

Conservación y uso de la diversidad del maíz

Fidel Márquez Sánchez
Universidad Autónoma Chapingo

Introducción

Antes de hablar solamente de la conservación de la biodiversidad del maíz, es conveniente exponer qué es ésta y cómo se presenta en sus diferentes niveles, por lo menos en una forma general.

Para comenzar, la biodiversidad es la diversidad biológica, o sea, la de los seres vivos, de manera que prácticamente incurrimos en un pleonasma cuando nos referimos a la del maíz o la de cualquier otro ser vivo.

Aparte de esto, que puede ser sólo una impertinencia gramatical mía, diremos que la biodiversidad comienza al separar los dos grandes reinos animal y vegetal; prosigue en subreinos, ramas, familias, subfamilias, tribus, géneros, especies y subespecies, y probablemente se me ha escapado algún otro escalón taxonómico. Para efecto de nuestro tema, bastará decir que dentro de las especies pueden existir razas, subrazas, variedades, y en el caso del maíz, todo el complejo de poblaciones genéticamente mejoradas: variedades de polinización libre seleccionadas por selección recurrente, variedades compuestas, variedades sintéticas, híbridos simples, híbridos trilineales e híbridos dobles.

El maíz pertenece a la familia *Gramineae*, subfamilia *Panicoideae*, tribu *maideae* (o *Andropogoneae* si se juntan ésta y *Maydeae*), género *Zea* y especie *mays* (Stebbins y Crampton, 1961). Las diferencias que puedan existir con respecto a esta clasificación se las dejamos, desde luego, a los expertos; para nuestros fines lo aquí expresado es suficiente.

Conservación ¿para qué?

Es obvio que toda actividad del ser humano tiene una finalidad para él, por lo que por definición es antropocéntrica. En el caso de la conservación de la diversidad, sin embargo, tendremos que plantearnos algunas interrogantes y adoptar ciertas posturas para poder acotar lo que queremos que sea posible, lo que puede ser posible, es decir, el deseo de satisfacción, el límite natural y el límite práctico.

En los recursos genéticos naturales el objetivo obvio de la conservación de la biodiversidad es mantener el equilibrio entre los diferentes componentes del ecosistema, equilibrio que al romperse puede causar daños insospechados y muchas veces irreversibles. Esto significaría que en el ámbito natural no debería tocarse, para nada, al ecosistema. Pero como todos sabemos esto es contradictorio a la esencia y presencia del hombre, al ser él mismo parte del ecosistema. Por lo tanto, en el caso de los recursos naturales bastaría con mantener un grado de equilibrio en el que la explotación racional cause el menor daño posible y que en el peor de los casos éste no sea irreversible.

En el caso de los recursos cultivados, las plantas agrícolas y los animales domesticados, aparentemente el problema es menor. Al ser estos recursos fundamentales para el hombre por proporcionar, en su gran mayoría directa o indirectamente, su sostén, alimentarlo, o sea el sostén de su vida, se esperaría que fueran, además de grandemente apreciados, también satisfactoriamente conservados. La frase *si algo es útil tiene que*

conservarse, frecuentemente por razones que después analizaremos, no funciona del todo en este caso.

Tenemos entonces que ver y discutir cuál es el alcance de la conservación de los recursos genéticos cultivados y, posteriormente, en qué grado corresponde hacer su conservación y realizar su aprovechamiento.

La diferencia básica entre los recursos naturales y los recursos cultivados es que éstos son el resultado de un proceso de domesticación de algún ancestro de aquéllos. Esto entraña varias cosas, entre otras la creación de diversidad, adicional a la diversidad natural cuantitativa y cualitativamente hablando, que resulta en un valor agregado por concepto de la domesticación, la selección empírica y el mejoramiento genético científico. Esto confiere a los recursos una mayor especificidad en cuanto a su aprovechamiento espacial y temporal, y una mucho mayor inversión económica en su utilización. Sin embargo, por estas razones y quizá otras, el incremento de la diversidad arriba señalado es sólo, si no efímero, sí temporal. Del mar de genotipos que llegan a obtenerse por acción del hombre en el proceso de domesticación, selección empírica y mejoramiento genético científico, sólo una porción relativamente pequeña, sobrevive genéticamente a las exigencias de su utilización, sea ésta para el autoconsumo o para la comercialización.

