

# 8 Diversidad y conservación de recursos genéticos en plantas cultivadas

---

AUTOR: Mauricio R. Bellon

COAUTORES: Alejandro F. Barrientos-Priego • Patricia Colunga-GarcíaMarín • Hugo Perales • Juan Antonio Reyes Agüero • Rigoberto Rosales Serna • Daniel Zizumbo-Villarreal

AUTORES DE RECUADRO: Mauricio R. Bellon • Hugo Perales

REVISORES: Eckart Boege • Rafael Lira Saade • Rafael Ortega Paczka

---

## CONTENIDO

- 8.1 Introducción / 356
- 8.2 Maíz / 357
- 8.3 Frijol / 359
- 8.4 Aguacate / 365
- 8.5 Nopal / 368
- 8.6 Agave / 371
- 8.7 Conclusiones / 373

Referencias / 376

## Recuadros

Recuadro 8.1 *La diversidad del maíz y el posible impacto de la introducción de transgenes en México* / 360

---

Bellon, M.R., et al. 2009. Diversidad y conservación de recursos genéticos en plantas cultivadas, en *Capital natural de México*, vol. II: *Estado de conservación y tendencias de cambio*. CONABIO, México, pp. 355-382.

## Resumen

México es un importante centro de domesticación y de diversidad de numerosos cultivos, algunos de gran importancia global. Este capítulo presenta una panorámica de la diversidad de cinco grupos de especies de importancia nacional que se pueden considerar como indicadoras de la situación de los recursos genéticos en el país: maíz, frijol, aguacate, nopales y agaves. Para cada uno se abordan cinco puntos: 1] el estado actual del conocimiento de la diversidad, tanto a nivel agromorfológico como molecular; 2] la utilización de esta diversidad por productores y por fitomejoradores; 3] los cambios en el estado de la diversidad en las últimas tres a cinco décadas; 4] los esfuerzos llevados a cabo para la conservación de esta diversidad, tanto a nivel de conservación *ex situ* como *in situ*, en los campos, las huertas y plantaciones de los productores de estas especies, y 5] una reflexión sobre el futuro de esta diversidad. En el capítulo se documenta la diversidad tanto agromorfológica como genética en estos grupos, incluyendo a sus parientes silvestres. Los datos moleculares confirman la gran diversidad existente, pero frecuentemente difieren de los análisis agromorfológicos, mostrando gradientes de variación más que grupos discretos. Estos datos también muestran la importancia del flujo génico y la hibridación en los patrones de diversidad. La diversidad no es solo resultado de factores ambientales y biológicos, sino también de procesos humanos de domesticación y diversificación. Los pequeños agricultores del país, en su mayor parte indígenas y campesinos, son quienes continúan manteniendo esta diversidad en sus campos, solares, huertas y plantaciones.

Desafortunadamente no existen esfuerzos sistemáticos para dar seguimiento a los cambios que se siguen dando en la diversidad. Hay consenso en que esta ha disminuido y que dicha tendencia continúa. Algunos factores que influyen en esto incluyen la creciente participación en el mercado de todo el sector rural, cambios demográficos y culturales en las poblaciones rurales y urbanas, así como las políticas de apoyo al sector rural. Existen varios esfuerzos de conservación en el país que varían en intensidad e importancia entre los grupos analizados. La conservación *ex situ* enfrenta dificultades de financiamiento y compromiso institucional, aun cuando existen programas gubernamentales que la apoyan y buscan hacerla más eficiente. La conservación *in situ* de parientes silvestres es relativamente incipiente y fuertemente afectada por la deforestación y cambios en el uso del suelo. La conservación en finca o en campos de agricultores continúa *de facto* en los sistemas agrícolas campesinos, pero sin ningún apoyo formal y a pesar de muchos factores en contra. Aunque ha habido algunos proyectos piloto en este rubro, financiados generalmente por donantes extranjeros, faltan esfuerzos sistemáticos al respecto. El futuro de esta diversidad está ligado al futuro de la población rural y al valor cultural y de identidad que continúe teniendo. En general se requiere una política nacional explícita, con financiamiento concreto, que defina claramente una serie de acciones interrelacionadas de conservación *in situ* y *ex situ* para la diversidad de especies cultivadas nativas y sus parientes silvestres.

## 8.1 INTRODUCCIÓN

México es un centro importante de domesticación y de diversidad de numerosos cultivos, algunos de gran importancia global (véase el capítulo 18 del volumen I, en especial el apéndice 18.2). Esta diversidad de especies cultivadas no es el resultado solamente de eventos biológicos, sino de la interacción, durante cientos de generaciones, entre poblaciones humanas y estas especies. Estas poblaciones humanas, a raíz de sus necesidades, intereses, prácticas y conocimientos han ido conformando y manteniendo esta diversidad. Los agricultores mexicanos de hoy no son solamente los herederos de esta diversidad, sino que la continúan manteniendo y desarrollando, aun en condiciones cada vez más difíciles.

Este capítulo presenta una panorámica de la diversidad de algunas especies cultivadas en el país. El número

de estas especies es grande y el tratamiento de cada una amerita cierto grado de profundidad, lo cual no es posible en un solo capítulo y requeriría un libro entero, por lo que hemos optado por seleccionar un número limitado pero diverso y representativo de cinco grupos de especies de importancia nacional: maíz, frijol, aguacate, nopales y agaves. Nos referimos a grupos de especies ya que en varios casos se trata de varias especies cultivadas que generalmente son del mismo género; asimismo, hacemos referencia a parientes silvestres de las especies cultivadas. Esta lista incluye gramíneas, leguminosas, así como especies hortícolas, frutícolas e industriales. Dichas especies pueden ser vistas como indicadores de la situación de la diversidad de recursos genéticos en el país. Para cada una de estas especies se abordan cinco puntos centrales: 1] el estado actual del conocimiento de la diversidad para cada cultivo, tanto a nivel agromorfológico<sup>1</sup> como mole-

cular; 2] la utilización de esta diversidad tanto por productores como por fitomejoradores; 3] los cambios que se han dado en el estado de la diversidad en las últimas tres a cinco décadas; 4] los esfuerzos que se llevan a cabo para la conservación de esta diversidad, tanto a nivel de conservación *ex situ* como *in situ*, en los campos, las huertas y plantaciones de los productores de estas especies, y 5] una reflexión sobre el futuro de esta diversidad. El capítulo concluye con una síntesis de las lecciones comunes derivadas de los estudios individuales de estos cinco grupos de especies y con una reflexión sobre su futuro y las acciones que la sociedad mexicana requiere llevar a cabo si considera que mantener esta diversidad es importante para el país.

## 8.2 MAÍZ

México es el centro de domesticación y uno de los centros de diversidad del maíz (Matsuoka *et al.* 2002; Doebley 2004). Diversos estudios de la variabilidad del maíz, tanto morfológica como genética, muestran que existe una gran diversidad en las poblaciones mexicanas, además de la existencia del teocinte, el pariente silvestre del que desciende el maíz cultivado (Sánchez G. *et al.* 1998). Para describir la diversidad del maíz en México, el concepto más utilizado ha sido el de raza, término originalmente propuesto como una forma de clasificación “natural”. Una raza se define como “un grupo de individuos relacionados con suficientes características en común que permiten su reconocimiento como un grupo” (Anderson y Cutler 1942). Es un concepto basado en la morfología de la mazorca y de la planta, y en el origen geográfico del maíz. Originalmente fue utilizado por Wellhausen *et al.* (1952), quienes también presentan una hipótesis sobre el origen de las razas y sus relaciones filogenéticas (Berthaud y Gepts 2004). El trabajo original de Wellhausen *et al.* (1952) sobre las razas mexicanas de maíz identificó 25 razas, siete no bien definidas entonces, y varias subrazas. Con el tiempo, y debido a incrementos en las recolectas y su análisis, a la fecha se han descrito 59 razas de maíz (Sánchez G. *et al.* 2000), aunque algunas posiblemente son cuestionables (p. ej., véase Perales *et al.* 2003 para el caso de la raza motozinteca).

Se han llevado a cabo estudios sobre la diversidad genética con el uso de isoenzimas (Goodman y Brown 1988; Sánchez G. *et al.* 2000) y, más recientemente, con microsatélites (SSR) (Matsuoka *et al.* 2002; Pressoir y Berthaud 2004a, b; Reif *et al.* 2006). La mayor parte de

estos estudios han analizado muestras de bancos de germoplasma representativas de todo el país y han tomado como base para la selección de la muestra la clasificación racial de las muestras utilizadas. Los estudios con isoenzimas muestran que las razas no se agrupan en complejos bien definidos, como sería de esperar por los datos morfológicos, sino que forman un continuo (Doebley *et al.* 1985; Sánchez G. *et al.* 2000). Existe una gran variabilidad en caracteres morfológicos y moleculares, tanto entre razas como dentro de ellas, aunque ciertas poblaciones tienen niveles bajos de diversidad, aparentemente por tratarse de variedades para usos especiales (Sánchez G. *et al.* 2000). Estudios más recientes con microsatélites confirman una discrepancia entre la estructura poblacional medida con datos morfológicos y la medida con marcadores moleculares de una misma muestra de maíces, lo cual ha sido explicado como el resultado de un gran flujo génico entre poblaciones, aunado a una fuerte selección divergente a partir de características morfológicas determinadas por parte de los agricultores<sup>2</sup> (Pressoir y Berthaud 2004a). El estudio más reciente con microsatélites que examinó muestras de 24 razas descritas por Wellhausen (Reif *et al.* 2006), encontró un mayor número total de alelos por locus (7.84) que en estudios previos hechos en Estados Unidos (6.5 alelos/locus; Labate *et al.* 2003) y Europa (5.9 alelos/locus; Reif *et al.* 2006). Asimismo, la diversidad genética entre poblaciones fue mayor (0.61) que en estudios previos (0.53; Reif *et al.* 2006), confirmándose de este modo la amplia base genética de las poblaciones de maíz en el país.

La distribución de la diversidad genética presenta un patrón de aislamiento por distancia; esto es, poblaciones más cercanas se parecen más entre sí que poblaciones más lejanas (Matsuoka *et al.* 2002). Aunque el ambiente tiene un papel fundamental en la estructura de la diversidad de los maíces, existen también nuevas evidencias del papel que los agricultores han tenido y siguen teniendo al generar y mantener esta diversidad (Pressoir y Berthaud 2004a, b; Perales *et al.* 2005).

Un aspecto de gran importancia para el conocimiento, conservación y uso de la diversidad de maíz en México es la existencia del teocinte, conocido entre la población rural como acece o acecintle, entre otros nombres (Sánchez G. *et al.* 1998). Bajo este nombre se conocen varias subespecies clasificadas dentro de la misma especie de maíz (véase también el cuadro 1 del recuadro 18.3 del volumen I). La más común y presente en varios estados de la República es *Zea mays* subsp. *mexicana*, a la que se clasifica en tres razas: Chalco, Nobogame y Mesa Central (Sán-

chez G. *et al.* 1998). Sin embargo, hasta lo que se conoce hoy día, *Z. mays* subsp. *parviglumis* es la más cercana al maíz cultivado; se distribuye en el suroeste de México y se le conoce como teocinte del Balsas (Matsuoka *et al.* 2002; Doebley 2004). También se conocen dos teocintes perennes en México, *Zea perennis* y *Z. diploperennis* (Iltis *et al.* 1979), de los cuales el primero está bajo protección formal en la Reserva de Manantlán. En general los teocintes son vistos por los agricultores como malezas difíciles de erradicar, aun cuando tienen potencial como forraje y como fuente de genes para el mejoramiento del maíz. En campos donde están juntos teocinte y maíz no es raro encontrar híbridos de estos, con granos de características intermedias de los dos.

El maíz es el cultivo más importante en el medio rural mexicano: se siembra en una superficie aproximada de 8 millones de hectáreas por alrededor de 2.5 a 3 millones de agricultores anualmente. Su producción se realiza en un sistema dual, con un gran número de pequeños agricultores campesinos que lo producen para autoconsumo y venta a pequeña escala, por una parte, y por otra, por un número relativamente pequeño de grandes agricultores que lo producen con fines puramente comerciales y pocas veces lo consumen directamente. Los pequeños agricultores campesinos utilizan sobre todo una gran diversidad de variedades criollas (locales), mientras que los agricultores comerciales comúnmente utilizan híbridos comerciales, producto del fitomejoramiento científico.

La diversidad de poblaciones criollas de maíz continúa siendo la base de la agricultura campesina mexicana. Esta diversidad está asociada, por una parte, al uso de diversas partes de la planta del maíz, no solo el grano para hacer tortillas y elaborar bebidas como el pozol. Dichas partes de la planta incluyen los tallos, las hojas o brácteas que cubren la mazorca —comúnmente llamadas totomoxtle— y que se destinan a diversos usos, como envoltura para tamales y forraje para animales. Además, el maíz se produce desde el nivel del mar hasta los 3 000 m y a todo lo largo y ancho del país. Por otra parte, tal diversidad y adaptabilidad se relaciona con conocimientos y prácticas de manejo y cultivo por parte de estos agricultores, como la selección de semillas de la cosecha, el flujo de semillas entre agricultores y la asociación de tipos específicos con ambientes particulares (Hernández 1985; Bellon y Brush 1994; Louette y Smale 2000; Perales *et al.* 2003; Pressoir y Berthaud 2004a, b). El sistema tradicional de uso del maíz es dinámico y se incorporan nuevos tipos mientras que otros se abandonan. Este proceso incluye la incorporación de variedades mejoradas,

que son sometidas al mismo manejo que las variedades criollas, lo que da lugar a tipos adaptados localmente que los propios agricultores reconocen como “acriollados” y finalmente como criollos (Bellon y Risopoulou 2001; Bellon *et al.* 2006).

Desde mediados del siglo pasado ha habido programas de fitomejoramiento científico en el país, sobre todo públicos y más recientemente privados. Instituciones como el INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias) y varias universidades y centros de enseñanza agrícola (entre las que destacan la Universidad Autónoma Chapingo, el Colegio de Posgraduados y la Universidad Autónoma Antonio Narro), así como el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) han desempeñado un papel importante en el fitomejoramiento del maíz. Sin embargo, el papel de las instituciones públicas ha ido disminuyendo, mientras que el de las empresas privadas ha aumentado. Grandes compañías transnacionales como Pioneer y Monsanto tienen una participación cada vez más relevante en la producción de variedades mejoradas, en particular híbridos. Históricamente, la utilización de la diversidad de maíces en programas de fitomejoramiento públicos se ha concentrado solo en algunas razas, entre las que destacan tuxpeño y Celaya. Sin embargo, no está claro cuál es el grado de utilización de la diversidad genética mexicana por parte de los programas privados, particularmente de compañías transnacionales, dado que mucha de esta información es de índole privada.

