anterior se infiere que la probabilidad de flujo genético entre maíz transgénico y criollo sería mucho mayor que la anticipada para el maíz transgénico y teocintle.

Los informes de los resultados de pruebas experimentales con maíces transgénicos, publicados hasta la fecha, indican que los genes transferidos presentan suficiente estabilidad, segregan en forma mendeliana, y no tienen efectos pleiotrópicos ni epistáticos. Sin embargo, se recomienda tener presente que los sistemas de producción y la utilización del maíz en Estados Unidos son muy diferentes a los de México, por lo que las evaluaciones del maíz transgénico y las técnicas seguidas para ello en el

primer país, no son necesariamente válidas para las condiciones del segundo. Se recomienda hacer estudios, cuidadosamente diseñados, para obtener información precisa y cuantitativa acerca del flujo genético entre especies y variedades del género *Zea*, antes de liberar comercialmente maíz transgénico en México, en vista de que no es posible anticipar los efectos, tanto favorables como desfavorables, que se producirían con las interacciones génicas entre los transgenes y los genes "nativos".

Se recomienda la designación de áreas que consideren diferentes niveles de riesgo para el establecimiento de pruebas de campo y experimentación con maíz transgénico. La supervisión de las pruebas de campo en las diferentes zonas de riesgo deberá ser realizada por personal profesional capacitado y autorizado.

Se deberán considerar algunas acciones complementarias para la preservación y el mantenimiento de la diversidad genética del maíz y el teocintle. En este sentido, se recomienda la conservación *ex situ* de germoplasma de maíz en instalaciones adecuadas para el almacenamiento a largo plazo. Además, se recomienda la construcción y operación en México de un Banco Nacional de Germoplasma Vegetal, no sólo para maíz, sino para todas las especies botánicas de importancia agrícola.

La diversidad del teocintle en condiciones *ex situ* es de aproximadamente 80% de la diversidad presente en México. Con anterioridad a la liberación comercial del maíz transgénico, se recomienda completar el 20% de las colecciones que faltan para tener la representatividad de la diversidad genética del teocintle en México. Además, se considera necesario iniciar un programa de monitoreo de las poblaciones de teocintle, con la participación de las instituciones locales, con el propósito de rescatar el conocimiento de las comunidades que están de alguna manera asociadas al manejo de este germoplasma.

La conservación *in situ* de ciertos tipos de teocintle está garantizada por la existencia y operación del área silvestre protegida en Manantlán, Jalisco, la cual ha considerado dentro de sus proyectos la conservación en finca de una población de *Z. diploperennis*. En cuanto a las demás poblaciones de teocintle, se deberán considerar propuestas similares a las de la Reserva de la Biosfera de Manantlán.

Se recomienda que las prioridades de investigación y conservación se orienten en primer lugar al maíz criollo y después al teocintle, ya que se anticipa que el flujo transgénico se daría en ese orden.

Es recomendable iniciar algunos trabajos de conservación y caracterización en maíz y teocintle en zonas contiguas o cercanas a los poblados que tienen un alto crecimiento demográfico y en aquéllos que están sujetos a cambios ecológicos importantes.

Se consideró que la liberación de maíz transgénico entraña riesgos, pero es necesario hacer un balance de riesgo y beneficio para determinar si los riesgos pueden ser mayores que los beneficios o viceversa, y para discernir cuáles son los efectos de unos y otros sobre los productores de diferentes niveles socioeconómicos.

## **Grupo 2. Investigaciones en el área de riesgo, impacto y bioseguridad.**

Los riesgos para el maíz criollo y el teocintle por la introducción del maíz transgénico, probablemente sean equivalentes al impacto que han tenido las variedades mejoradas e híbridos sobre los maíces nativos. Empero, no se puede anticipar o inferir el efecto de los transgenes sobre el teocintle, hasta que éstos se incorporen a su genoma.

Los transgenes que se han incorporado al maíz pudieran tener efectos pleiotrópicos en teocintle, lo que implicaría la posibilidad de cambios inesperados que pudieran ser benéficos para el maíz nativo, pero

letales o sumamente adversos para la capacidad reproductiva del teocintle. Por lo anterior, se recomienda que la investigación en esta área se enfoque hacia los transgenes y las plantas transgénicas que ya se encuentran disponibles o avanzados en su desarrollo, entre los cuales se identifican los siguientes: a) el maíz transgénico que expresa la proteína insecticida del gen de la  $\delta$ -endotoxina de *Bacillus thuringiensis*; en este caso se infiere que la presencia de individuos tolerantes a la  $\delta$ -endotoxina, podría contribuir al desarrollo de poblaciones de insectos resistentes al producto transgénico; b) el maíz transgénico con resistencia a herbicidas podría implicar para las poblaciones de teocintle dos tipos de situaciones: una situación de riesgo en el momento de la aplicación de herbicidas que acompañe a la introducción de variedades transgénicas resistentes a éstos, o bien, en otro escenario se supondría una ventaja adaptativa para el teocintle, conferida por la introgresión del transgene, lo cual le permitiría desarrollar una mayor capacidad de sobrevivencia e incrementar su potencialidad de convertirse en maleza.