En conclusión, el mantenimiento de la biodiversidad, o el evitar la erosión genética, tiene por objeto la disponibilidad amplia de genotipos para satisfacer las necesidades del hombre no sólo a través de la domesticación y la selección empírica, sino también por medio del mejoramiento científico moderno; esto último, sin embargo, si bien conduce a un enriquecimiento considerable de la variación genética, ésta es sólo temporal, pues la fuerte presión de selección y el constante cambio de

los arquetipos deseados por la agricultura, hace que se de una eliminación constante de los genotipos seleccionados por llegar a ser obsoletos para los fines que fueron creados.

Pasemos ahora a analizar los diferentes niveles de diversidad en el maíz.

Razas, subrazas y variedades

A diferencia de otros recursos cultivados como el algodón, el café, el trigo y otros, el maíz comprende sólo a una especie. Su variación, hasta donde se sabe, en un primer nivel sólo corresponde a la categoría de razas o razas territoriales como se les llama en inglés. En México, el primer estudio sistemático sobre la clasificación de razas, arrojó un mínimo de 25 (Wellhausen *et al.*, 1951). Estudios posteriores han arrojados 5 razas más para el norte y noroeste de México (Hernández X. y Alanís, 1970), y 9 más para el estado de Chiapas (Ortega, 1973). De esta suerte, las anteriores 39, más 7 razas pobremente definidas y 4 consideradas como subrazas (Wellhausen *et al.*, 1951), hacen un total de 50 razas que fueron incluidas en la investigación doctoral de Sánchez (1989).

Ahora bien, como hemos mencionado de pasada, en cada raza existen subrazas y variedades, dependiendo del grado de finura del sistema de clasificación que se use. Sin embargo, además de la diversidad alélica que veremos enseguida, existen dos causas más en la variación racial del maíz: el cruzamiento entre razas más antiguas que dan lugar a nuevas razas y la adaptación de los maíces a nuevos nichos ecológicos (Hernández X. y Alanís, 1970). Ambos factores pueden también aplicarse a la formación de variedades dentro de una raza, por lo que la riqueza varietal que se genera será tan rica como lo sea el grado de cruzamiento entre las variedades y la diversidad de los nichos ecológicos, esperándose que dentro de éstos,

adecuadamente definidos, sólo exista diversidad varietal.

Es indudable que la variación genética a nivel racial se origina de las mutaciones alélicas en los diferentes loci que determinan el genomio del maíz, del cruzamiento entre razas y de la variación entre las frecuencias alélicas del conjunto de caracteres determinantes de las razas. Se trataría pues de variación a nivel cuali y cuantitativo; la primera debida a la diversidad de alelos causados por las mutaciones, y la segunda causada por la variación de la presión de selección natural (existencia de diversidad de nichos ecológicos) y de la selección artificial (domesticación). Es presumible, por otra parte, que las diferencias entre subrazas se deban más a diferencias de un sólo carácter, como se muestra para Harinoso de 8 y Harinoso de 8 Cristalino, y para Tabloncillo y Tabloncillo Perla; o bien a diferencias en adaptación como Nal-tel y Nal-tel de altura, y Tuxpeño y Tuxpeño Norteño.

Ya dentro de razas más o menos establecidas, la diversidad varietal se deberá a las diferencias en las frecuencias génicas de los relativamente pocos alelos representativos de las razas. Esta variación obedecerá en mayor proporción, más a la presión de selección empírica que se practique dentro de los nichos ecológicos que al cruzamiento, sea entre variedades de la misma raza o entre éstas y variedades de otras razas que se introduzcan al nicho ecológico.

Precisamente, a pesar de la sustitución de las variedades criollas por poblaciones mejoradas, se ha observado (Ortega, 1979) que hubo más variación del maíz en Chiapas que la que se había observado años antes. Dado lo relativamente corto que fue el espacio de tiempo en que se hizo esta observación como para atribuir dicho incremento en la variación a las mutaciones, es más plausible que se deba al cruzamiento entre las variedades exis-

tentes (al menos que no se cruzaran entre sí), o a la introducción de nuevas variedades o poblaciones mejoradas como lo han demostrado Louette y Smale (1996). Sin embargo, en el caso de que tal variación se haya producido por cruzamiento, hay que estar consciente de que si bien se incrementó el polimorfismo, o sea la existencia de más formas, lo que puede tomarse como un incremento en la variación, desde el punto de vista de la varianza estadística ésta es la misma en lo que se refiere a caracteres con herencia intermedia, o con acción génica aditiva.