En términos de la dinámica de la diversidad del maíz, no existe ningún tipo de seguimiento en México que permita conocer exactamente los cambios que se han dado en la diversidad del maíz utilizado por los agricultores mexicanos a lo largo del tiempo. Sin embargo, datos sobre la utilización de semilla comercial muestran que solo en 20% del área sembrada con maíz se emplea este tipo de semillas (Morris y López-Pereira 1999; Aquino *et al.* 2001) y varios estudios de caso (Bellon y Brush 1994; Morris y López-Pereira 1999; Van Dusen y Taylor 2005; Bellon *et al.* 2006) indican que la mayor parte del germoplasma utilizado en el país, en términos de número de agricultores y área sembrada, corresponde a semilla local, es decir, variedades criollas o acriolladas. Solo en algunas regiones, fundamentalmente en las zonas de agricultura comercial, ha habido una sustitución muy fuerte de variedades criollas por variedades mejoradas. Esto no quiere decir que en la agricultura campesina no se hayan abandonado o perdido poblaciones particulares de maíz criollo, dado que este tipo de agricultura es dinámico y

está en constante cambio. En las zonas campesinas, los materiales criollos dominan y cuando hay sustitución es por otros materiales criollos o acriollados, con lo que se mantienen las prácticas de selección y flujo de semilla ancestrales, y por ende la selección divergente, el flujo génico y la conservación de recursos genéticos en manos de agricultores.

El único lugar donde ha habido recolectas comparables a lo largo del tiempo es en el estado de Chiapas, donde se tienen cuatro recolectas extensivas: las primeras tres para las décadas de los cuarenta, setenta y noventa del siglo xx, y la última a principios del siglo xxi (Wellhausen *et al.* 1952; Ortega-Paczka 1973; Brush y Perales 2007). Aunque las recolectas no son estrictamente comparables, revelan algunos patrones bastante claros que quizá se apliquen al resto del país. En esto resalta que la dinámica de los maíces es distinta entre los ambientes fríos (por arriba de 2 000 m) y semicálidos (1 400 a 2 000 m) con respecto a los cálidos (menos de 900 m) (Ortega P. *et al.* 1999; Brush y Perales 2007). En los fríos y semicálidos dominan las variedades criollas y hay poca competencia de variedades mejoradas, por lo que es poco probable que haya pérdidas de las primeras en estos ambientes. En los segundos, las variedades mejoradas —híbridos, variedades de polinización abierta y aun variedades acriolladas— son muy competitivas y su frecuencia ha aumentado, lo que indica una mayor probabilidad de pérdida de variedades criollas.

A partir de los años cuarenta del siglo pasado se ha llevado a cabo un esfuerzo sistemático por recolectar, estudiar y conservar la diversidad del maíz en México. Las recolectas de Wellhausen *et al.* (1952) no solo fueron estudiadas, sino que formaron parte del inicio de la conservación *ex situ* del maíz en bancos de germoplasma. En el año 2000 se reportaron seis bancos de germoplasma con colecciones de maíz en el país (Hernández-Casillas 2000), los cuales cuentan en la actualidad con programas de recolección (<[www.conabio.gob.mx](http://www.conabio.gob.mx)>). Una gran parte de las muestras/accesiones están georreferenciadas, con lo que actualmente se tiene una idea de su distribución espacial, lo cual puede permitir una evaluación de las brechas aún existentes en términos de recolectas, así como un monitoreo de los cambios que se están dando en la diversidad del país. Otro aspecto explorado recientemente es la conservación del maíz y otros cultivos *in situ*. En los últimos 15 años ha habido numerosos proyectos enfocados a promover la conservación *in situ* del maíz, fundamentalmente en el centro y sur de México (Milpa Project 1999; Chávez-Servia *et al.* 2002; Bellon *et al.*

2003). Es un hecho la conservación *de facto* de esta diversidad debido al interés y los esfuerzos de millones de pequeños agricultores campesinos; los proyectos han promovido ciertas intervenciones para apoyar a los campesinos que mantienen esta diversidad e incluyen ferias de semillas, mejoramiento participativo de variedades criollas y venta de semillas de diversos tipos de maíz. Sin embargo, estos esfuerzos han sido fundamentalmente proyectos piloto, financiados por donantes extranjeros, con una duración de tres a cinco años y, aunque muchos de ellos han contribuido a la formación de recursos humanos en el área, su impacto ha sido local y de corto plazo, por lo que podemos concluir que no ha habido una articulación de estos esfuerzos con la conservación *ex situ* ni con una estrategia a largo plazo de conservación y uso de los recursos genéticos de maíz en México. Un nuevo aspecto que ha cobrado notoriedad y que tiene implicaciones para la conservación y el uso de la diversidad del maíz es la posible introducción de transgenes en maíces criollos y su impacto sobre su diversidad. Este es un tema que ha creado gran controversia en los ámbitos científico, de políticas públicas y mediático (véase el recuadro 8.1).

El futuro de la diversidad del maíz está indisolublemente ligado al futuro de la agricultura campesina. Si bien la conservación *ex situ* es fundamental y debe ser apoyada y sostenida, no solo son los campesinos mexicanos, con sus prácticas, conocimientos, ambientes y tecnologías diversas, los que mantienen esta diversidad, sino quienes están constantemente recreándola.

### 8.3 FRIJOL

El frijol es originario de América, donde puede encontrarse diversidad genética amplia en diferentes especies del género *Phaseolus* (véase el recuadro 18.1 del volumen I). En el caso del frijol común (*Phaseolus vulgaris*) es posible encontrar poblaciones silvestres desde el estado de Chihuahua, en México, hasta el norte de Argentina. Los hallazgos arqueológicos y las evidencias científicas demuestran que existen dos centros primarios de domesticación y diversidad genética del frijol común, que son el mesoamericano y el andino (Koenig y P. Gepts 1989; Debouck y Smartt 1995; Payró *et al.* 2005). Los restos arqueológicos más antiguos de frijol fueron encontrados en la Cueva de Guitarrero en Perú (8 000 a 10 000 años) y en Tehuacán, Puebla, en México (6 000 años a.p.) (Gepts y Debouck 1991).

**RECUADRO 8.1** LA DIVERSIDAD DEL MAÍZ Y EL POSIBLE IMPACTO DE LA INTRODUCCIÓN DE TRANSGENES EN MÉXICO

Mauricio R. Bellon • Hugo Perales

En 2001 se reportó en la revista científica *Nature*, de gran prestigio, la presencia de transgenes en muestras de maíces criollos de dos comunidades campesinas de Oaxaca (Quist y Chapela 2001). Esto creó una gran controversia nacional e internacional tanto sobre la validez de los datos [Kaplinsky *et al.* 2002; Metz y Fütterer 2002, y la retractación que *Nature* hizo del artículo (2002, 416:600)], como por sus implicaciones para México por ser centro de origen y diversidad del maíz, y para los agricultores campesinos que mantienen esta diversidad y que dependen de ella como medio de vida. En particular, se supuso que su presencia en variedades criollas de maíz podría tener un efecto negativo sobre la diversidad genética de este cultivo. Organizaciones civiles y comunidades campesinas hicieron una petición a la Comisión para la Cooperación Ambiental de América del Norte (CCA) para que investigara los impactos de la introducción de variedades transgénicas sobre la diversidad del maíz en México. Esta comisión fue creada a raíz del Tratado de Libre Comercio de América del Norte para lidiar con asuntos ambientales entre los tres países signatarios de este acuerdo. La Comisión llevó a cabo un gran estudio sobre el tema, cuya revisión excede el ámbito de esta sección. Vale la pena, sin embargo, indicar que el estudio que resultó de este esfuerzo se enfocó en

...los posibles efectos que el cultivo de variedades comerciales de maíz transgénico —existentes y de próximo desarrollo— puede tener en las razas tradicionales de maíz y los teocintes, así como en el impacto de la posible introgresión de transgenes en esas entidades taxonómicas. Además, a fin de garantizar que el presente documento contribuya a la definición de políticas y la investigación científica, se toman en consideración las probables variedades futuras de maíz transgénico (CEC 2004:7-8).

El estudio abarcó diversos aspectos e hizo recomendaciones muy puntuales sobre flujo génico, biodiversidad, salud y aspectos culturales. Los resultados pueden ser consultados en <<http://www.cec.org/maize/index.cfm?varlan=espanol>>.

Después de la realización de ese estudio, se han realizado varios otros más y aún existe controversia sobre las metodologías utilizadas y sus implicaciones (p. ej., Mercer y Wainwright 2008). El estudio más reciente publicado en una revista arbitrada de gran prestigio muestreó 125 campos de maíz de agricultores en 18 localidades de Oaxaca durante 2003 y 2004 en busca de la presencia de transgenes y concluyó que estos están ausentes o, en todo caso, su presencia tendría que ser extremadamente rara en los campos muestreados (Ortiz-García *et al.* 2005). Sin embargo, la controversia sobre la presencia de transgenes en el maíz mexicano continúa (Cleveland *et al.* 2005; Serratos-Hernández *et al.* 2007).

Desde la perspectiva de políticas públicas, a partir de 1998 ha existido una moratoria a la siembra comercial y experimentación con variedades de maíz transgénico. Recientemente se ha creado legislación para, de hecho, levantar la moratoria a la experimentación, aunque no específicamente para la siembra comercial de variedades de maíz transgénico. Sin embargo, la controversia alrededor de los riesgos, conveniencia e importancia de utilizar maíces transgénicos en México continúa con intensidad. Existen grupos que tienen gran interés en que variedades de maíz transgénicas se autoricen y comercialicen en el país —particularmente de agricultores comerciales y de las compañías que los producen— y también hay una gran reticencia, e incluso rechazo vehemente, a esta posibilidad por parte de organizaciones campesinas y organizaciones no gubernamentales.

México es reconocido como centro primario de domesticación y diversidad genética del frijol (Gepts y Debouck 1991). En el país se conoce como frijol a diferentes especies del género *Phaseolus*, entre las cuales las de mayor importancia económica son: *Phaseolus vulgaris* (frijol común), *P. coccineus* (frijol ayocote), *P. lunatus* (frijol lima) y *P. acutifolius* (frijol tépari). En el estudio sobre la diversidad genética del frijol común se han identificado cuatro razas, tres del acervo mesoamericano

(Durango, Jalisco y Mesoamérica) y una del andino (Nueva Granada) (Singh *et al.* 1991a; Rosales *et al.* 2005). Las razas fueron definidas como poblaciones similares en la morfología de la planta y semilla, adaptación a determinadas regiones y presencia de ciertos tipos de faseolina, una proteína del grano de frijol (Singh *et al.* 1991a, b, c).

En la evaluación de la diversidad genética del frijol se han utilizado descriptores morfológicos (Cárdenas 1984, 2000; Singh *et al.* 1991a; Voysest 2000; Rosales *et al.*

2003), agronómicos (Rosales *et al.* 2003, 2005) y de rendimiento (Acosta G. *et al.* 2004), así como marcadores bioquímicos (Singh *et al.* 1991a, c; Avendaño 2001) y moleculares, tales como RAPD (Beebe *et al.* 2000), RFLP (Adam *et al.* 1994), AFLP (Pallottini *et al.* 2004; Rosales *et al.* 2005) e ISSR (Rosales *et al.* 2003; González *et al.* 2005), y las secuencias ITS de genes del núcleo ribosómico (Delgado y Bibler 2006).

Desde su domesticación, el frijol combinado con el maíz ha formado parte fundamental de la alimentación de los mexicanos (Sánchez R. *et al.* 2001). En México, la superficie anual sembrada con frijol es de 2.2 millones de hectáreas (Sánchez R. *et al.* 2001; Acosta *et al.* 2002). Se considera que cada mexicano consume anualmente entre 12.6 y 15 kg de frijol (Shellie-Dessert y Bliss 1991; Sánchez R. *et al.* 2001), por lo que este cultivo es el segundo en importancia en México, con base en la superficie sembrada y el volumen consumido.

El frijol se siembra en todos los estados de México, en diferentes épocas y con varios sistemas de producción, lo cual favorece la diversidad genética. El consumo del frijol es principalmente de grano seco y ejote (vaina tierna) verde. En la Sierra Norte de Puebla se presenta el consumo de flores y grano fresco, principalmente del frijol gordo (*Phaseolus polyanthus*) y ayocote (*P. coccineus*) (Martínez *et al.* 1995). Existen distintas preferencias según el color, la forma y el tamaño del grano de frijol, lo cual combinado con su versatilidad biológica, las tendencias de mercado y la recombinación genética ha permitido conservar la diversidad de la especie (Rosales *et al.* 2005). No solo el grano es valioso, sino que el esquilmo (paja) —un subproducto del frijol compuesto por tallos, ramas y valvas de las vainas— es también apreciado por su valor forrajero (Acosta *et al.* 2002).

El INIFAP ha utilizado la diversidad genética del frijol en la producción de 142 variedades mejoradas (Rosales *et al.* 2004). En el programa de mejoramiento genético de frijol del INIFAP se han realizado cruzamientos entre variedades cultivadas y en 1999 se incluyó frijol silvestre (Acosta *et al.* 1999). Las variedades mejoradas muestran resistencia a enfermedades y rendimiento alto en condiciones de manejo favorables (Acosta *et al.* 2002; Rosales *et al.* 2006). La calidad del grano de algunas variedades mejoradas de frijol del INIFAP ha conducido a su reconocimiento como clases comerciales nuevas, como el caso de los azufrados y peruanos (Voyses 2000; Rosales *et al.* 2004).

No obstante, se considera que la diversidad del frijol se ha subutilizado (Acosta G. *et al.* 1996). Por ejemplo, las

variedades criollas que aún se cultivan en algunas áreas rurales de México y que son apreciadas únicamente en mercados locales (parraleño, rebosero, morado, etc.) han sido poco estudiadas y por ende su utilidad en el mejoramiento genético ha sido limitada.