Se recomienda la obtención de información complementaria acerca del tamaño efectivo, y sobre algunos aspectos básicos de la panmixia y de la capacidad reproductiva de las poblaciones de teocintle. Además, es necesario diseñar investigaciones para determinar las frecuencias del flujo genético, frecuencias de introgresión y el efecto de los transgenes incorporados al teocintle.

Para evaluar las consecuencias de la introducción de plantas transgénicas, se proponen experimentos para medir el grado de migración ( $m$ ) y el coeficiente selectivo ( $s$ ), dos parámetros relevantes que pueden utilizarse en modelos genéticos poblacionales y evolutivos.

Se proponen tres tipos de experimentos. El primero tiene que ver con los grados de hibridación para

calcular  $m$  y su variación. El segundo consistiría del análisis de introgresión para calcular la aptitud relativa del híbrido y el coeficiente selectivo del gene normal, independientemente del coeficiente selectivo del transgene. El tercero sería calcular el coeficiente selectivo del transgene en el híbrido. En los dos primeros tipos de experimentos no se utilizarían plantas transgénicas, por lo que se pueden hacer *in situ*. Las regiones de macro distribución de teocintle como la Mesa Central, la del Balsas y Chalco, serían seleccionadas para establecer las localidades experimentales, con dos repeticiones por cada localidad general, una *in situ*, y otra en una estación experimental local del INIFAP. Se recomienda el uso de marcadores codominantes para el estudio de las poblaciones experimentales seleccionadas en tanto que el tamaño de la muestra debe ser adecuado para determinar las diferencias biológicamente significativas. Adicionalmente, se sugiere utilizar como fuente de polen las plantas resistentes a herbicida obtenidas mediante métodos convencionales, con el fin de hacer comparaciones con materiales substancialmente equivalentes.

### **Grupo 3. Regulación y medidas de seguridad en las pruebas con maíz transgénico.**

Se llegó al consenso de que sí se pueden llevar a cabo pruebas de campo con el maíz transgénico en México, siempre y cuando se tomen medidas adecuadas para prevenir el flujo genético. Estas medidas dependerán de qué se quiere probar y de los objetivos de los ensayos propuestos, tomando siempre en cuenta que las medidas de seguridad propuestas pueden ser válidas para algunos genes, para algunas localidades y para épocas determinadas.

Se recomienda el análisis cuidadoso de las instituciones que pretendan llevar a cabo estas pruebas. Se tendrá que demostrar que disponen del personal científico y técnico adecuado para manejar las pruebas con el debido profesionalismo.

Se recomienda un seguimiento continuo de las pruebas y llevar una bitácora, siempre a disposición de los miembros del Comité Nacional de Bioseguridad Agrícola. Asimismo, deben establecerse mecanismos de acceso restringido y de vigilancia estricta en los sitios de prueba para evitar que salga material voluntaria o involuntariamente de estos lugares. Se recomienda crear un mecanismo y un cuerpo especial de seguimiento y vigilancia durante la fase de experimentación y prueba de campo con maíz transgénico en México. Deberán participar personas capacitadas de instituciones de investigación e inclusive de entidades no gubernamentales independientes y profesionalmente solventes.

La realización de pruebas de campo con material transgénico en centros de origen o diversidad se podrían aprovechar como oportunidades para ganar información, ya que no hay ninguna experiencia hasta ahora. Se recomienda evitar el círculo vicioso de prohibir todo por falta de información

El aislamiento ideal estaría dado en un área semidesértica como, por ejemplo, en la península de Baja California, donde no hay teocintle, casi no hay criollos, y el cultivo de maíz no es muy importante. En esa región, las barreras biológicas para el aislamiento, tal vez, no serían necesarias. Allí se podría contar con una área ideal para realizar este tipo de pruebas. En las áreas con mayor frecuencia de distribución de teocintle sería necesario tomar algunas medidas de aislamiento en el sitio experimental. Lo más sencillo, directo y fácil es el desespigamiento de las plantas. El aislamiento en el ámbito de los campos experimentales o centros de desarrollo de estos materiales es recomendable, porque se debe contar con infraestructura y con técnicos capacitados para realizar estos trabajos de una forma adecuada y responsable, y evitar el escape del polen.