Variación a nivel cromosómico y molecular

La diversidad racial debida a la presión de selección ambiental es tan específica que estudios recientes citados por Peterson (1994) la atribuyen a paquetes de alelos específicos para la adaptación a ambientes también específicos. Esta es la llamada teoría de los casetes. Se ha encontrado así que la presencia de transposones (genes saltarines) induce el mutacionismo a nivel molecular produciendo variaciones alélicas, y que la presencia de transposones es ubicua en las poblaciones de maíz, al grado de que líneas calificadas como líneas élite, poseen en buena proporción los mismos transposones en mayor frecuencia que líneas no élite. Por lo tanto, no es de extrañarse que en la actualidad toda revista científica que se respete, en el campo del mejoramiento genético, exija que las evaluaciones del material mejorado se lleven a cabo en un gran número de ambientes para poder separar de los efectos fenotípicos las componentes genética, ambiental y de interacción genético-ambiental. Desde el punto de vista de la conservación de la biodiversidad, lo anterior permitirá en el futuro hacer una más completa clasificación de ella al separar con más nitidez las diferentes componentes mencionadas.

Fuentes de variación a nivel cromosómico son las inversiones, las duplicaciones y las deleciones en segmentos cromosómicos que producen nuevas formas genotípicas en los descendientes, distintas a las que tendrían lugar si tales irregularidades no existieran. Pero sin lugar a dudas, la fuente más importante en relación al cruzamiento como causa de diversidad genética es la recombinación génica, cuya expresión física es el entrecruzamiento cromosómico o 'crossing over' en inglés, en segmentos homólogos de cromosomas lo que permite la formación de nuevos genotipos no existentes en los progenitores. Más sorprendente aún como fuente no del todo percibido de la variación genética, es el entrecruzamiento desigual que tiene lugar en segmentos cromosómicos no homólogos (Rassmuson y Phillips, 1997).

En cuanto a la variación a nivel molecular, se tienen, las deleciones, inserciones y transiciones que ocurren entre las bases del ADN, originando cambios en las componentes de los codones que conducen a cambios génicos (mutaciones) que se reflejan en el genotipo y en el fenotipo. Como dijimos, los transposones con su ubicuidad varietal y cromosómica parecen ser una fuente importante de este tipo de variación.

Variación cuantitativa

La variación genética cuantitativa se clasifica en aditiva, dominante y de interacción entre loci (o epistasis cuantitativa). La epistasis tiene tres formas: aditiva x aditiva, aditiva x dominante y dominante x dominante. En cuanto a la acción génica de sobredominancia, la evidencia va demostrando cada vez más fuertemente que no existe, o que es muy rara. Los estudios genético-cuantitativos indican que la mayor parte de la variación genética es aditiva, siguiendo la dominante y luego la epistática; con relación a esta última, Crow (1997) ha señalado su mayor importancia que la que se le acreditaba en el fenómeno del vigor

híbrido o heterosis en maíz. Esta mayor importancia de la epistasis también se ha atribuido a la persistencia de variación genética en el mejoramiento que ha usado materiales emparentados, con lo cual se espera que la respuesta a la selección sea menor que si no lo fueran (Rassmuson y Phillips, 1997).

Conservación del germoplasma

Puede decirse que los métodos fundamentales son la conservación *in situ* y la conservación *ex situ*. Cualquier otra forma cae dentro de uno y otro de éstos.

Conservación ex situ

La conservación *ex situ* es la más usada por quienes se dedican profesionalmente a la conservación de la biodiversidad. Consiste en obtener muestras de los propágulos de la población por conservar y mantener su viabilidad por plazos más o menos largos por medio de algunas de las técnicas disponibles. Es necesario, sin embargo, renovar o refrescar las muestras a fin de mantener la viabilidad de los propágulos. Lo más común es que éstos sean semillas, aunque también pueden ser tejidos, células e, inclusive, segmentos de ADN. En la conservación por semillas éstas se guardan en recipientes cerrados que pueden ser frascos o latas metálicas, de un tamaño adecuado al nivel de variación y a los propósitos de la conservación. Para mantener la viabilidad, la conservación se hace bajo condiciones de refrigeración entre 0 y 5 grados centígrados o 4 grados centígrados siendo los cereales, como el maíz, los que tienen mayores periodos de longevidad. La conservación a temperaturas ultrabajas (- 40 a -196 grados centígrados) puede usarse tanto para semillas y polen como para células aisladas y tejidos (Querol, 1988), En este aspecto de la conservación el enfriamiento puede ser muy rápido con formación de hielo en el interior de las células (500 a 1500 grados centígrados por segundo) o puede ser gradual con deshidra-

tación simultánea, obteniéndose células a temperaturas inferiores a -80 grados centígrados sin formación de hielo en su interior. Lo primero se utiliza sobre todo en semillas, mientras que lo segundo se usa para tejidos con alto contenido de agua, como es el caso de cultivos de tejidos.