La diversidad de poblaciones silvestres del frijol es un recurso importante para el mejoramiento genético ya que muchas de ellas cuentan con genes de tolerancia a factores adversos, los cuales se perdieron por deriva genética durante la domesticación. Las poblaciones silvestres de frijol están expuestas a factores ambientales adversos como frío, sequía, calor, enfermedades y plagas. Las poblaciones que sobrevivieron incrementaron el número de alelos favorables para su adaptación a esas condiciones y pueden utilizarse para ampliar la base genética del frijol cultivado mediante mejoramiento genético. Un ejemplo de esto es el caso de la resistencia al ataque de plagas mediante la arcelina (Arc+), una proteína encontrada en el frijol silvestre que confiere resistencia a los gorgojos *Zabrotes subfaciatus* y *Acanthoscelides obtectus* (Cardona *et al.* 1990). Además, en frijoles silvestres se han identificado características sobresalientes en la calidad del grano, como el contenido alto de proteínas, hierro y zinc y un balance favorable de aminoácidos (Sotelo *et al.* 1995).

Las áreas de siembra de las razas de frijol común se han modificado por la movilización de la semilla, preferencias de consumo y la presión del mercado, lo que ha ocasionado el incremento de la superficie cultivada con las variedades más populares (Rosales *et al.* 2003). La demanda de los consumidores, comerciantes y la industria del frijol ha fomentado la uniformidad de las clases comerciales más importantes en México (Cárdenas 2000). El frijol enfrenta cambios en el hábito de consumo de la sociedad como consecuencia de la urbanización, migración, incursión de más mujeres en el trabajo fuera del hogar (Sánchez R. *et al.* 2001) y el incremento de los costos de los combustibles para su cocción, lo que ha reducido su uso. A pesar de que el frijol es fundamental en la gastronomía mexicana, su cultivo ha sido desplazado en muchos casos a regiones marginales con suelos poco profundos y lluvias escasas y mal distribuidas, lo que ha derivado en pérdidas de diversidad genética, reducción de rendimiento y disminución de competitividad de este cultivo. Además, el frijol ha sido afectado por importaciones legales, contrabando y la presión económica del Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLC). Todos estos factores han influido significativamente sobre la diversidad genética del frijol mexicano.

Sin embargo, la dinámica de la diversidad es compleja. En algunas clases comerciales de frijol, como el azufrado y negro opaco, se ha estrechado la base genética debido al uso recurrente de padres con grano típico y la selección basada en el tipo de grano comercial (Rosales *et al.* 2005). En contraste, en otros casos se ha ampliado la base genética debido a la recombinación entre variedades adaptadas y germoplasma introducido. Por ejemplo, resultados obtenidos con marcadores morfológicos y moleculares mostraron que el cruzamiento entre padres contrastantes de diferentes razas y acervos amplió la base genética del frijol flor de mayo y pinto. La recombinación genética ocasionó también que estudios con marcadores moleculares mostraran agrupamientos poco claros del germoplasma mejorado de frijol de México (Rosales *et al.* 2005). La diversidad genética de algunas clases comerciales de frijol (bayo, flor de mayo y pinto) se ha preservado gracias a la variación en las preferencias de consumo y en los sistemas productivos de esta leguminosa.

La mecanización agrícola ha reducido la utilización del frijol de hábito de crecimiento indeterminado con guías trepadoras (tipo IV), que anteriormente era sembrado en asociación con maíz, lo cual ha reducido la variabilidad genética (Lépiz 1974; Acosta G. *et al.* 2004). La reducida utilización de variedades trepadoras ha provocado deriva genética y en algunas regiones la pérdida total de la semilla de este tipo de frijol, lo que ha disminuido el acervo genético de la especie. El uso creciente de herbicidas también ha desempeñado un papel en la pérdida de diversidad genética (Bye y Qualset 2002). No obstante, en muchas áreas rurales de México aún se cultivan variedades criollas de frijol con grano apreciado únicamente en el mercado local, lo que ha favorecido la conservación de la diversidad genética de la especie. Mientras las variedades modernas de frijol han tenido éxito en ambientes con lluvia y manejo favorable, en zonas marginales algunas variedades mejoradas muestran una respuesta pobre, por lo que se siguen prefiriendo las variedades criollas.

En general, como ha ocurrido con el maíz, la pérdida de diversidad genética es ocasionada por una creciente integración de los productores al mercado, las importaciones y la migración (Dyer y Qualset 2000; Van Dusen y Taylor 2005), la competencia entre variedades modernas y tradicionales (Perales *et al.* 2003), el tipo de tenencia de la tierra (Dyer y Qualset 2000) y el avance de la población humana que ha propiciado el deterioro ambiental (Ortega P. *et al.* 1999). Se considera también que la pérdida de diversidad genética ocurre *in situ* y *ex situ*, aun-

que es necesario estimarla de manera objetiva (Ortega P. *et al.* 1999).

Desde la década de 1940 se inició la recolección de variedades criollas de frijol, para comenzar el programa de mejoramiento genético de este cultivo. Como resultado de la recolecta, en 1968 se contaba con 4 411 accesiones de frijol (90% de *P. vulgaris*, 8% de *P. coccineus* y 2% de otras especies) (Cárdenas 1968). Vargas *et al.* (2006) reportan que el Banco de Germoplasma del INIFAP, con sede en Chapingo, Estado de México, cuenta con 7 846 accesiones de frijol común. Para asegurar la conservación, se han establecido colecciones de frijol, entre otros sitios, en los campos experimentales de Iguala, Guerrero (cuadro 8.1), y Calera, Zacatecas.

Actualmente, se tienen estudios de caracterización morfológica y molecular del germoplasma mejorado (Rosales *et al.* 2005, 2006) y de la colección núcleo de frijol del INIFAP (Vargas *et al.* 2006; Gill *et al.* 2007; Vargas-Vázquez *et al.* 2007). Los estudios han mostrado que se ha conservado tanto la diversidad genética como la representatividad de la colección núcleo con respecto a la totalidad de recolectas almacenadas en el Banco de Germoplasma de Frijol del INIFAP (Gill *et al.* 2007; Vargas-Vázquez *et al.* 2007). También existen estudios para la caracterización morfológica de la totalidad de las recolectas del Banco de Germoplasma de Frijol (Cárdenas *et al.* 1996), los cuales deben ser complementados, documentados y sistematizados para ofrecer un servicio más eficiente a los usuarios. Es necesario también unificar criterios y recursos, y complementar la diversidad genética del frijol entre las instituciones que cuentan con germoplasma de esta especie, para evitar duplicidades y la competencia por recursos.

Además de la conservación en bancos de germoplasma, en el país se han desarrollado proyectos de conservación *in situ* de la diversidad genética en los sistemas agrícolas tradicionales. El proyecto Milpa, financiado por la Fundación McKnight (Bye y Qualset 2002), analizó la importancia de la conservación de la diversidad genética en variedades criollas de maíz, frijol, calabaza y quelites. En este y otros proyectos existen resultados contradictorios debido a que algunos autores establecen la importancia de este sistema en la conservación y ampliación de la diversidad genética en algunas especies (Bye y Qualset 2002; Perales *et al.* 2003; Montes *et al.* 2005), pero también muestran evidencias sobre la pérdida de variabilidad en otras (p. ej. quelites).

Como parte de las estrategias de conservación y utilización de la diversidad *in situ*, se ha propuesto el mejora-



**Cuadro 8.1** Acciones en conservación *ex situ* de las especies abordadas en el capítulo, por institución

Código de institución	Taxón	Número total de accesiones	Institución
<b>MAÍZ</b>			
MEX0001	<i>Zea mays</i>	10 500	Estación de Iguala, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, INIFAP
MEX0002	<i>Zea mays</i>	22 137	Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, CIMMYT
MEX0002	<i>Zea perennis</i>	162	Ídem
MEX0006	<i>Zea mays</i>	3 125	Banco Nacional de Germoplasma Vegetal, Depto. de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo, UACH
MEX0006	<i>Zea mays</i> subsp. <i>mexicana</i>	855	Ídem
MEX0008	<i>Zea mays</i>	2 322	Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, INIFAP
MEX0008	<i>Zea mexicana</i>	145	Ídem
MEX0008	<i>Zea</i> spp.	11 600	Ídem
MEX0022	<i>Zea mays</i>	9 988	Programa de Recursos Genéticos, Centro de Investigaciones Forestales y Agropecuarias, INIFAP
MEX0035	<i>Zea mays</i>	ND	Ídem
MEX0125	<i>Zea mays</i>	50	Instituto de Ecología de Alimentos, Universidad Autónoma de Tamaulipas, UAT
MEX0911	<i>Zea mexicana</i>	2	Ciencias Agropecuarias, Instituto de Ecología Aplicada de Guerrero, Ineagro
MEX0915	<i>Zea mays</i>	36	División de Ciencias Agronómicas, Universidad de Guadalajara, U de G
<b>Total maíz</b>		<b>60 922</b>	
<b>FRIJOL</b>			
MEX0001	<i>Phaseolus</i> spp.	10 000	Estación de Iguala, Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, INIFAP
MEX0006	<i>Phaseolus acutifolius</i>	1	Banco Nacional de Germoplasma Vegetal, Depto. de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo, UACH
MEX0006	<i>Phaseolus coccineus</i>	311	Ídem
MEX0006	<i>Phaseolus lunatus</i>	48	Ídem
MEX0006	<i>Phaseolus vulgaris</i>	342	Ídem
MEX0008	<i>Phaseolus acutifolius</i>	40	Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, INIFAP
MEX0008	<i>Phaseolus</i> spp.	10 600	Ídem
MEX0008	<i>Phaseolus vulgaris</i>	2 112	Ídem
MEX0021	<i>Phaseolus</i> spp.	ND	Facultad de Agronomía, Universidad Autónoma de Nuevo León, UANL
MEX0024	<i>Phaseolus acutifolius</i>	15	Instituto de Recursos Genéticos y Productividad, Colegio de Postgraduados, CP
MEX0024	<i>Phaseolus coccineus</i>	15	Ídem
MEX0024	<i>Phaseolus vulgaris</i>	5 210	Ídem
MEX0911	<i>Phaseolus lunatus</i>	5	Ciencias Agropecuarias, Instituto de Ecología Aplicada de Guerrero, Ineagro
MEX0915	<i>Phaseolus vulgaris</i>	70	División de Ciencias Agronómicas, Universidad de Guadalajara, U de G
<b>Total frijol</b>		<b>28 769</b>	

**Cuadro 8.1** [concluye]

Código de institución	Taxón	Número total de accesiones	Institución
<b>AGUACATE</b>			
MEX0003	<i>Persea americana</i> var. <i>americana</i>	163	Unidad de Recursos Genéticos, Centro de Investigación Agrícola Bajío, INIFAP
MEX0003	<i>Persea americana</i> var. <i>drymifolia</i>	1	Ídem
MEX0003	<i>Persea cinerascens</i>	1	Ídem
MEX0003	<i>Persea indica</i>	1	Ídem
MEX0003	<i>Persea schiedeana</i>	1	Ídem
MEX0008	<i>Persea americana</i>	58	Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, INIFAP
MEX0008	<i>Persea</i> spp.	144	Ídem
MEX0009	<i>Persea americana</i> var. <i>americana</i>	163	Centro de Investigaciones Forestales y Agropecuarias, INIFAP
MEX0009	<i>Persea americana</i> var. <i>drymifolia</i>	1	Ídem
MEX0009	<i>Persea cinerascens</i>	1	Ídem
MEX0009	<i>Persea indica</i>	1	Ídem
MEX0009	<i>Persea schiedeana</i>	1	Ídem
MEX0935	<i>Persea</i> spp.	ND	Fundación Salvador Sánchez Colín, Ictamex
<b>Total aguacate</b>		<b>536</b>	
<b>NOPAL*</b>			
	<i>Opuntia</i> spp.	335	Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, INIFAP, en San Luis de la Paz, Gto.
	<i>Opuntia</i> spp.	142	Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, INIFAP, en San Luis Potosí, S.L.P.
MEX0008	<i>Opuntia</i> spp.	297	Universidad Autónoma Chapingo en Zacatecas, Zac., UACH
	<i>Opuntia</i> spp.	201	Centro del Bachillerato Tecnológico Agropecuario 138 de Villa Hidalgo, Zac., CBTA
	<i>Opuntia ficus-indica</i>	46	Universidad Autónoma de San Luis Potosí, UASLP
<b>Total de nopal</b>		<b>1 021</b>	
<b>AGAVE</b>			
MEX0008	<i>Agave</i> spp.	7	Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, INIFAP
MEX0911	<i>Agave cupreata</i>	2	Ciencias Agropecuarias, Instituto de Ecología Aplicada de Guerrero, Ineagro
<b>Total de agave</b>		<b>9</b>	

Datos obtenidos del Directorio de Colecciones de Germoplasma de Bioversity International (antes Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos) [Bioversity Directory of Germplasm Collection], en <[http://www.bioversityinternational.org/Themes/Genebanks/Germplasm\\_Collection\\_Directory/index.asp](http://www.bioversityinternational.org/Themes/Genebanks/Germplasm_Collection_Directory/index.asp)>.

\* Los datos de nopales provienen de Gallegos *et al.* 2004.

miento participativo como una opción para conservar la diversidad de diferentes especies vegetales (Aragón *et al.* 2000; Bye y Qualset 2002; Montes *et al.* 2005). El mejoramiento participativo favorece la adopción de variedades y permite que los agricultores participen en la capacitación sobre técnicas de mejoramiento y conservación de la diversidad genética (Aragón *et al.* 2000; Montes *et al.* 2005).

No es suficiente con conservar la diversidad genética de los frijoles domesticados, ya que también es necesario preservar la variabilidad genética en los frijoles silvestres debido a la importancia que tienen para el futuro del fitomejoramiento. Los frijoles silvestres corren el riesgo de ser “inundados” por genes de poblaciones domesticadas debido al alto flujo génico que se ha observado entre ambos tipos de poblaciones en áreas donde ocurren simultáneamente (Zizumbo-Villarreal *et al.* 2005; Martínez *et al.* 2007). Estudios sobre la dinámica evolutiva del frijol silvestre y del domesticado sugieren el incremento de la diversidad genética en las poblaciones domesticadas y su reducción en las silvestres (Papa *et al.* 2005). En las poblaciones de frijol silvestre se ha observado el desplazamiento de los alelos que confieren adaptación a condiciones adversas, derivado de un flujo de genes asimétrico, tres veces mayor desde las formas domesticadas hacia las silvestres. Lo anterior hace evidente el riesgo de introducción y cultivo de germoplasma domesticado del acervo andino y de variedades transgénicas en áreas donde crecen simpátricamente poblaciones silvestres y domesticadas (Papa y Gepts 2003; Payró *et al.* 2005; Zizumbo-Villarreal *et al.* 2005). Otro problema que enfrentan las poblaciones silvestres es la expansión de las áreas ganaderas, lo que ha provocado la pérdida de poblaciones silvestres de especies diversas, entre las que destaca el frijol (Lafón 2002).