Para lograr el aislamiento en campos de productores, conviene utilizar barreras físico-biológicas de contención de polen, las cuales podrían ser el mismo

cultivo, en este caso maíz, o la caña de azúcar en el caso de regiones tropicales y subtropicales. Si el material utilizado como barrera es de la misma especie, en este caso maíz, ni el grano ni el rastrojo deben usarse para alimento humano y/o animal. Si hay probabilidades de escape a través del grano o la semilla, debe destruirse el grano que se obtiene de las barreras. Alrededor del sitio experimental no debe sembrarse maíz en el ciclo siguiente al ensayo con el material transgénico. Además, se deberá regar y barbechar el campo para eliminar las plantas voluntarias al finalizar el ciclo del ensayo. Según experiencias de algunas instituciones que han ensayado material transgénico en campo, la polinización con material homólogo no transgénico rinde un buen nivel de seguridad e indudablemente evita gran parte del problema.

Las pruebas en localidades alejadas de regiones ricas en variedades criollas o teocintle pueden resultar imprácticas, por lo que se sugirió que las distancias de aislamiento entre parcelas con maíz transgénico y normal que se podrían manejar son del orden de 300 a 500 m, que son las utilizadas por las empresas productoras de semillas híbridas.

La liberación de maíz transgénico en México debe ser considerada como un caso especial y de gran importancia. El caso del maíz transgénico es diferente, no tanto en la etapa experimental, sino en la etapa de liberación comercial, en la cual no puede haber confinamiento. Tal vez el mayor problema se presentará cuando se llegue al momento de la desregulación del maíz transgénico y de su liberación como material comercial. Por tanto, se recomienda analizar cuidadosamente y por anticipado las consecuencias de la desregulación. La educación del público para que comprenda lo que está ocurriendo con la introducción del material transgénico, sería un paso importante en la transparencia de la toma de decisiones para la desregulación

Se recomienda que la investigación acerca del flujo de genes y análisis de riesgos biológicos derivados del uso y liberación de plantas transgénicas sea un trabajo interinstitucional coordinado. Es menester un trabajo de equipo donde participen biotecnólogos, biólogos moleculares, fitomejoradores y otros científicos que manejan la investigación desde disciplinas diversas.

## Participantes en el foro

### Dr. Ariel Alvarez Morales

Investigador Titular  
Departamento de Ingeniería Genética de Plantas  
CINVESTAV-IPN/Unidad Irapuato  
Km 9.6 del Libramiento Norte, Carretera Irapuato-León  
Apdo. Postal 629, Irapuato, Gto.  
C.P. 36500. MEXICO  
Tel: (462) 5-1600; 4-5846  
FAX: (462) 5-4856  
Email: alvarez@mvax1.red.cinvestav.mx

### Dr. Bruce Benz

Profesor Investigador Titular  
Instituto Manantlán de Ecología y Conservación de la Biodiversidad (IMEC BIO)  
Universidad de Guadalajara  
Valentín Velasco 253  
El Grullo, C.P. 48740, Jalisco, MEXICO  
En E.U.A., hasta Septiembre de 1996:  
BRIT  
509 Pecan Street  
Fort Worth, Texas, 76102. USA  
Tel: (817) 332-4441  
FAX: (817) 332-4112  
Email: bbenz@udgserv.cencar.udg.mx

### Dr. Robert Bird

Científico asociado  
CIMMYT, Int.  
Lisboa 27, Apdo 6-641  
06600 México, D.F.  
MEXICO  
Tel: (5) 726 9091  
FAX: (5) 726 7559  
Email: Rbird@cimmyt.mx

### Dr. Francisco Cárdenas Ramos

Programa de Recursos Genéticos (Jubilado)  
CEVAMEX/INIFAP Km 38.5 Carretera México-Veracruz, Vía Texcoco  
Apdo. 10, Chapingo,  
C.P. 56230 MEXICO  
Tel: (595) 4-28-99; 4-28-77  
FAX: (595) 4-68-25

### Dr. Guillermo Carrillo Castañeda

Profesor Investigador  
Colegio de Postgraduados  
Km 36.5 Carretera México-Texcoco  
Montecillo, C.P. 56230 Edo de México,  
MEXICO  
Tel: (595) 4-52-65  
FAX: (595) 4-57-23  
Email: carrillo@colpos.colpos.mx

### Dr. Fernando Castillo González

Profesor Investigador  
Departamento de Genética  
Colegio de Postgraduados  
Km 36.5 Carretera México-Texcoco  
Montecillo, C.P. 56230 Edo de México,  
MEXICO  
Tel: (595) 4-52-65  
FAX: (595) 4-57-23