Por último, aunque confieso que no recabé información al respecto, se tendría la conservación a nivel molecular, la conservación del ADN como genomio completo o como segmentos, ya sea en plantas o en poblaciones. Aquí entrarían segmentos conteniendo genes simples o cualitativos y se esperaría lo mismo para genes cuantitativos, pues ya ha sido posible ubicar estos QTL (Quantitative Trait Loci) en los segmentos cromosómicos del maíz. En este sentido, los llamados ahora bancos de germoplasma serían bancos de genes, en los cuales, a voluntad, se podrían solicitar tales o cuales genes cualitativos o cuantitativos para determinados propósitos. De hecho esto se está haciendo ya, justamente con la formación de variedades transgénicas pues, al insertar genes en un genomio que no los contiene, estos deben venir de algún lugar en que se han almacenado, por así decirlo.

Por la naturaleza misma de la conservación *ex situ*, estará claro que sólo cantidades limitadas de propágulo, o muestras, se dispondrán con tal fin. Esto tiene dos características limitantes cuando se trata de conservar poblaciones: la representatividad y el estaticismo. Lo primero es un problema de muestreo, el que puede ser insuficiente como para representar genotípicamente a la población. Cuando el tamaño de muestra es pequeño (decenas más que centenas, según Falconer, 1961) las muestras, en sus sucesivas generaciones reproductivas (lo que lleva implícito su conservación) sufren del fenómeno genético conocido como deriva génica (Falconer, 1961) Para un gen dado esto significa que es impredecible la forma en que van cambiando las frecuencias génicas a

lo largo de las generaciones, siendo entonces esto un fenómeno aleatorio que se manifiesta con mayor intensidad mientras más pequeña sea la muestra. Esto conduce tarde o temprano a la fijación del gene en cuestión, pero lo peor es que conduzca alternativamente a su desaparición, fenómeno general que se llama fijación (Falconer, 1961).

Por otra parte, a la par va teniendo lugar el fenómeno genético-cuantitativo llamado endogamia o consanguinidad, con sus consiguientes efectos detrimentales en el vigor, rendimiento, resistencia, etc. de las plantas, para no hablar también de la pérdida de genes en forma aleatoria. Así, Omolo y Russeli (1971), calcularon empíricamente que para evitar tales cuestiones se requieren muestras mínimas de 200 plantas reproductoras en el maíz. Si consideramos que en los bancos de germoplasma frecuentemente la conservación se hace con muestras de 350 gramos y que al hacer un refrescamiento se utiliza sólo parte de dicha muestra, y si a esto se añaden los problemas de germinación, nacencia y polinización incompletas, entonces podemos darnos cuenta que la muestra finalmente usada para tal propósito puede distar en mucho de lo requerido con fines de representatividad y de evitar la endogamia, la cual, una vez establecida es irreversible. Por lo tanto, si bien la deriva génica va haciendo variar a la muestra durante las generaciones de mantenimiento, y por lo tanto va cambiando la estructura genotípica de la población, lo que podría parecer bueno desde el punto de vista dinámico, evolucionario, como podemos darnos cuenta esto va teniendo lugar en forma negativa.

Conservación *in situ*

La forma positiva del cambio en las poblaciones a través del tiempo es precisamente lo contrario de como lo describimos en las últimas líneas; en lugar de tener un proceso

endogámico, tener un proceso exogámico de mantenimiento, que implica poblaciones grandes (centenas en lugar de decenas) y la introducción de germoplasma.