Aun cuando la diversidad del frijol que existe naturalmente en México, junto con el mejoramiento genético y la variación de los sistemas productivos y los gustos de la población mexicana, ha favorecido la persistencia y ampliación de su diversidad genética en el país (Rosales *et al.* 2004, 2005), es necesario continuar los esfuerzos para mantener esta diversidad. Un reto para los científicos modernos es la recolección, caracterización y preservación de la diversidad genética presente en las formas silvestres y cultivadas del frijol común, la cual es utilizada en el mejoramiento genético de la especie. Por ello, es necesario avanzar en el inventario nacional del germoplasma silvestre y cultivado del género *Phaseolus*, que permita establecer el nivel actual de la diversidad genética del frijol en México.

El paso siguiente en la obtención y, en algunos casos, la actualización del inventario nacional de especies del género *Phaseolus*, consiste en el análisis de la diversidad genética en el frijol cultivado y silvestre de México. En el caso del frijol cultivado se tienen recolectas en varios estados de México entre 2001 y 2005, las cuales serán utilizadas en estudios moleculares para determinar la influencia de las variedades mejoradas en la diversidad genética de la especie. También se debe corroborar el estado actual de conservación de las poblaciones silvestres de frijol y analizar la diversidad genética remanente, debido a que algunas poblaciones de frijol silvestre han desaparecido por completo y en otras se han reducido significativamente el número de individuos, con la consecuente deriva genética.

Actualmente se está incrementando el número de recolectas en el Banco de Germoplasma de Frijol del INIFAP, en especial del tipo silvestre (Vargas *et al.* 2006). Sin embargo, una limitante importante es la escasez de recursos para financiar la caracterización y preservación de la diversidad genética del frijol, un prerequisite central para su utilización en forma sistemática y eficiente. Este reto ha obligado a los curadores de los bancos de germoplasma a reducir costos y a buscar nuevas fuentes de recursos financieros. Es fundamental contar con un financiamiento adecuado y de largo plazo para la conservación de esta agrobiodiversidad.

#### 8.4 AGUACATE

México es uno de los países con amplia diversidad de tipos de aguacate y existen en el país al menos 20 diferentes especies emparentadas con el aguacate, *Persea americana* (Barrientos-Priego y López-López 2000). El concepto de razas ha sido utilizado para clasificar la diversidad del aguacate. En el país se reconocen tres razas: mexicana, antillana y guatemalteca (Barrientos-Priego y López-López 2000). Estas razas fueron clasificadas por Bergh y Ellstrand (Bergh y Ellstrand 1986) como variedades botánicas, quedando como *Persea americana* var. *drymifolia* la raza mexicana, *P. americana* var. *americana* la raza antillana y *P. americana* var. *guatemalensis* la raza guatemalteca. Desde la época prehispánica ha sido reconocida esta diversidad: ya en el Códice Florentino se mencionan tres tipos de aguacate: “aoacatl”, “tlacacoloacatl” y “quiloacatl”, que de acuerdo con sus descripciones podrían corresponder a las tres razas mencionadas, cada una de las cuales presenta características morfológicas distinti-

vas (Barrientos-Priego y López-López 2000). Sin embargo, al no existir ninguna barrera genética para su cruzamiento (Bergh y Lahav 1996), existe una gran cantidad de híbridos con características mezcladas de las razas, lo que ocasiona problemas para su ubicación en una raza u otra.

Estudios morfológicos con base en taxonomía numérica (Rhodes *et al.* 1971; García e Ichikawa 1979), al igual que con isoenzimas (García y Tsunewaki 1977), muestran que existe una relación más estrecha entre las razas antillana y guatemalteca. Con el uso de marcadores RAPD se determinó que hay distancias genéticas similares entre las tres razas presentes en México (Fiedler *et al.* 1998). Utilizando esta misma técnica, se ha encontrado un índice de polimorfismo de 57.14% en la raza mexicana, 16.7% en la guatemalteca y 25% en la antillana (Huanosto *et al.* 2001). Chao *et al.* (2003) analizaron germoplasma recolectado principalmente en México (42 accesiones de la raza mexicana), proveniente de varios estados, y con el uso de marcadores AFLP encontraron gran diversidad aun dentro de la raza mexicana, lo que sugiere divisiones dentro de la misma. Otros estudios han mostrado que las tres razas son equidistantes (Bergh 1975; Bergh y Lahav 1996), lo cual ha sido corroborado con marcadores moleculares donde la similitud varió de 52.7 a 58.6 por ciento entre las tres razas (Fiedler *et al.* 1998). Al analizar microsatélites, Ashworth y Clegg (2003) encontraron conglomerados generales acordes con las actuales razas, sin embargo, indicaron que debido a la gran variación que se da por la hibridación entre estas, su estudio se dificulta. Sin embargo, los híbridos se pueden separar y diferenciar con RAPD (Fiedler *et al.* 1998), RFLP (Clegg *et al.* 1999) y AFLP (T. Chao, com. pers.).

Las razas de aguacate están distribuidas de acuerdo con la altitud y la presencia de zonas libres de heladas. Así, tenemos que en general la raza mexicana se encuentra por arriba de los 2 000 m de altitud (zona templada), la guatemalteca entre los 1 000 y 2 000 m (zona subtropical) y la antillana por debajo de los 1 000 m (zona tropical) (Bergh y Ellstrand 1986; Barrientos-Priego y López-López 2000). En cambio, los híbridos tienen una adaptación intermedia. Un ejemplo de esto último es el aguacate denominado Hass, que se considera un híbrido avanzado de las razas guatemalteca y mexicana, el cual se ha estimado que tiene entre 10 y 15 por ciento de genes de esta última raza (Bergh y Ellstrand 1986), lo que le confiere una mejor adaptación a zonas más templadas, como en el estado de Michoacán, en donde se puede encontrar desde los 1 500 hasta los 2 500 m de altitud (Gallegos 1983).

El tipo de vegetación donde predomina la raza mexicana es de bosques de pino-encino, mientras que la raza guatemalteca se encuentra en los bosques mesófilos de montaña, y la antillana en el bosque tropical perennifolio, aunque solo se han encontrado pocos ejemplares de esta última en este tipo de vegetación natural (Barrientos-Priego *et al.* 1992).

El consumo de aguacate va desde la recolección en las selvas como lo hacen los indígenas lacandones (Kashani-pour y McGee 2004) hasta los productos procesados. El aguacate está arraigado en la dieta del mexicano; se producen alrededor de 800 000 toneladas anuales y México es el primer productor mundial con poco más de la tercera parte del total global (aproximadamente dos millones de toneladas anuales en los últimos años). El cultivo del aguacate es muy importante como fuente de empleos e ingresos en el sector rural, ya que ocupa el séptimo lugar en el valor de la producción agrícola nacional y es estratégico para México por su alto impacto socioeconómico en la comunidad rural de 28 entidades productoras.

Parte de la diversidad del aguacate sirve para formar huertos familiares, de los cuales se seleccionan semillas para utilizarse en los viveros comerciales. Por ejemplo, en Michoacán son muy apreciadas las semillas de la población de Tingambato, cercana a Uruapan, que aseguran una fuente de variabilidad con una buena adaptación general a las condiciones regionales. En parcelas donde se desmonta el bosque en zonas serranas, generalmente los agricultores dejan árboles que les son de utilidad, entre estos los de aguacate, que en caso de producir frutos que sean de su agrado, los conservan en la parcela e incluso los llegan a comercializar en mercados locales. Esto es muy común en Los Altos de Chiapas, mientras que en otros estados como Michoacán, Puebla y México, es común encontrar árboles de aguacate “criollo” en los bordes de los linderos o parcelas de cultivo, cuyos frutos son usados para autoconsumo y donde las hojas son muy apreciadas como condimento, ya sea en tamales, sopas, guisos con frijoles y mixiotes, entre otros platillos. También es común que algunas familias siembren en sus huertos o traspatios semillas de frutos que les gustan, contribuyendo así a la aparición de nuevas variedades. El uso del aguacate y de *Persea schiedeana* (chinini) para dar sombra en los cafetales de México es común (Soto-Pinto *et al.* 2000), aunque también se pueden comer los frutos y utilizar los troncos como madera.

Gracias a su diversidad, los programas de mejoramiento genético se han abocado a dos objetivos principales: obtener nuevas variedades cultivadas y seleccionar por-

tainjertos.<sup>3</sup> En el país, solamente dos instituciones están realizando mejoramiento genético: el INIFAP y la Fundación Salvador Sánchez Colín-Cictamex, en colaboración con la Universidad Autónoma Chapingo. En Nayarit, el INIFAP está seleccionando portainjertos tolerantes a la sequía y a una enfermedad denominada “tristeza del aguacatero”, causada por el hongo *Phytophthora cinnamomi*, para lo cual se ha usado germoplasma de las tres razas de aguacate de diferentes regiones del país. Como resultado de este programa, ya se tienen portainjertos tolerantes a sequía y resistentes a *P. cinnamomi*. En el caso de Cictamex y la UACH se están seleccionando portainjertos resistentes a *P. cinnamomi* y la base genética utilizada principalmente es de germoplasma de la raza mexicana proveniente de todo el país. También se está utilizando germoplasma de las razas mexicana y guatemalteca para hacer cruzamientos, con el fin de buscar variedades cultivadas de mejor calidad y que se produzcan fuera de temporada, así como aguacates para la industria, por ejemplo con mayor contenido de ácido oleico (ácido graso de alta calidad).

Como parte de la colaboración entre el Consejo Nacional de Productores de Aguacate (Conapa) y la Red de Aguacate del Sistema Nacional de Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura (Sinarefi), se ha propuesto elegir criollos regionales de aguacate de Michoacán para emplearlos como fuente certificada para la producción de plantas de aguacatero; con tal fin se ha llevado a cabo la búsqueda y recolecta de individuos con características adecuadas para viveros.

Aun cuando no existe ningún programa institucional de seguimiento a la diversidad del aguacate y especies afines en el país, se pueden señalar algunas tendencias que han venido ocurriendo durante los últimos 30 años en varias zonas con respecto al aguacate criollo. En las zonas productoras más importantes de Michoacán ha disminuido la producción de aguacates criollos, al injertarlos con la variedad Hass, la cual es usada en 90% de los huertos en México. Esto ha traído como consecuencia una gran pérdida de germoplasma (aun cuando siempre existe la posibilidad de rescatar el portainjerto criollo con una poda severa). La expansión de la variedad Hass está ocurriendo cada día más en el país debido a su valor comercial, aun en zonas “tradicionales” como Chiapas.

En zonas productoras como las de Michoacán se están eliminando árboles criollos debido a que son hospederos de barrenadores de “huesos” y ramas. La presencia de estas plagas pone en peligro la certificación fitosanitaria necesaria para exportar a Estados Unidos, por lo que se

han emprendido grandes campañas para eliminarlas. Estas acciones contribuyen a erosionar el germoplasma de esas zonas, el cual es abundante para la raza mexicana. Otra situación que está mermando las variedades criollas y poblaciones naturales de aguacate es la introducción de *P. cinnamomi*, ya que el aguacate es muy susceptible a este hongo; por ejemplo, hay regiones que eran famosas por sus criollos, como Atlixco, anteriormente la principal zona productora en el país —donde siempre se ha sabido que existía una gran variación genética (Anderson 1950)— y que sin embargo ha sido devastada por esa enfermedad. Esta también se ha detectado en relictos de vegetación natural en Huatusco, Veracruz, donde crecen el aguacate y especies afines (Violi *et al.* 2006).

La deforestación es otro factor que ha contribuido a la reducción de la diversidad del aguacate. Este cultivo y varias especies relacionadas crecen en bosques y selvas; en el caso de Los Altos de Chiapas se sabe que en los bosques crecen *Persea americana* var. *guatemalensis*, *P. steyermarkii*, *P. nubigena* y *P. schiedeana* (Barrientos-Priego *et al.* 1992); de hecho, el género *Persea* se considera como indicador del bosque mesófilo de montaña (Cayuela *et al.* 2006). Por ejemplo, se estima que en Los Altos de Chiapas quedan actualmente entre 3 700 y 5 250 hectáreas de este tipo de bosque, cifras que contrastan con las 40 000 hectáreas obtenidas por el Inventario Forestal Nacional de México del año 2000 (Cayuela *et al.* 2006). Los factores que contribuyen a la deforestación son la conversión a pastizales para ganado y la extracción de madera (Ramírez-Marcial *et al.* 2001).

Desde los años cincuenta ha habido esfuerzos destinados a establecer y mantener bancos de germoplasma, no todos ellos exitosos. En los años setenta se realizaron exploraciones y recolectas por el entonces INIA (Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, antecesor del INIFAP) que se depositaron en Celaya, Guanajuato, con lo que se conformó un banco de germoplasma que aún existe (Ireta 1977; García e Ichikawa 1979). En los años noventa, investigadores de Cictamex y la UACH realizaron recolectas en México y el extranjero, formando lo que es actualmente el banco de germoplasma más diverso de México (Ben-Ya'acov *et al.* 1992). El Centro Regional Universitario de Occidente (CRUO) de la UACH también realiza recolectas en Veracruz (Escamilla-Prado *et al.* 1992), mientras que el INIFAP, a finales de los años noventa, llevó a cabo exploraciones en el país recolectando principalmente individuos de la raza mexicana con amplia diversidad y como material de propagación de semillas en 97% de lo recolectado (Sánchez-Pérez 1999).

Como parte de las acciones de la Red de Aguacate del Sinarefi se decidió crear el Depositario Nacional de Germoplasma de Aguacate mediante un acuerdo entre el INIFAP y la Fundación Salvador Sánchez Colín-Cictamex, el cual albergará un total de 500 accesiones, más las que se lleguen a recolectar, incluyendo no solo *Persea americana*, sino muchas especies del género y otras afines.