### Dr. Norm Ellstrand

Profesor de Genética  
Department of Botany and Plant Sciences  
University of California  
Riverside, CA 92521-0124. U.S.A.  
Tel: (909) 787-4194  
FAX: (909) 787-4437  
Email: ellstrand@ucr.edu  
ellstrand@pop.ucr.edu

### Dra. Amanda Gálvez Mariscal

Profesora Investigadora Titular.  
Departamento de Alimentos y Biotecnología  
Lab-312, Edificio E, Facultad de Química.  
UNAM, Ciudad Universitaria,  
Coyoacán, 04510  
México, D.F. MEXICO.  
Tel: (5) 622-5306; (5) 622-3718  
FAX: (5) 622-3780; (5) 622-5305  
Email: galvez@servidor.unam.mx

### Dr. Major Goodman

Profesor  
Department of Crop Sciences  
Box 7620, Williams Hall  
North Carolina State University  
Raleigh, N.C. 27695 U.S.A.  
Tel: (919) 515-2704  
FAX: (919) 515-7959

### Dr. Juan Manuel Hernández Casillas

Investigador Titular.  
Programa de Recursos Genéticos  
CEVAMEX-INIFAP  
Km 38.5 Carretera México-Veracruz, Vía Texcoco  
Apdo. 10, Chapingo, Edo. de México  
C.P. 56230 MEXICO  
Tel: (595) 4-2499; 4-2877  
FAX: (595) 4-6528; 4-6728

### Dr. David Hoisington

Director del Laboratorio de Biotecnología Aplicada  
CIMMYT, Int.  
Lisboa 27, Apdo 6-641  
06600 México, D.F.  
MÉXICO  
Tel: (5) 726 9091  
FAX: (5) 726 7559  
Email: dhoisington@moon.cimmyt.mx

### M. Sc. Paul Julstrom,

Científico asociado/Asistente administrativo  
CIMMYT, Int.  
Lisboa 27, Apdo 6-641  
06600 México, D.F.  
MEXICO  
Tel: (5) 726 9091  
FAX: (5) 726 7559  
Email: pjulstrom@alphac.cimmyt.mx

### Dr. T. Angel Kato Y.

Profesor Investigador  
Colegio de Postgraduados  
Km 36.5 Carretera México-Texcoco  
Montecillo, Edo de México, MEXICO  
Tel: (595) 4-5265  
FAX: (595) 4-5723

### Dr. Jerry Kermicle

Profesor de Genética  
College of Agriculture and Life Sciences  
Rm 218, Henry Hall  
University of Wisconsin  
Madison, WI 53706 U.S.A.  
Tel: (608) 262-2153  
FAX: (608) 262-2976  
Email: blattner@macc.wisc.edu

**Biól. Jorge Larson**

Asesor del Secretario Ejecutivo  
Comisión Nacional para el Conocimiento y  
Uso de la Biodiversidad (CONABIO)  
Fernández Leal 43  
Barrio de la Concepción, Coyoacán,  
México, D.F. MÉXICO  
Tel:(5) 554-4332;  
FAX:(5) 554-1915  
Email:jlanson@xolo.conabio.gob.mx

**Dra. Dominique Louette**

Investigadora  
Instituto Manantlán de Ecología y  
Conservación de la Biodiversidad  
(IMECBIO)  
Universidad de Guadalajara  
Valentín Velasco 253  
El Grullo, C.P. 48740 Jalisco, MEXICO  
Tel: (338) 7-2748  
FAX: (338) 7-2749

**Ing. María de la Luz Mena Medina**

SAGDR/DGPA/SNICS  
Lope de Vega 125-8° Piso  
Col. Chapultepec Morales, C.P 11570  
México, D.F. MÉXICO  
Tel:(5) 250-6483  
FAX:(5) 250-7882; 254-5715

**Dr. Gregorio Martínez Valdés**

Relaciones Institucionales  
CIMMYT, Int.  
Lisboa 27, Apdo 6-641  
06600 México, D.F. MEXICO  
Tel: (5) 726 9091  
FAX: (5) 726 7559  
Email:gmartinez@cimmyt.mx

**Dr. Ramón Martínez Parra**

Vocal de la División Agrícola  
Instituto Nacional de Investigaciones  
Forestales y Agropecuarias  
Serapio Rendón 83  
Col. San Rafael, México D.F. MEXICO  
Tel: (5) 546-8959; 546-4439  
FAX: (5) 546-9020