Según Wellhausen *et al.* (1951), algunas de las razas de maíz de México se han originado por cruzamiento de otras. Por ejemplo, en la raza Celaya han intervenido nueve razas además del teocintle. Esto, desde luego, ha tenido lugar en el campo (*in situ*) por la proximidad espacial y/o temporal entre las razas lo que permite su cruzamiento por polinización libre, o también, consciente o inconscientemente, por parte del campesino usando poblaciones introducidas sea por simple curiosidad o para 'refrescar' a sus variedades, una forma de contrarrestar a la endogamia, y en este sentido él ha ejercido como mejorador o como hibridador. Esto, como podemos captarlo fácilmente, es una forma evolucionaria, dinámica, del mantenimiento del maíz, y, como hemos dicho atrás, se ha constatado al observarse la existencia de mayor diversidad varietal en un momento dado en relación a la que existía años atrás. Esto no nos dice otra cosa sino que en el campo, *in situ*, la conservación es dinámica o evolucionaria, lo cual no puede llevarse a cabo, o por lo menos se haría con mayor dificultad y costo, en la conservación *ex situ*.

La conservación *in situ* también se ha presentado en una forma ortodoxa conservadora, valga la aparente redundancia. Como se trata de conservar en el sentido conservador, no conservacionista, entonces tanto desde el punto de vista genético como del ambiental, las condiciones no deben cambiar para garantizar que, precisamente, se conserven conservadoramente a las poblaciones. Esto, además de que prácticamente es imposible, conlleva que no haya más enriquecimiento de la diversidad genética, al limitarse dos de los agentes que lo propician: el cruzamiento y la presión de selección ambiental.

Podemos entonces decir que la agricultura campesina en sí es la forma más dinámica, más evolucionaria, de la conservación de la biodiversidad *in situ*. Pero no nos alegremos del todo, pues si no se toman medidas para conservar las poblaciones básicas, las razas, de las que se originaron las variedades actuales, las buenas o insospechadas características de aquéllas pueden diluirse en grado extremo en la gran masa de variedades producto del cruzamiento entre las razas, de manera que a la larga, en una región dada en que se practique la agricultura campesina se tengan sólo unas pocas poblaciones generadas panmícticamente. Puede —argüiré— que hasta ahora esto no ha sucedido y que, por el contrario, la introducción de variedades garantiza que aquello no se de, pero se puede contra argüir que lo que está sucediendo en aquella región dada suceda también en otras cercanas o distantes, de manera que este reflujo múltiple también llegue a conducir a la formación panmíctica de unas cuantas poblaciones no muy diferentes entre sí, y de las cuales sea más difícil disponer de genes favorables que si las poblaciones de las cuales se derivaron las pocas poblaciones panmícticas se hubieran mantenido por separado. Este fenómeno es el mismo que tiene lugar en la formación de variedades compuestas, aunque en menor grado, porque éstas se forman con el agrupamiento de variedades similares, por lo que se espera que no haya tal dilución extrema de los genes.

Por otra parte, en la conservación *in situ*, aparte de las disquisiciones de los renglones anteriormente inmediatos, y que entrañan preocupaciones reales o supuestas, un hecho que sí es pertinente de consideración es que conforme avanza el desarrollo económico, se espera que los campesinos cambien sus variedades criollas por variedades mejoradas a un grado tal que aquéllas puedan ser sustituidas totalmente por éstas. Tenemos así al-

gunas razas que cada vez más van desapareciendo como cultivares por tal motivo, como la Harinoso de 8, Jala, Tabloncillo y Celaya, precisamente en áreas en las que la agricultura no campesina ha irrumpido con más o menos violencia, como son los casos de Sonora, Nayarit y Jalisco, para tales razas. Podría contra argumentarse, en la misma línea de análisis, que en la agricultura campesina, en regiones en donde coexisten variedades criollas e híbridos comerciales, también se podría dar la conservación dinámica o evolucionaría y tener así nuevas poblaciones que fueran combinaciones entre híbridos y criollos. De hecho esto se da, y se tienen así los llamados híbridos acriollados, resultantes de generaciones avanzadas de híbridos F1 o del cruzamiento entre éstas y aquéllas, como es el caso de la variedad 'Rocamei' en Chiapas, en que el híbrido participante ha de haber sido el Rocamex H-501 o el Rocamex H-503 de la Oficina de Estudios Especiales, SAG, en el que la corrupción de la palabra Rocamex condujo a la de Rocamei; o bien el caso de los maíces mejorados por el propio agricultor en la región del cañón de Tlaltenango, Zacatecas, a partir de híbridos de los valles altos y sus cruza (Márquez, 1988); lo mismo nos presenta Ortega (1973) quien encontró un buen número de poblaciones resultantes del cruzamiento entre variedades criollas e híbridos comerciales. Sin embargo, aquel planteamiento no es así de simple; el arrollador sistema empresarial puede hacer desaparecer totalmente al germoplasma criollo, de manera que al final nos quedemos sin miel y sin chicha, es decir, sin criollo y sin híbridos acriollados.