Desafortunadamente, la conservación *ex situ* de aguacate ha enfrentado problemas fitosanitarios, técnicos en algunos casos, y de falta de interés institucional, que se han traducido en pérdidas de accesiones. En el CRUO, ataques de *P. cinnamomi* y *P. citricota*, detectados recientemente (Violi *et al.* 2006), han mermado la colección que contaba con 84 accesiones y que actualmente llegan a alrededor de 10. Sin embargo, esto ha dado la oportunidad de observar individuos con resistencia a estas enfermedades, ya que han pasado más de 10 años en esas condiciones. También se ha perdido gran parte de las recolectas que el INIFAP hizo en Michoacán en los años noventa debido a que no se conservaron en las condiciones adecuadas y por falta de recursos. Un banco de germoplasma del Colegio de Posgraduados en Atlixco, que llegó a albergar 76 accesiones, principalmente de portainjertos con alta tolerancia a estrés biótico y abiótico, fue cerrado en 1997 por falta de interés institucional (Borys *et al.* 1993). Afortunadamente se logró rescatar y propagar dicho germoplasma, y hoy día hay 34 accesiones en la Universidad Autónoma de Nayarit (Salazar-García *et al.* 2004). Todos los esfuerzos de conservación de la diversidad, y sobre todo la *ex situ*, requieren un compromiso institucional y fuentes de financiamiento. Al respecto, en los últimos cuatro años la Sagarpa ha destinado, por conducto del Sinarefi y específicamente de la Red de Aguacate, recursos para el mantenimiento parcial de tres bancos de germoplasma; de estos, los dos más ricos en diversidad convinieron en ser los depositarios nacionales del germoplasma de aguacate.

De alguna forma, la conservación *in situ* se está llevando a cabo en algunas áreas del país. Existen zonas protegidas que albergan especies de *Persea*, entre ellas la Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán, donde crece *Persea hintonii* (Figueroa-Rangel y Olvera-Vargas 2000). Otras reservas, en las que se encuentran también otras especies de *Persea*, son las de Pico de Orizaba y Los Tuxtlas (Veracruz), Benito Juárez (Oaxaca), El Triunfo, Palenque, Lagunas de Montebello y Lacantún (Chiapas). Sin embargo, Lorea-Hernández (2002) reportó que solo las reservas de Los Tuxtlas y El Triunfo incluyen bosque mesófilo de montaña que alberga a *Persea americana*,

por lo que es importante que se creen otras áreas protegidas en el país que incluyan este tipo de vegetación en estados como Oaxaca, Puebla o Guerrero, o se aumente lo existente en Los Altos de Chiapas. Otra opción es promover granjas forestales con diversidad, como lo está haciendo El Colegio de la Frontera Sur en Chiapas (De Jong *et al.* 2006), donde ya se tienen parcelas de muestra para que los indígenas adopten un modelo conservacionista y lo aprovechen. Otra forma de conservación se ve en los cafetales (Moguel y Toledo 1999), que en muchos casos tienen una riqueza amplia que incluye aguacate y *Persea schiedeana*, y también en huertos familiares.

El futuro de la diversidad del aguacate, particularmente de tipos criollos regionales con escaso valor comercial, no es promisorio. Estos tipos dominaban la mayoría de las huertas del país hasta mediados de los años sesenta. Actualmente, 90% de la producción comercial se basa en la variedad Hass cultivada, y considerando que más áreas se suman al esquema de certificación con fines de exportación, las expectativas que enfrentan los aguacates criollos no son alentadoras, ya que poco a poco empezarán a desaparecer, ya sea por eliminación o reemplazo por flujo de genes. Por otra parte, los bosques y selvas donde crecen las especies de *Persea* se han reducido drásticamente y con ello ha aumentado la erosión genética. Se requiere un esfuerzo coordinado y de inversión para mantener esta diversidad, ya que las colecciones *in vivo* en bancos de germoplasma en campo son costosas, por lo que se deben llevar a cabo estudios de inventario y de planeación para realizar exploraciones y recolectas con el fin de conservar la diversidad.

## 8.5 NOPAL

La diversidad del género *Opuntia* se estima actualmente en 76 especies (Guzmán *et al.* 2003). Un análisis corológico de Tamayo (1988), con base en 65 especies de distribución restringida a cuatro o menos unidades geográficas, reveló dos patrones de distribución del género: patrón 1, sursureste de México, con tres regiones: Golfo (una especie de *Opuntia*), sur de México (10 especies) y Chiapas (3); patrón 2, centro-norte de México, con cinco regiones: Altiplanicies (24), Altiplanicies-Sierras Madre (4), Altiplanicies-Noreste de México (3), Altiplanicie Septentrional-Noroeste de México (6) y Noroeste de México (14). Las regiones con mayor riqueza de endemismos son Altiplanicie Meridional (16), Baja California (6), Altiplanicie Septentrional (5) y Planicie Costera No-

roccidental (5) (Reyes-Agüero *et al.* 2005). El hábitat de la mayor parte de las especies silvestres de *Opuntia* es el de matorrales xerófilos; en algunos de estos matorrales, las especies de nopales son dominantes fisonómicos y constituyen los matorrales crasicales de *Opuntia* o nopaleras. En la Altiplanicie Meridional hay nopaleras de *O. leucotricha*, de *O. robusta* y de *O. streptacantha*; en las cuencas del Papaloapan y del Balsas es posible observar matorrales de *O. macdougaliana* y de *O. huajuapensis* (Rzedowski 1978).

Además de las especies silvestres, existen los tipos cultivados de *Opuntia* que pertenecen a varias especies. En la Altiplanicie Meridional se registraron 126 y 243 cultivares, que corresponden a 18 especies (Reyes-Agüero *et al.* 2005; Reyes-Agüero *et al.* en prensa). Estas variantes carecen de reconocimiento taxonómico como subespecies o variedades; solo se registran como cultivares (Reyes-Agüero *et al.* en prensa).

Las principales especies con tipos cultivados son *O. megacantha* (33 cultivares), *O. albicarpa* (22), *O. ficus-indica* (15) y *O. streptacantha* (12) (Reyes-Agüero *et al.* en prensa). La mayor parte de esta riqueza se localiza en los solares de las casas rurales. De esos solares, a partir de la década de los años cincuenta, se obtuvieron los cultivares que ahora cubren unas 66 000 hectáreas de plantaciones comerciales para la producción de tuna en las regiones de Villanueva (Puebla), San Martín de las Pirámides (Estado de México), Actopan (Hidalgo) y Pinos (Zacatecas). Los principales cultivares en estas plantaciones son 'Reina', 'Burrona', 'Cristalina', 'Esmeralda' y 'Gavia', de *O. albicarpa*; 'Blanca Victoria', de *O. hyptiacantha*; 'Amarilla Montesa', 'Naranjona', 'Pico Chulo' y 'Torreaja' de *O. megacantha*. También hay unas 1 300 hectáreas de plantaciones para la producción de xocostles; los cultivares utilizados son 'Xocostle de Las Pirámides', 'Xocostle Blanco' y 'Xocostle Agrío', de *O. joconostle*, y 'Cuaresmeño', de *O. matudae*. Asimismo, solo en Milpa Alta, en el Distrito Federal, se estima que hay más de 25 000 hectáreas de plantaciones para nopalito; además, existen miles de pequeñas parcelas con nopalito dispersas en el centro-norte y norte de México. El cultivar más extendido de nopalito es 'Amarilla de Milpa Alta', de *O. ficus-indica*; también hay plantaciones de los cultivares 'Copena V1', 'Copena F1' y 'Atlixco', de la misma especie; en Valtierra, Guanajuato, se cultiva comercialmente el híbrido *O. undulata* × *tomentosa*, y en la región de Tequila, Jalisco, se cultiva *O. undulata*, utilizadas también para la producción de nopalito (Fernández *et al.* 2000; Cuevas *et al.* 2001; Gallegos *et al.* 2003; Her-

nández y Flores 2004; Flores 2001). Se estima que hay en México unos 20 000 propietarios de plantaciones comerciales de nopal (Méndez y García 2006). Prácticamente en cada casa rural de la Altiplanicie Meridional y de otras regiones del país existe al menos una planta de *Opuntia*. Esta riqueza de variantes silvestres y cultivadas de nopal se expresa, por ejemplo, en frutos de tonalidades desde verde-amarillo (2.5GY en la escala Munsell) hasta rojo-púrpura (5RP); en frutos con maduración temprana, en abril, y tardía, en diciembre (Gallegos *et al.* 2003), y con una dulzura de 1.74 a 18.92 °Brix (Reyes-Agüero *et al.* 2005). En el caso de las cáscaras de xocostle, su pH va desde 2.9 hasta 4.5 (García-Pedraza *et al.* 2005).

En relación con la caracterización genética del nopal, se han realizado ensayos para la extracción de ADN (Mondragón *et al.* 2000), así como análisis para determinar la expresión diferencial de proteínas en pulpa y cáscara de la tuna en diferentes estadios de maduración, y también sobre ingeniería genética para transferir genes deseables a *Opuntia* (Silos *et al.* 2002a, b). En estos trabajos se observó un considerable número de proteínas (no se menciona el número preciso) con expresión diferencial durante el proceso de maduración. Por otro lado, con el sistema natural de transformación genética mediante *Agrobacterium tumefaciens* se obtuvo una metodología para la integración de genes al genoma del nopal. Otros autores han amplificado el ARN (Esparza *et al.* 2004) y han estudiado los patrones electroforéticos de ARN (Macías *et al.* 2004); asimismo, se ha explorado el patrón de polimorfismos en ADN de diferentes cultivares de nopal (Macías *et al.* 2004). En relación con el ARN amplificado, es muy similar en tamaño entre los cultivares de *Opuntia* que analizaron los autores; del mismo modo, en otros 22 cultivares analizados en los que se revisaron los polimorfismos de ADN, tampoco se encontraron diferencias significativas entre cultivares, pues la longitud del ADN amplificado fue similar. En resumen, el nopal está prácticamente excluido de las plantas de interés para el desarrollo de aplicaciones biotecnológicas por la relativamente escasa importancia económica de sus productos, además de que su manipulación es compleja y su genoma difícilmente se consideraría como modelo, sin embargo, los estudios señalados y varios más son la base para futuros esfuerzos en ese campo (Mondragón 2004).

El nopal es una planta utilizada y consumida por los mexicanos desde tiempos inmemoriales. Se sabe de las poblaciones indígenas de origen chichimeca del Gran Tunal, una gran extensión casi continua de nopaleras que cubría porciones de los actuales estados de San Luis Po-

tosí, Zacatecas, Guanajuato y Jalisco, las cuales cultivaban dicho producto. Dichas nopaleras fueron exterminadas después de la conquista y colonización de la Altiplanicie Meridional en el siglo XVI, con lo que se perdió una gran riqueza biológica y cultural. Sin embargo, una parte de esa herencia chichimeca probablemente persistió en los colonizadores mesoamericanos y españoles, y en los mestizos a los que dieron lugar. Con este mestizaje y sedentarización surgieron los solares. En ellos se desarrolló una gran cantidad de tipos cultivados (véase más adelante). Es decir, de la interacción de *Homo sapiens* y *Opuntia* se obtuvo una gran riqueza de cultivares.

La cultura del nopal y la tuna aún existe y tiene gran importancia económica. Los nopales se aprovechan de diversas maneras, que incluyen la obtención de frutos de pulpa dulce (*O. albicarpa*, *O. cochinerana*, *O. hyptiacantha*, *O. leucotricha*, *O. megacantha*, *O. robusta* y *O. streptacantha*), frutos con cáscara ácida (*O. durangensis*, *O. jocosostle*, *O. leucotricha*, *O. matudae*), variantes para recolectar nopalitas (*O. ficus-indica*, *O. fuliginosa*, *O. hyptiacantha*, *O. leucotricha*, *O. robusta*, *O. streptacantha*), así como para obtener forraje (*O. azurea*, *O. neochrysacantha*, *O. cantabrigiensis*, *O. cochinerana*, *O. guilanchi*, *O. leucotricha*, *O. macrocentra*, *O. macrorrhiza*, *O. microdasys*, *O. rastrera*, *O. robusta* y *O. streptacantha*). Además, se tienen registros de otros usos: para “humanizar”<sup>4</sup> el ambiente del solar, para la elaboración de alimentos y bebidas para humanos (jugo, melcocha, queso de tuna, jarabe, colonche, vino), como pienso para ganado, ornamento, medicina (diurético, antidiabético, *buffer*, para inmovilizar extremidades fracturadas), colorante (betalaninas, cría de la cochinilla para obtener ácido carmínico) y material para construcción (cercos para corrales, fijador de pintura en muros). Se utiliza asimismo para disminuir los efectos de la erosión, en construcción de terrazas, en cercos para delimitar propiedades y en barreras rompevientos (Flores y Aguirre 1979; Figueroa 1984; Puente 2004).

La importancia económica que ha adquirido el nopal en México, sus numerosas variantes útiles, su amplia variación morfológica y el interés de los fitomejoradores motivó a varios autores (Peralta 1983; Colunga *et al.* 1986; Mondragón 2002; Reyes-Agüero *et al.* 2005) a estudiar su variación morfológica. Al respecto se tienen buenos avances en la caracterización morfológica de los cultivares, pero aún falta mucho por hacer. Sobre todo, falta normalizar la nomenclatura científica, incluyendo los cultivares. Según Mondragón (2004), existen programas de fitomejoramiento en el Colegio de Posgraduados

para la producción de tuna sin semillas y fuera de temporada, y en el INIFAP para mejorar la calidad de la tuna y ampliar la época de cosecha.