**Dr. Raul Obando Rodríguez**

Director de Investigación Agrícola  
CIR-Centro. INIFAP  
Km 4.5 Carretera Toluca-Morelia  
Paseo Presidente A. López Mateos S/N  
Zinacantepec, Edo. de México.  
C.P. 51350 MEXICO  
Tel: (727) 8-00-29  
FAX: (727) 8-00-39

**Dr. Rafael Ortega Paczka**

Profesor Investigador  
Programas Regionales, Universidad  
Autónoma Chapingo  
Km 38.5 Carretera México-Texcoco  
Chapingo, Edo. de México  
C.P. 56230 MEXICO  
Tel: (595) 4-50-20  
FAX: (595) 4-63-36

**Dr. José Ron Parra**

Profesor-Investigador  
Universidad de Guadalajara-INIFAP  
Campo Agrícola Experimental Tlajomulco,  
Jalisco, MEXICO  
Tel: (377) 2-41-76  
FAX: (377) 2-40-51

**Dr. John Payne**

Director  
Biotechnology, Biologics and  
Environmental Protection  
BBEP / APHIS / USDA  
4700 River Road, Unit 49  
Riverside, MD 20737-1237 USA  
Tel: (301) 734-7602  
FAX: (301) 734-8724

**Dr. Rodolfo Quintero Ramírez**

Director  
Depto. de Bioingeniería  
Instituto de Biología, UNAM  
Apdo. 510-3, Col. Chamilpa  
Cuernavaca, Morelos C.P. 62271 MEXICO  
Tel:(731) 1-4900; 1-4700  
FAX:(731) 7-23-88  
Email:quintero@ibt.unam.mx

**Dr. Roger Rowe**

Subdirector General de Investigación  
CIMMYT, Int.  
Lisboa 27, Apdo 6-641  
06600 México, D.F. MEXICO  
Tel: (5) 726 9091  
FAX: (5) 726 7559  
Email:rrowe@cimmyt.mx

**Dr. Jesús Sánchez González**

Coordinador de Recursos Genéticos  
INIFAP/Campo Agrícola Experimental  
Tlajomulco, Jalisco, MEXICO  
Tel: (377) 2-4176  
FAX: (377) 2-4051  
En E.U. A. hasta diciembre de 1996:  
Department of Crop Science  
Box 7620, William Hall  
North Carolina State University  
Raleigh, NC 27695 USA  
Tel: (919) 515-2704  
Fax: (919) 515-7959  
Email:sanchez@unity.ncsu.edu

**Dr. José Antonio Serratos Hernández**

Programa de Biotecnología  
CEVAMEX-CIRCE-INIFAP.  
Km 38.5 Carretera México-Veracruz, Vía  
Texcoco. Apdo. Postal 10. Chapingo, 56230  
Edo. de México. MEXICO.  
Tel: (595) 4-2499, Ext. 142  
FAX: (595) 4-6528; (595) 4-6728  
Email:jaserrat@colpos.colpos.mx  
serratos@genes.icgeb.trieste.it

**Dr. Suketoshi Taba**

Jefe, Banco de Germoplasma de Maíz  
CIMMYT, Int.  
Lisboa 27, Apdo 6-641  
06600 México, D.F. MEXICO  
Tel: (5) 726 9091  
FAX: (5) 726 7559  
Email:staba@moon.cimmyt.mx

**Dr. Víctor Villalobos Arámbula**

Director  
CINVESTAV, I.P.N. - Unidad Irapuato  
Apdo. Postal 629, Irapuato, Gto.  
C.P. 36500 MEXICO  
Tel: (462) 5-16-00; 5-09-59  
FAX: (462) 5-48-46  
Email: vvilla@mvax1.red.cinvestav.mx

**Dr. Ivar Virgin**

Investigador  
Biotechnology Advisory Commission  
Stockholm Environment Institute  
Box 2142, Lilla Nygatan 1  
S-103 14 Stockholm,  
SWEDEN  
Tel: 8 723-0260  
FAX: 8 723-0348  
Email: seibac@nordnet.se

**Dr. Garrison Wilkes**

Profesor de Biología  
University of Massachusetts  
Boston, Mass 02125  
U.S.A.  
Tel: (617) 287-6662; 929-8448  
FAX: (617) 287-6650  
Email: wilkes@umb.sky.cc.umb.edu

**Dra. Martha Willcox**

Fitomejoradora de Germoplasma  
Transgénico  
CIMMYT, Int.  
Lisboa 27, Apdo 6-641  
06600 México, D.F.  
MÉXICO  
Tel: (5) 726 9091  
FAX: (5) 726 7559  
Email:mwillcox@alphac.cimmyt.mx