Otra forma de conservación *in situ* es la llamada conservación participativa. En ésta el campesino participa en el mejoramiento de las poblaciones que en forma un tanto cruda le entregan los fitomejoradores. Ortega (comunicación personal) informa que su grupo de trabajo ha entregado a los campesinos pobla-

ciones con tres cuartas partes de germoplasma criollo y una cuarta parte de germoplasma mejorado (adelante veremos en detalle este método) para que ellos mejoren a dichas poblaciones por medio de métodos genotécnicos sencillos como lo es la selección masal. Estará claro que este tipo de conservación *in situ* es dinámica evolucionaría.

Conservación dinámica genotecnia

Hace 46 años se escribió el libro "Razas de Maíz en México" que hemos venido citando atrás, de Wellhausen y colaboradores (1951). En éste se asentaba como propósito central, no uno meramente académico, sino uno eminentemente práctico: el de conocer el germoplasma racial del maíz con propósito de aprovecharlo en el mejoramiento genético, o lo que llamamos ahora, en el aprovechamiento genotécnico. Desde ese entonces, en que se documentaron 25 razas, hasta ahora, en que ya se han documentado 50 (Sánchez, 1989), sólo 4 se aprovechan intensamente en el mejoramiento genético: Chalqueño para las tierras altas del centro del país, Cónico para la misma región, con una mayor precocidad, Tuxpeño para las tierras bajas y húmedas del Golfo y Celaya para la región de El Bajío y regiones aledañas de Jalisco y Michoacán. En menor proporción se usa Bolita en Oaxaca y Comiteco en Chiapas.

Esto significa que escasamente se usa el 10% de las razas de maíz de México, o lo que es lo mismo, de nuestra riqueza racial. Si de las 45 razas restantes todavía se cultiva una buena proporción en sus lugares de origen, ¿cómo es que no se les ha atendido por el mejoramiento genético? La razón es, en primer lugar, que las 4 razas citadas son realmente sobresalientes y que no ha habido necesidad, en cuanto a la disminución de su variación por dicha causa, de echar mano de otras razas; pero también, la razón más poderosa es, que a pesar de que las 45 razas, o algunas de

ellas, tienen características deseables en sus lugares de origen, como es el caso de mazorca grande en Jala, Comiteco y Amarillo Zamorano, o alto rendimiento como Tehua y Tepecintle, tienen como desventajas adaptabilidad estrecha, y un indeseable arquetipo de planta principalmente en lo que se refiere a altura de planta y tardiedad, lo que las hace no aceptables para el mejoramiento genético, sobre todo para fines de la agricultura moderna.

Por otra parte, hay muchos estudios sobre cruzamientos interraciales, el más completo el de Crossa *et al.* (1990), que muestran el alto porcentaje de heterosis, del orden del 30%, que existe en tales cruzamientos; heterosis interracial que tampoco ha sido explotada. Así, razas que como tales no rinden gran cosa, en sus cruzas con otras muestran resultados sorprendentes.

Por lo tanto, bajo estas consideraciones, en el Centro Nacional de Rescate y Mejoramiento de Maíces Criollos (CENREMMAC), del Centro Regional Universitario de Occidente, con sede en Guadalajara, Jal., perteneciente a la Universidad Autónoma Chapingo, hace cinco años que iniciamos un programa de mejoramiento de las 50 razas de maíz de México, documentadas por Sánchez (1989). (Este proyecto en los dos últimos años ha sido financiado por CONACYT, siendo su número clave I8I8P-B). El propósito de tal programa es dual: primero, obtener variedades mejoradas de polinización libre para la agricultura campesina; y segundo, con las razas mejoradas sobresalientes iniciar un programa de hibridación interracial para la agricultura empresarial.