No se conocen con precisión los cambios que han ocurrido en la diversidad en las últimas décadas y solo se tienen indicios. Algunas especies están en alguna categoría de amenaza de extinción biológica, como *O. chaffeyi*, *O. excelsa*, *O. pachyrrhiza* y *O. rufida* (Hernández y Godínez 1994; Hernández y Bárcenas 1996). De acuerdo con Zimmermann *et al.* (2001), existe un peligro potencial para varias poblaciones de nopal por la posible llegada al país de *Cactoblastis cactorum*. Esta palomilla sudamericana ha sido usada para controlar biológicamente a *Opuntia*, pues en varias partes del mundo (Australia, Sudáfrica, el Caribe) el nopal se considera una plaga. Sobrón *et al.* (2001) indican que las principales áreas de afectación potencial por *C. cactorum* son la zona costera del Golfo de México y el Caribe, y parcialmente la costa del Pacífico, en particular Nayarit y Sinaloa. Así, las poblaciones naturales de *Opuntia* más expuestas a este riesgo potencial en la primera zona serían *O. decumbens*, *O. dillenii*, *O. engelmannii*, *O. humifusa*, *O. macrorrhiza*, *O. pubescens*, y en el Pacífico lo serían *O. ferocantha*, *O. hitchcocki*, *O. rileyi*, *O. robinsonii*, *O. spaguei* y *O. wilcoxii*. Pero igual o más preocupante que la extinción biológica es la pérdida de la cultura del nopal. Un análisis más sistemático de la pérdida de esta riqueza requeriría revisar, por ejemplo, los escritos, los especímenes y las rutas de exploradores como David Griffiths, quien recorrió la Altiplanicie Meridional recolectando nopales entre los siglos XIX y XX. Actualmente, la apreciación de la gente del campo es que la riqueza de cultivares disminuye; con frecuencia hablan de variantes de nopal que conocieron en sus respectivas infancias y que en tiempos recientes ya no han observado. La irregularidad de la nomenclatura común dificulta apreciar la pérdida de riqueza de cultivares. El nombre común para un cultivar suele cambiar, incluso en una misma localidad y, por supuesto, de localidad en localidad; además, son vueltos a nombrar con fines comerciales. Se aprecia en el campo el abandono de solares debido a la emigración rural. Durante el trabajo de campo de Reyes-Agüero *et al.* (2005), varios de los solares visitados estaban en casas habitadas por personas mayores de 65 años, cuyos hijos y nietos ya vivían en ciudades. Así, al parecer, estamos ante una segunda pérdida del acervo cultural.

Se han realizado intentos por documentar y preservar la riqueza biológica de *Opuntia*. Se han conservado ejemplares de cultivares, principalmente en plantaciones



experimentales. Las colecciones que ha estado financiando el Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS) de la Sagarpa, por medio de la Red de Nopal, son cinco: en el Centro del Bachillerato Tecnológico Agropecuario 138 de Villa Hidalgo, Zacatecas (201 accesiones), en las instalaciones de la Universidad Autónoma Chapingo (UACH) en la ciudad de Zacatecas (297), en la Universidad Autónoma de San Luis Potosí (UASLP) y en los campos del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) en San Luis de la Paz, Guanajuato (335) y en la ciudad de San Luis Potosí (142). Otras colecciones de nopal son las de la UACH en sus instalaciones de Chapingo, Estado de México, y en Bermejillo, Durango, y la del INIFAP en sus campos de Calera, Zacatecas; Pabellón, Aguascalientes, y Tecamachalco, Puebla. El número de plantas en cada colección varía de 90 a 240. Existen colecciones de plantas vivas en Estados Unidos, Sudáfrica, Italia y Brasil (Gallegos *et al.* 2004; Mondragón 2004). Se han conservado ejemplares de especies silvestres, principalmente en jardines botánicos de instituciones como la UNAM. También se tienen colecciones de especímenes en los herbarios de la UNAM (2 610 especímenes), el IPN (577), la Universidad de Guadalajara (553), la UASLP (464), el Instituto de Ecología, A.C. (216), y en la UACH (99). En tiempos recientes, el SNICS de la Sagarpa, por medio de la Red de Nopal, ha puesto énfasis en la conservación y el registro de la riqueza biológica del nopal. También ha financiado proyectos para exploración botánica, preparación de catálogos, mantenimiento de plantaciones experimentales, estudios moleculares y fitogeográficos y publicaciones; el SNICS registró ante la International Union for the Protection of New Varieties of Plants los 32 principales cultivares de *Opuntia* (Gallegos *et al.* 2004).

## 8.6 AGAVE

El género *Agave* es endémico de América. En México crecen 150 de sus 200 especies, más 36 taxa infraespecíficos (García-Mendoza 2002). Con 75% de las especies del género, México no es solo su centro de mayor riqueza, sino también su centro de domesticación (Gentry 1982). Su historia de diversificación bajo cultivo y selección humana, la cual comenzó hace 9 000 años por lo menos (Callen 1965), puede dividirse en tres grandes periodos de acuerdo con el uso que ha definido, en primera instancia, los criterios de selección de las variedades durante cada etapa: 1] alimento, 2] bebidas fermentadas y

3] bebidas destiladas (mezcales). El aprovechamiento de sus fibras ha guiado la selección de variantes específicas a lo largo de los tres periodos (Colunga-GarcíaMarín y Zizumbo-Villarreal 2006). Las variedades cultivadas de forma tradicional o comercial durante los 9 000 años que lleva su aprovechamiento en México no han sido descritas académica o legalmente, por lo que las unidades taxonómicas más utilizadas para describir la diversidad de estos recursos fitogenéticos en México han sido, hasta ahora, especie, subespecie y variedad botánica.

Aunque su diversidad agromorfológica a nivel infraespecífico ha sido poco estudiada, existen indicios de que durante su utilización se han generado gran cantidad de variantes.<sup>5</sup> En un estudio realizado en las estribaciones de los volcanes de Colima (sur de Jalisco), en el que se analizó la diversidad de agaves cultivados para producir bebidas destiladas (mezcales), se encontraron más de 20 cultivares tradicionales de los cuales hay evidencia de su diferenciación agromorfológica y genética (Colunga-GarcíaMarín y Zizumbo-Villarreal 2006; Vargas-Ponce *et al.* 2007, 2008). Los resultados de estos estudios indican que es posible suponer que los nombres comunes de las variedades tradicionales pueden usarse como un indicador de su diversidad agromorfológica. Con base en este supuesto, Colunga-GarcíaMarín *et al.* (2007) infieren que hay alrededor de 832 variedades tradicionales de agaves usadas en México como alimento animal, alimento humano, bebidas fermentadas, bebidas destiladas y fibra. Esta inferencia la realizan a partir de los resultados obtenidos en la revisión de 180 fuentes bibliográficas y ocho herbarios, en donde encontraron 832 nombres asignados tradicionalmente a 98 taxa (Gentry 1982). Entre estos hay 72 especies, 13 subespecies y 13 variedades que reciben estos usos. Es necesario confirmar esta cifra ya que puede representar una estimación errónea de los datos. Estudios regionales a profundidad seguramente incrementarían el número de variedades tradicionales en ciertas regiones. Su revisión taxonómica también podría incrementar el número de taxa en ciertas áreas, y establecer sinonimias que lo disminuirían en otras.

Los estudios sobre su diversidad genética también son escasos. Los datos disponibles indican que las variedades cultivadas tradicionalmente mantienen una diversidad genética similar a la encontrada en poblaciones silvestres (Vargas-Ponce *et al.* 2008). En contraste, en las poblaciones manejadas en plantaciones comerciales su diversidad ha disminuido cada vez más, hasta llegar prácticamente a la homogeneidad genética. Esta tendencia ha sido favorecida por la posibilidad de propagar vegetativamente las

variedades seleccionadas y, más recientemente, por la utilización de técnicas de propagación clonal. Tal es el caso del henequén (Galindo-Jaimes *et al.* 2004) y el agave tequilero (Gil-Vega *et al.* 2006).

En México, las especies de agave se distribuyen de manera natural, desde el nivel del mar hasta los 3 000 m, con una marcada abundancia entre los 1 000 y 2 000 m. Se encuentran en todos los estados con excepción de Tabasco. Crecen en dunas costeras, matorrales xerófilos, selvas bajas caducifolias, bosques de pino-encino e incluso en los bosques mesófilos de montaña. Las regiones de mayor riqueza de especies son el Valle de Tehuacán-Cuicatlán, la Sierra Madre Occidental, la zona árida entre Tamaulipas y San Luis Potosí, la zona árida hidalguesa, el Eje Neovolcánico en los límites de Michoacán y el Estado de México, el centro de Jalisco, las montañas de Oaxaca y Chiapas, y los límites de la Altiplanicie y la Sierra Madre Oriental (García-Mendoza 1995). Las áreas de mayor riqueza en variantes cultivadas están aún por definirse.

La mayor parte de la diversidad de los recursos genéticos del género es utilizada por los agricultores tradicionales, tanto para autoconsumo como para comercialización. Solo unos cuantos agricultores y compañías la utilizan con fines comerciales sin hacer un consumo directo de ella. Los agricultores tradicionales generalmente emplean una gran cantidad de variedades locales y mantienen una amplia base genética de ellas. Las agroindustrias, en contraste, hacen un uso muy restringido de la diversidad y mantienen una base genética estrecha. En un estudio en el sur de Jalisco, por ejemplo, Colunga-GarcíaMarín y Zizumbo-Villarreal (2006) encontraron que un solo productor mantenía 11 variedades mezcaleras dentro de su parcela, mientras que en la misma zona, y en toda su área de distribución, la agroindustria del tequila solo utiliza la variedad azul de *A. tequilana*. Lo mismo ocurre en la agroindustria henequenera, que solo utiliza la variedad tradicional *sac ki* de *A. fourcroydes*.

El único híbrido conocido, producto de un programa de mejoramiento de cruza y retrocruza, es el H11648, cultivado en Tanzania para la producción de sisal en África oriental (Lock 1962). En México, este híbrido no se ha utilizado con éxito, y tampoco se han desarrollado programas de mejoramiento equivalentes. Instituciones como CIATEJ, CICY, Cinvestav, la UACH, y empresas como Tequila Sauza, están financiando programas de mejoramiento del henequén y el tequila seleccionando líneas elite y propagándolas a escala muy pequeña. Dada la estrecha base genética de estos cultivos, debido a su propagación vegetativa, se está buscando incrementar su

diversidad por medio de técnicas biotecnológicas. Estos programas no contemplan la utilización de la diversidad existente en los acervos genéticamente cercanos, como los parientes silvestres y otros cultivares derivados del mismo acervo ancestral.

Dado que muy poco del germoplasma disponible en este género ha pasado a un cultivo comercial, es de esperarse que sus niveles de diversidad se hayan mantenido altos. Dos estudios ilustran el cambio en los niveles de diversidad cuando los cultivos han pasado del cultivo tradicional, con una amplia gama de criterios de selección, al comercial, con criterios estrechos. El cultivo del henequén en Yucatán pasó, de principios del siglo xx a los años ochenta, de ocho a tres variantes cultivadas, una de ellas prácticamente extinta y otra con una densidad sumamente baja (Colunga-GarcíaMarín y May-Pat 1993). De forma similar, el cultivo del agave tequilero en Amatitán-Tequila, Jalisco, pasó, en ese mismo periodo, de nueve a cinco variantes cultivadas, con el predominio prácticamente exclusivo de la variedad azul (Valenzuela-Zapata 1994).

Las acciones de generación y conservación de la diversidad han estado a cargo, principalmente, de los agricultores tradicionales, quienes la mantienen en sus parcelas mediante la selección continua de germoplasma silvestre, el manejo de poblaciones del gradiente silvestre-domesticado y la conservación de cultivares antiguos, como ha sido documentado para el germoplasma mezcalero en el sur de Jalisco (Colunga-GarcíaMarín y Zizumbo-Villarreal 2006).

Instituciones como la UNAM, el CICY, el INIFAP (García-Mendoza 1998; Paz *et al.* 2002; Colunga-GarcíaMarín 2004) y la Universidad de Guanajuato, y empresas como Tequila Sauza, han mantenido desde hace años colecciones vivas en sus jardines botánicos o en sus colecciones de trabajo. De igual forma, el CICY y la UACH han mantenido colecciones *in vitro* de germoplasma de henequén, mezcaleros y tequileros. El Sistema Nacional de Recursos Fitogenéticos (Sinarefi) de la Sagarpa ha intentado coordinar y auspiciar estos esfuerzos por medio de la creación de una Red de Agaváceas y el financiamiento de proyectos. Dicha red, en su estrategia 2005-2006 (Parrá 2005) estableció la conservación *in situ* y la *ex situ* como acciones prioritarias. Estos esfuerzos, sin embargo, solo han cristalizado parcialmente, debido sobre todo a la falta de recursos económicos.

Dada la dinámica de utilización y conservación observada a la fecha, se espera que una parte de los agricultores tradicionales continúe favoreciendo y manteniendo

una alta diversidad en sus cultivos, mientras que las agroindustrias y las políticas estatales continúen favoreciendo una reducción de la misma. Los agricultores tradicionales que se encuentran bajo una fuerte presión tanto de las agroindustrias como de las políticas estatales pueden perder parte de la diversidad generada. Esto fue lo que ocurrió con el henequén en la Península de Yucatán y el agave tequilero en el área de Amatitán-Tequila durante el siglo pasado.

La conservación y generación de nuevo germoplasma será relevante para el futuro de las industrias que cobran cada vez más importancia, como la de los mezcales y la del tequila, y que ya han enfrentado problemas fitosanitarios debido a la homogeneidad genética de los cultivos. Se requiere, sin embargo, un cambio en su enfoque productivo y legal, que busque la diversificación en lugar de la homogenización.

## 8.7 CONCLUSIONES

Se presenta una serie de temas comunes al revisar la diversidad de los cinco grupos de especies comentados en este capítulo. Obviamente, hay una gran diversidad tanto agromorfológica como genética en estos grupos, lo cual no es sorprendente dado que nuestro país es centro de domesticación y diversidad para ellos. Esta diversidad ocurre tanto a nivel interespecífico (diferentes especies, generalmente dentro de un mismo género) como infraespecífico (distintos tipos o variedades dentro de una especie). Esta diversidad incluye no solo especies domesticadas y sus variantes, sino también parientes silvestres que contribuyen al “pool” de germoplasma existente. El concepto de raza es comúnmente utilizado en varios de estos grupos para describir y clasificar la diversidad infraespecífica con base en similitudes y diferencias agromorfológicas (y aun bioquímicas como es el caso del frijol), aunque aun dentro de una raza existe gran variación a este respecto. Con el advenimiento de marcadores moleculares se ha avanzado en el análisis y la comprensión de la diversidad genética de estas especies en casi todos los grupos estudiados. Los datos moleculares confirman la gran diversidad existente, pero en muchos casos difieren de la visión dada por los análisis agromorfológicos, ya que muestran gradientes de variación más que grupos discretos. En general, los datos moleculares muestran patrones de aislamiento por distancia, indicando la importancia del flujo génico y la hibridación en los patrones de diversidad, aunque claramente esto depende del sistema

reproductivo (p. ej. especies predominantemente alógamas como el maíz *versus* autógamias como el frijol) y de la historia de vida de las especies en cuestión (p. ej. árboles de aguacate *versus* plantas anuales como el maíz). En general, los patrones de diversidad están altamente asociados con patrones espaciales, como altitud (maíz y aguacate) o distribución de precipitación (nopales y agaves).

Aun cuando el ambiente y la biología de estas especies son claves para entender su diversidad, en las especies domesticadas de los grupos estudiados esta no puede ser entendida del todo sin referirse a los seres humanos. Ellos domesticaron estas especies, y gracias a sus intereses, preferencias, acciones y creencias culturales han contribuido a diversificarlas, moviéndolas en ambientes distintos, sembrándolas en diversos lugares y dándoles usos distintos. En general, son los pequeños agricultores del país, en su mayor parte indígenas y campesinos, los que continúan manteniendo esta diversidad en sus campos, solares, huertas y plantaciones. Sin embargo, esta diversidad no solo es patrimonio de estos agricultores, sino del pueblo mexicano, ya que está íntimamente asociada con la cultura culinaria del país y sobre todo con la identidad nacional; aunque hay variaciones regionales, ¿quién no aprecia un buen taco de nopalitos con aguacate, unos frijoles de olla o una copa de tequila o mezcal?

Otro aspecto que resalta es que no existen esfuerzos sistemáticos para dar seguimiento a los cambios que se han y siguen dando en la diversidad de estos grupos y, por ende, de la diversidad de recursos genéticos nativos del país. El consenso es, sin embargo, que la diversidad ha disminuido y esta tendencia continúa hoy día. Varios factores están asociados con esta tendencia e incluyen fundamentalmente el impacto de la creciente participación en el mercado de todo el sector rural, cambios demográficos y culturales en las poblaciones rurales y urbanas, así como de políticas de apoyo al sector rural. Los mercados generalmente se enfocan en un número limitado de variantes —como en el caso de la variedad Hass del aguacate y el del agave con la especie *A. tequilana*— o requieren estándares fitosanitarios que pueden tener efectos sobre la diversidad, como es el caso del aguacate para el mercado de exportación. Además, en productos como el maíz nuestros pequeños productores, la gran mayoría con siembras de apenas una o pocas hectáreas, se encuentran en condiciones desfavorables al competir con los grandes productores internacionales que siembran miles de hectáreas. Los cambios demográficos, en particular la migración y el abandono de la agricultura al convertirse en una actividad económica poco rentable, afec-

tan grandemente la diversidad de muchos de estos cultivos. La reducción en el número de usos de estas especies y sus variantes, asociada con cambios culturales, y la sustitución de muchos de los productos derivados de la diversidad de estos cultivos por otros obtenidos a través del mercado, contribuyen a disminuir esta diversidad. Sin embargo, la cultura continúa desempeñando un papel preponderante en la conservación de mucho de esta diversidad. Por ejemplo, en el caso del maíz se supuso que la producción local se reduciría considerablemente con el Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLC), sin embargo esto no ha sucedido. Los agricultores campesinos, con sus múltiples usos, intereses y ambientes, continúan manteniendo una gran diversidad, llevando a cabo una conservación *de facto*. Las políticas de apoyo al sector rural han cambiado y en la medida que no contribuyen a mantener la viabilidad económica de la agricultura campesina también contribuyen a la pérdida de diversidad. Políticas de comercialización, que pueden tener excelentes intenciones, pueden llevar a pérdidas dramáticas de la diversidad. Tal ha sido el caso con la denominación de origen para el tequila, que al enfocarse en un solo tipo de agave —ignorando la gran riqueza y diversidad de variantes que brindan productos diversos— ha contribuido a la erosión de esta diversidad. A nivel de comercialización de cultivos y especies nativas se requiere un cambio de enfoque, tanto productivo como legal, que busque la diversificación en lugar de la homogenización. La globalización de los mercados ofrece oportunidades para la diversificación, ya que en el mundo ha crecido el interés por los productos agrícolas que conservan la diversidad biológica y cultural en sus áreas de origen. Sin embargo, aprovechar estas oportunidades requiere visión, esfuerzo, investigación y acciones concretas.

Hay varios esfuerzos de conservación en el país, aun cuando estos varían en intensidad e importancia en los grupos analizados. Algunos están bien definidos en el área de conservación *ex situ*, como en los casos del maíz y del frijol, especies que son de fácil conservación en bancos de germoplasma, así como en los de aguacate y agave, pero estos han sido mucho más limitados ya que requieren técnicas de manejo en conservación más difíciles. El cuadro 8.1 presenta un resumen del número de accesiones de las especies aquí tratadas en diferentes bancos de germoplasma del país, lo que muestra que el maíz y el frijol son las especies con el mayor número de accesiones (aunque no suficiente) —incluyendo parientes silvestres y múltiples especies en el caso del frijol—,

lo que no es sorprendente dada la importancia nacional de dichas especies y que su conservación *ex situ* es relativamente simple. En el caso de las otras tres especies, perennes y de más difícil conservación *ex situ*, el número de accesiones es mucho menor, lo cual sin embargo preocupa un poco dada la gran diversidad no solo infraespecífica sino también interespecífica que existe. Estos datos deben interpretarse con cuidado porque no queda claro el grado de duplicidad que puede existir en estas colecciones, así como el hecho de que provienen de una base de datos internacional, con el consecuente retardo en su actualización, y que recientemente ha habido adiciones importantes (véase más adelante y el cuadro 8.2).

La conservación *ex situ* enfrenta dificultades de financiamiento y compromiso institucional, aun cuando hay esfuerzos por mejorar y hacer más eficiente la conservación de recursos genéticos en el país, como el Sinarefi, creado por el gobierno de México. Este sistema tiene como objetivo consolidar las actividades de diferentes actores del sector agrícola relacionadas con la investigación y uso de germoplasma. El sistema fue creado en 2002 y en él participan 21 organizaciones, incluidos la Sociedad Mexicana de Fitogenética (Somefi) y agricultores locales. El sector privado está representado por la Unión General Obrera, Campesina y Popular (UGOCP) y las Fundaciones Produce.<sup>6</sup> El sistema está organizado en 10 redes nacionales que promueven la ejecución de proyectos que responden tanto a prioridades nacionales como a compromisos internacionales. Las redes se concentran en la conservación y la utilización de maíz, frijol, aguacate, nopal (*Opuntia tomentosa*), anonáceas, agave (especialmente el agave azul para la producción de tequila, *Agave tequilana*), frutales, plantas ornamentales y hortalizas nativas. También incluye una red de apoyo para los bancos de germoplasma debido a la gran diversidad contenida en las colecciones *ex situ* y su vulnerabilidad potencial (Henríquez y Hernández 2004). El cuadro 8.2 presenta una relación de las recolectas realizadas con apoyo de la red entre 2004 y 2006, y muestra un incremento importante en el acervo de accesiones, particularmente para los agaves, el aguacate y los nopales que, de acuerdo con el cuadro 8.1, presentaban un número de accesiones pequeño tomando en cuenta la gran diversidad existente en el país.

Por otra parte, la conservación *in situ* de parientes silvestres es relativamente incipiente y está muy afectada por la deforestación y los cambios en el uso del suelo. La conservación en fincas o en campos de agricultores continúa *de facto*, como se dijo antes, en los sistemas agrícola-

**Cuadro 8.2** Recolectas realizadas con el apoyo de Sinarefi (2004-2006)

Red	COLECCIONES VIVAS		Ubicación
	Núm.	Concepto	
Agaváceas	320	Individuos	CICY
	100	Individuos <i>in situ</i>	CICY, con productores de Jalisco
	110	Accesiones	ITA, Jalisco
	220	Ejemplares conservados	UNAM
	55	Recolectas	UNAM
	568	Accesiones	Universidad de Guanajuato
	900	Genotipos establecidos	Universidad de Guanajuato
Aguacate	200	Genotipos <i>in vitro</i>	Universidad de Guanajuato
	561	Accesiones	BG-Cictamex
	488	Accesiones	BG-INIFAP-Cebaj
Anonáceas	300	Individuos de chirimoya	BG-Cictamex
	159	Individuos de ilama	BG-ITA 25 de Cd. Altamirano, Gro.
Banco de germoplasma	1 000	Plantas en vivero	BG-ITA 25 de Cd. Altamirano, Gro.
	571	Recolectas	Jardín Agrobotánico del CRUPY-UACH
Frijol	54	Recolectas	CUCBA-Universidad de Guadalajara
	196	Accesiones	BG-INIFAP-Cevamex
	100	Accesiones	INIFAP-Cebaj
Maíz	216	Recolectas en el noroeste	INIFAP-CEVY, Nay., Sin. y Cevamex
	190	Accesiones	UAT
	43	Accesiones	Universidad Autónoma A. Narro
	529	Muestras de 20 cultivos	Bancos comunitarios en Oaxaca
	540	Recolectas	INIFAP, Chiapas
Nopal	335	Accesiones	INIFAP, Guanajuato
	142	Accesiones	INIFAP, San Luis Potosí
	297	Accesiones	UACH, El Orito, Zac.
	201	Accesiones	CBETA 138, Villa Hidalgo, Zac.
	46	Recolectas	UASLP

Fuente: <<http://www.sinarefi.org/SINAREFI.htm>>, consultada en el año 2007.

las campesinos, pero sin ningún apoyo formal y a pesar de muchos factores en contra. Aunque ha habido algunos proyectos piloto de conservación en fincas, en particular de maíz y frijol, financiados en su mayoría por donantes extranjeros, no hay esfuerzos sistemáticos o como parte de una estrategia nacional de conservación.

El país ha sufrido grandes cambios desde que en el siglo pasado se iniciaron los estudios sistemáticos de la diversidad de los cultivos nativos objeto de este capítulo. El país pasó de ser eminentemente rural y con una economía basada en la agricultura, a uno muy industrializa-

do y urbano, inserto en los procesos de globalización. Sin embargo, a pesar de estos cambios dramáticos, todas estas especies mantienen un papel importante en la dieta de la población urbana y rural, o se han convertido en cultivos con alto valor comercial, vendidos directamente o como productos derivados en el mercado global. Todas estas especies tienen un gran valor cultural, y de una u otra manera forman parte de lo que define la identidad de millones de mexicanos. En muchos casos estas especies continúan siendo producidas a pesar de que “no son negocio”. La diversidad de estas especies y su dinámica

están indisolublemente ligadas al futuro de la población rural y al valor cultural y de identidad que sigan teniendo. Sin embargo, no se les puede pedir a los campesinos que continúen sembrando y manteniendo esta diversidad a costa de su bienestar y el de sus familias. La sociedad mexicana debe decidir cuál es el valor de esta diversidad para el país. Si se admite y reconoce su valor social, entonces hay que asumir la responsabilidad por ello, ya sea por medio de recolectar, estudiar y guardar la diversidad asociada a estas especies en bancos de germoplasma, adecuadamente equipados y financiados, así como apoyando a los campesinos que mantienen esta diversidad con intervenciones que disminuyan los costos que enfrentan y premien sus esfuerzos como custodios de la diversidad. Esto a su vez requiere una política nacional explícita, con financiamiento concreto, que defina claramente una serie de acciones interrelacionadas de conservación *in situ* y *ex situ* para la diversidad de especies cultivadas nativas y sus parientes silvestres en el país.

## NOTAS

- 1 En varias secciones de este capítulo se hace referencia a dos categorías taxonómicas que vale la pena explicar desde el inicio. La primera es la de "raza", que se puede definir como una subcategoría taxonómica de clasificación de los seres vivos, inferior a la especie, cuyos caracteres diferenciales se perpetúan por herencia. Es una forma de agrupamiento dentro de una especie según un conjunto de rasgos físicos comunes y hereditarios. La otra es la de "variedad criolla", que se refiere a poblaciones de plantas domesticadas que tienen un origen histórico y geográfico común, identidad propia, carecen de mejoramiento genético formal, son fenotípica y genotípicamente heterogéneas, tienen adaptación local y se asocian con los métodos menos intensivos y tradicionales de producción agrícola (adaptado de Camacho *et al.* 2005).
- 2 Estructura se refiere al patrón de agrupamiento de diferentes marcadores en una misma muestra de distintas poblaciones de maíz. En el caso referido de Pressoir y Berthaud se encontró que con marcadores morfológicos (características de la mazorca) en las poblaciones muestreadas se detectaba un agrupamiento de acuerdo con las comunidades donde se obtuvieron las muestras. Sin embargo, al utilizar marcadores moleculares neutros no se detectó agrupamiento alguno, de ahí la discrepancia.
- 3 Tipos de aguacate que son valiosos por sus características agronómicas o de adaptación, mas no por las de sus frutos, y que se utilizan para injertarlos en aquellos tipos de aguaca-

te que sí lo son por sus frutos. Si se utilizan árboles ya establecidos, se reduce el tiempo en que una variedad deseable produce frutos sin tener que esperar a que el árbol se desarrolle desde la semilla.

- 4 Se refiere, en el caso de los solares, a hacerlos habitables, cómodos, capaces de satisfacer las necesidades humanas, ya que las plantas que se incluyen en el solar cumplen, entre otras, esas funciones. (Véase el capítulo 18 del volumen I).
- 5 Variante se refiere a cualquier categoría infraespecífica de la cual aún no se ha definido su nivel taxonómico: subespecie, variedad, forma, variedad agrícola.
- 6 Asociaciones que integran las demandas tecnológicas de los productores y apoyan la investigación y la transferencia de tecnología al sector agropecuario.