Como, por otra parte, también nos interesa conservar el germoplasma racial en cierta proporción, la estrategia seguida es incorporar sólo la cuarta parte de la población mejorada (M) y mantener tres cuartas partes de la raza original (R). Esto lo logramos haciendo una sola retrocruza hacia la raza. El método con-

siste entonces en hacer la cruza R x M, obteniéndose así la retrocruza cero en F1, RC0-F1; en esta generación hacer recombinación aleatoria para propiciar la aparición de segregantes deseables en la siguiente generación, la RC0-F2; dichos segregantes se cruzan entonces con la raza, obteniéndose así la RC1-F1, y de ahí en adelante, en cada generación hacer recombinación genética por medio de cruza planta a planta, directa y recíproca sólo entre los segregantes deseables. Cada par de plantas que integran cada cruza se examina en la cosecha en cuanto a su tamaño y probable rendimiento de mazorca, de manera que sólo se seleccionan pares en los que ambas mazorcas sean sobresalientes. Al cabo de varias generaciones, como no ha habido ninguna retrocruza más se tiene poblaciones '3/4'. El avance generacional como se ha descrito a partir de la RC1-F1, se suspende una vez que se tiene una homogeneidad aceptable de la población. Si todo ha marchado bien, ésta puede usarse ya como variedad mejorada, o bien puede ser sometida adicionalmente a varios ciclos de selección recurrente sea en la localidad de mejoramiento, o sea en el lugar de origen de la raza para posible readaptación.

A la fecha, con las 10 razas más importantes del Pacífico y del Sureste de México, nos encontramos en la etapa de RC1-F7, y en las 40 restantes razas en la etapa RC1-F4. En una evaluación reciente (Márquez *et al.*, 1997) en La Barca, Jal. y en Cotaxtla, Ver., de las 10 razas en F5, sólo en dos casos (Harinoso de 8, común en ambos lugares) el mejoramiento fue negativo; en todos los demás casos el mejoramiento varió desde 4 hasta el 28 % en La Barca, y desde 7.3 hasta 44.4% en Cotaxtla. La reducción promedio de altura fue de 24 y 11 cm en La Barca y en Cotaxtla, respectivamente, teniéndose las máximas reducciones en Jala (80 cm) en la Barca y en Vandefío (39 cm) en Cotaxtla.

Las restantes 40 razas retrocruzadas no han sido sometidas a evaluación experimental. Sin embargo, en la demostración de campo celebrada el 8 del presente, los visitantes concordaron en que por lo menos visualmente había tenido lugar un mejoramiento sustancial.

Discutamos ahora, cómo se integra esta estrategia del mejoramiento genético por retrocruza limitada, en la conservación de la diversidad del maíz.

Habíamos dicho que la conservación *in situ* por la agricultura campesina es dinámica, si bien está sujeta a sufrir el embate de la agricultura más avanzada. Si se logra que los campesinos acepten nuestras variedades retrocruzadas, tendrán lugar dos fenómenos dignos de ser analizados: primero, que al ser variedades de polinización libre pueden caer también dentro de la conservación dinámica, pues no necesariamente aquéllos tienen que renovar su semilla año tras año, con la que ellos mismos cosechen tendrán más que suficiente prácticamente a ningún costo; y, segundo, que estará en juego en las siembras un mayor número de razas participantes tanto en el mejoramiento genético como en el cultivo real en la agricultura campesina. Esto además, tiene la ventaja de ofrecer una mayor diversidad genética a los factores adversos ambientales, principalmente a los fitopatológicos, lo que haría a la región en su conjunto (o a las regiones) mucho menos frágiles a tal adversidad. Por otra parte, en la agricultura empresarial, si bien no habrá conservación *in situ* dinámica, porque la semilla híbrida tiene que comprarse año tras año, también se tendrá una mayor diversidad genética con la cual enfrentar las condiciones cambiantes adversas del medio ambiente tanto en espacio como en tiempo.

Sin embargo, lo más importante, implícito en el último párrafo, es que para obtener tales variedades retrocruzadas e híbridos inter-

fasales, se estará echando mano, si no de todas, si de las restantes 40 razas retrocruzadas que no han sido sometidas a evaluación experimental.

Conclusiones

Para trazarse una estrategia de conservación de la diversidad del maíz, debe plantearse una política de su aprovechamiento y concomitantemente, del uso de los recursos físicos y humanos con que se cuente o hagan falta para conservar el material básico necesario para tal aprovechamiento.

La conservación *in situ* participativa es el medio que garantiza más la permanencia del germoplasma criollo, aunque lleva implícita la consecución de recursos humanos entrenados para tal fin, y sistemas de organización y seguimiento de los cuales no se tiene gran experiencia en los países poseedores de la riqueza germoplásmica, principalmente nuestros países subdesarrollados latinoamericanos.

La conservación por vía agrícola campesina sería mejor en el sentido conservacionista *in situ*, si no entrañara el riesgo de la desaparición de razas y variedades como consecuencia de su substitución por poblaciones mejoradas, lo cual es inevitable hasta cierto punto sobre todo en regiones agrícolas de gran potencia a las cuales falta sólo el capital necesario para hacer efectiva dicha potencialidad.

La obtención y cultivo de variedades retrocruzadas en las que intervengan un gran número de razas, además de ofrecer en la agricultura campesina y empresarial una gran diversidad alélica que garantice una mayor fortaleza (menor fragilidad) a las condiciones cambiantes en espacio y tiempo de los medios biológico y físico garantizando la conservación del germoplasma, por tener que usarse necesariamente a las razas originales como pobla-

ciones base del mejoramiento genético con tal enfoque.

Por lo tanto, no puede decirse que existe un método de conservación mejor que otros, pues de acuerdo a lo enunciado, dependerá de los recursos físicos y humanos con que se cuente, de la gravedad del problema y del uso que se le de al germoplasma, su estrategia y métodos de conservación.

Bibliografía

- Crow, J.F. 1997. Dominance and overdominance. En: CIMMYT. 1997. *Book of abstracts. The Genetics and Exploitation of Heterosis in crops: an international symposium*. México, D.F. México. p. 10.
- Falconer, D. S. 1961. *Introduction to Quantitative Genetics*. The Ronald Press Company, New York. 365 pp.
- Hernández X., E. y G. Alanís F. 1970. Estudio morfológico de cinco nuevas razas de maíz de la Sierra Madre Occidental. Aplicaciones filogenéticas y fitogeográficas. *Agrociencia* 5 (1):3-30.
- Louette, D. and M. Smale. 1996. Genetic diversity and maize seed management in a traditional mexican community: implications for *in situ* conservation of maize. NRG paper 96-03. CIMMYT. México, D.F.
- Márquez S., F. 1988. *Genotecnia Vegetal*. Tomo II. AGT Editor., S.A. México, D.F.
- Márquez S., F., L. Sahagún-Castellanos, J. A. Carrera-Valtierra, and E. Barrera-Gutiérrez. 1997. Heterosis in backcrosses of 10 mexican maize races. En: CIMMYT. 1997. *Book of abstracts. The Genetics and Exploitation of Heterosis in crops: an international symposium*. México, D.F. México. p. 300.
- Omolo, E. and W. A. Russeli. 1971. *Genetic effects of population size in the reproduction of two heterogeneous maize populations*. Iowa State J. Sci. 45:499-512.
- Ortega P., R.A. 1973. Variación en maíz y cambios socioeconómicos en Chiapas, México. 1946-1971. Tesis de Maestro en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Chapingo, Méx.
- Ortega P., R.A. 1979. Reestudio de las razas mexicanas de maíz. Informe anual. Campo Agríc. Exp. de la Mesa Central, INIA, Chapingo, Méx.
- Peterson, P. A. 1994. Transposons in maize and their role in creating variability. En: Baenziger, P.S. (ed), *Internacional Crop Science Congress I*. Madison, Wisconsin. pp. 641-645.
- Querol L., D. 1988. Recursos genéticos, nuestro tesoro olvidado. Aproximación técnica y socioeconómica. Industrial Gráfica, S.A. Lima, Perú.
- Rasmusson, D.F. and R. L. Phillips. 1997. Plant breeding progress and genetic diversity from de novo variation and elevated epistasis. *Crop Sci.* 37:303-310.
- Sánchez-González, J. de J. 1989. Relationships among the mexican races of maize. Ph. D. Thesis. North Carolina State University, Raleigh, North Carolina. 187 pp.
- Stebbins, G. L. and B. Crampton. 1961. A suggested revision of the grass genera of temperate North America. *Rec. Adv. Bot. University of Toronto Press*. pp. 133-145.
- Wellhausen, E. J.; L.M. Roberts; E. Hernández X., en colaboración con P. C. Mangelsdorf. 1951. Razas de Maíz en México. *Folleto técnico* 5, Oficina de Estudios Especiales, SAG. México, D.F. 237 pp.