## REFERENCIAS

- Acosta, J.A., T.S. Herrera, B. Aguilar y P. Gepts. 1999. Seed yield of segregating populations of cultivated x wild *Phaseolus vulgaris*. *Annual Report of the Bean Improvement Cooperative* **42**: 93-94.
- Acosta, J.A., S.H. Guzmán, G. Esquivel y R. Rosales. 2002. El mejoramiento del frijol (*Phaseolus vulgaris*) en México: avances y perspectivas, en J.M. Martínez, F. Rincón y G. Martínez (eds.), *El fitomejoramiento ante los avances científicos y tecnológicos. Memoria del Simposio. XIX Congreso Nacional de Fitogenética, Somefi, México*, pp. 20-27.
- Acosta G., J.A., J.S. Muruaga, F. Cárdenas y M.M. Khairallah. 1996. Estrategias para la utilización de germoplasma de *Phaseolus* en el mejoramiento genético. *Ciencia* **47**: 149-160.
- Acosta G., J.A., H. González R., C.A. Torres, I. Cuéllar R., E. Acosta D. *et al.* 2004. Impacto de la genotecnia en el cultivo del frijol en México, en R.E. Preciado y S.A. Ríos (eds.), *Memoria del simposium Aportaciones de la genotecnia en la agricultura*. Sociedad Mexicana de Fitogenética, Chapingo, pp. 36-57.
- Adam B., A.F., M. Sévignac, H. Bannerot y M. Dron. 1994. SCAR, RAPD, and RFLP markers linked to the dominant gene (Are) conferring resistance to anthracnose. *Theoretical and Applied Genetics* **88**: 865-870.
- Anderson, E., y H. Cutler. 1942. Races of *Zea mays*: I. Their recognition and classification. *Annals of the Missouri Botanical Garden* **21**: 69-88.
- Anderson, E. 1950. Variation in avocado at the Rodiles plantation. *Ceiba* **1**: 50-55.
- Aquino, P., F. Carrión, R. Calvo y D. Flores. 2001. Selected maize statistics, en P.L. Pingali (ed.), *CIMMYT 1999-2000 World Maize Facts and Trends Meeting. World maize needs: Technological opportunities and priorities for the public sector*. CIMMYT, México, pp. 45-57.

- Aragón, F., E. Paredes, H. Castro, S. Taba y J. Díaz. 2000. Conservation in situ and improvement of milpas in the Sierra Norte de Oaxaca, Mexico, en GRCP (coords), *Scientific basis of participatory plant breeding and conservation of genetic resources*. Abstracts Report No. 25. University of California, Division of Agriculture and Natural Resources, Genetic Resources Conservation Program, Davis, CA.
- Ashworth, V.E.T.M., y M.T. Clegg. 2003. Microsatellite markers in avocado (*Persea americana* Mill.): Genealogical relationships among cultivated avocado genotypes. *Journal of Heredity* **94**:407-415.
- Avendaño, C.H. 2001. *Diversidad fenotípica e isoenzimática en cultivares nativos de frijol común* (*Phaseolus vulgaris* L.) tipo negro. Tesis de maestría en Ciencias, Colegio de Postgraduados, Montecillo, Texcoco.
- Barrientos-Priego, A.F., M.W. Borys, E. Escamilla-Prado, A. Ben-Ya'acov, E. de La Cruz-Torres *et al.* 1992. A study of the avocado germplasm resources, 1988-1990. IV. Findings in the Mexican Gulf region. *Proceedings of the Second World Avocado Congress* **1**: 551-558.
- Barrientos-Priego, A.F., y L. López-López. 2000. Historia y genética del aguacate, en D. Téliz, H. González, J. Rodríguez y R. Dromundo (eds.), *El aguacate y su manejo integrado*. Mundi-Prensa, México, pp. 19-31.
- Beebe, S., P.W. Sckroch, J. Thome, M.C. Duque, F. Pedraza *et al.* 2000. Structure of genetic diversity among common bean landraces of Middle American origin based on correspondence analysis of RAPD. *Crop Science* **40**:264-273.
- Bellon, M.R., y S.B. Brush. 1994. Keepers of maize in Chiapas, Mexico. *Economic Botany* **48**:196-209.
- Bellon, M.R., y J. Risopoulos. 2001. Small-scale farmers expand the benefits of improved maize germplasm: A case study from Chiapas, Mexico. *World Development* **29**: 799-811.
- Bellon, M.R., J. Berthaud, M. Smale, J.A. Aguirre, S. Taba *et al.* 2003. Participatory landrace selection for on farm conservation: An example from the Central Valleys of Oaxaca, Mexico. *Genetic Resources and Crop Evolution* **50**:401-416.
- Bellon, M.R., M. Adato, J. Becerril y D. Mindek. 2006. Poor farmers' perceived benefits from different types of maize germplasm: The case of creolization in lowland tropical Mexico. *World Development* **34**: 113-129.
- Ben-Ya'acov, A., G. Bufler, A.F. Barrientos-Priego, E. de la Cruz-Torres y L. López-López. 1992. A study of avocado germplasm resources, 1988-1990. I. General description of the international project and its findings. *Proceedings of the Second World Avocado Congress*, pp. 535-541.
- Bergh, B., y N. Ellstrand. 1986. Taxonomy of the avocado. *California Avocado Society Yearbook* **70**: 135-146.
- Bergh, B.O. 1975. Avocados, en J. Janick y J.N. Moore (eds.), *Advances in fruit breeding*. Purdue University Press, West Lafayette, Indiana, pp. 541-567.
- Bergh, B.O., y E. Lahav. 1996. Avocados, en J. Janick y J.N. Moore (eds.), *Fruit breeding*, Vol. I: *Tree and tropical fruits*. John Wiley, Nueva York, pp. 113-166.
- Berthaud, J., y P. Gepts. 2004. Assessment of effects on genetic diversity, en *Maize and biodiversity: The effects of transgenic maize in Mexico*. North American Commission for Environmental Cooperation, Montreal, en <[www.cec.org/pubs\\_docs/documents/index.cfm?varlan=english&ID=1417](http://www.cec.org/pubs_docs/documents/index.cfm?varlan=english&ID=1417)> (consultado en abril de 2008).
- Borys, M.W., H. Leszczyńska-Borys, S. Ramírez-Marañón y L. Castro. 1993. An avocado relative: *Beilschmiedia anay* (Blake) Kosterm. A fruit source. *California Avocado Society Yearbook* **77**: 125-136.
- Brush, S.B., y H.R. Perales. 2007. A maize landscape: Ethnicity and agro-biodiversity in Chiapas, Mexico. *Agriculture, Ecosystems, and Environment* **121**:211-221.
- Bye, R., y C. Qualset. 2002. *Conservation of genetic diversity and improvement of crop production in Mexico: A farmer-based approach*. The McKnight Foundation. Collaborative Crop Research Program.
- Callen, E.O. 1965. Food habits of some Pre-Columbian Mexican Indians. *Economic Botany* **19**:335-343.
- Camacho, T.C., N. Maxted, M. Scholten y B. Ford-Lloyd. 2005. Defining an identifying crop landraces. *Plant Genetic Resources: Characterization and Utilization* **3**:373-384.
- Cárdenas, F.A. 1968. Las leguminosas de grano, en *Memorias III Congreso Nacional de Fitogenética*. Sociedad Mexicana de Fitogenética, pp. 340-360.
- Cárdenas, F.A. 1984. *Clasificación preliminar de los frijoles en México*. Folleto técnico núm. 81, INIFAP-SARH, México.
- Cárdenas, F.A., J.S. Muruaga y J.A. Acosta. 1996. *Catálogo: banco de germoplasma de Phaseolus spp. del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias*. INIFAP-CONABIO, Campo Experimental Toluca, Zinacantepec, Méx.
- Cárdenas, F.A. 2000. Investigación agrícola sobre frijol en México durante el periodo 1943 a 1980. *Agricultura Técnica en México* **26**:63-78.
- Cardona, C., J. Kornegay, C.E. Posso, F. Morales y H. Ramírez. 1990. Comparative value of four arcelin variants in the development of dry bean lines resistant to the Mexican bean weevil. *Entomological Experiment Applied* **56**: 197-206.
- Cayuela, L., D.J. Golicher y J.M. Rey-Benayas. 2006. The extent, distribution, and fragmentation of vanishing montane cloud forest in the highlands of Chiapas, Mexico. *Biotropica* **38**:544-554.
- Chao, C.T., A.F. Barrientos-Priego, J.C. Reyes-Alemán y P.S. Devanand. 2003. Genetic relationships among avocado accessions from California and Mexico characterized by AFLP markers. *Proceedings of the V World Avocado Congress*, Málaga, España, pp. 208-209.

- Chávez-Servia, J.L., L.M. Arias-Reyes, D.I. Jarvis, J. Tuxill, P. Eyzaguirre y D. Lope-Alzina. 2002. Proceedings of a Symposium: Managing crop diversity in traditional agroecosystems, 13-16 February 2002, Mérida, México. International Plant Genetic Resources Institute, Roma.
- Clegg, M.T., M. Kobayashi y J.-Z. Lin. 1999. The use of molecular markers in the management and improvement of avocado *Persea americana* Mill. *Revista Chapingo, Serie Horticultura* 5: 227-231.
- Cleveland, D.A., D. Soleri, F. Aragón, J. Crossa y P. Gepts. 2005. Detecting (trans) gene flow to landraces in centers of crop origin: Lessons from the case of maize in Mexico. *Environmental Biosafety Research* 4: 187:208.
- Colunga, P., E. Hernández y A. Castillo. 1986. Variación morfológica, manejo agrícola tradicional y grado de domesticación de *Opuntia* spp. en el Bajío guanajuatense. *Agrociencia* 65: 7-49.
- Colunga-GarcíaMarín, P., y F. May-Pat. 1993. Agave studies in Yucatán, Mexico I. Past and present germplasm diversity and uses. *Economic Botany* 47: 312-327.
- Colunga-GarcíaMarín, P. 2004. Colección mexicana de germoplasma de *Agave* spp., en G. Carnevali, V. Sosa, J.L. León de la Luz y J. León Cortés (eds.), *Colecciones biológicas. Centros de Investigación Conacyt*. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, México, pp. 18-19.
- Colunga-GarcíaMarín, P., y D. Zizumbo-Villarreal. 2006. Tequila and other agave spirits from west-central Mexico: Current germplasm diversity, conservation, and origin. *Biodiversity and Conservation* 16: 1653-1667.
- Colunga-GarcíaMarín, P., D. Zizumbo-Villarreal y J. Martínez-Torres. 2007. Tradiciones en el aprovechamiento de los agaves mexicanos: una aportación a su protección legal y conservación biológica y cultural, en P. Colunga-GarcíaMarín, A. Larqué, L. Eguiarte y D. Zizumbo-Villarreal (eds.), *En lo ancestral hay futuro: del tequila, los mezcales y otros agaves*. CICEX, Conacyt-CONABIO-INE, Mérida, pp. 229-252.
- Cuevas, S., J.M. Pino y H. Lara. 2001. Importancia económica del Nopal (*Opuntia ficus-indica*) en Milpa Alta, D.F. México, *Memorias IV Congreso Mexicano de Etnobiología*. ITA-6 Asoc, Huejutla, Hgo.
- De Jong, B.H.J., R. Tipper y J. Taylor. 1997. A framework for monitoring and evaluating carbon mitigation by farm forestry projects: Example of a demonstration project in Chiapas, Mexico. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 2: 231-246.
- Debouck, D.G., y J. Smartt. 1995. Beans, en J. Smartt y N.W. Simmonds (eds.), *Evolution of crop plants*. Longman, Harlow, UK, pp. 287-294.
- Delgado, A., R. Bibler y M. Lavin. 2006. Phylogeny of the genus *Phaseolus* (Leguminosae): A recent diversification in an ancient landscape. *Systematic Botany* 31: 779-791.
- Doebley, J.F., M.M. Goodman y C.W. Stuber. 1985. Isozymic variation in the races of maize from Mexico. *American Journal of Botany* 72: 629-639.
- Doebley, J.F. 2004. The genetics of maize evolution. *Annual Review of Genetics* 38: 37-59.
- Dyer, G.A., y C.O. Qualset. 2000. Land distribution and crop allocation at the village level: Breeding, conservation, and welfare, en GRCP (coords), *Scientific basis of participatory plant breeding and conservation of genetic resources*. Abstracts Report No. 25. University of California, Division of Agriculture and Natural Resources, Genetic Resources Conservation Program, Davis, CA.
- Escamilla-Prado, E., J.D. Robledo-Martínez, J.R. Aguilar-Rodríguez, O. Prieto-Riverol y E. Pavón-Hernández. 1992. *Recursos genéticos de aguacate en el centro de Veracruz*. Memoria del XIV Congreso Nacional de Fitogenética. Sociedad Mexicana de Fitogenética-Universidad Autónoma de Chiapas, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.
- Esparza, E., L. Reveles, L.A. Sáenz, F.J. Macías, R. Bañuelos et al. 2004. Amplificación del ARN mensajero de HSP-70 por RT-PCR en diferentes cultivares de nopal, en G. Esparza, M.A. Salas, J. Mena y R.D. Valdez (eds.), *Memoria del IX Congreso Nacional y VII Congreso Internacional sobre Conocimiento y Aprovechamiento del Nopal*. Universidad Autónoma Chapingo-Universidad Autónoma de Zacatecas-Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias, Zacatecas.
- Espinosa P.H., C. Arredondo, V.M. Cano G., A.M. Canseco L. y F. Vázquez Q. 2002. *La materia prima para producir el mezcal oaxaqueño. Catálogo de la diversidad de agaves*. INIFAP-Sagarpa, Folleto Técnico 2, Oaxaca.
- Fernández, M.R., C. Mondragón, F. Gutiérrez, L.A. Sáenz, J.A. Zegbe et al. 2000. *Principales cultivares mexicanos de nopal tunero*. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, San Luis de la Paz, Guanajuato.
- Fiedler, J., G. Bufler y F. Bangerth. 1998. Genetic relationships of avocado (*Persea americana* Mill.) using RAPD markers. *Euphytica* 101: 249-255.
- Figuroa, F. 1984. *Estudio de las nopaleras cultivadas y silvestres sujetas a recolección para el mercado en el altiplano potosino-zacatecano*. Tesis profesional, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, San Luis Potosí.
- Figuroa-Rangel, B.L., y M. Olvera-Vargas. 2000. Regeneration patterns in relation to canopy species composition and site variables in mixed oak forests in the Sierra de Manatlán Biosphere Reserve, Mexico. *Ecological Research* 15: 249-261.
- Flores, C. 2001. *Producción, industrialización y comercialización de nopalitos*. Centro de Investigaciones Económicas Sociales y Tecnológicas de la Agroindustria y la Agricultura Mundial, Universidad Autónoma Chapingo, Montecillo, Texcoco.
- Flores, V.C., y J.R. Aguirre. 1979. *El nopal como forraje*. Universidad Autónoma Chapingo, Montecillo, Texcoco.



- Galindo-Jaimes, L., M. González-Espinosa, P. Quintana-Ascencio y L. García-Barrios. 2002. Tree composition and structure in disturbed stands with varying dominance by *Pinus* spp. in the highlands of Chiapas, Mexico. *Plant Ecology* **162**: 259-272.
- Gallegos, C., J. Cervantes, J. Corrales y G. Medina. 2003. *La cadena productiva del nopal en Zacatecas: bases para un desarrollo sostenido*. Fundación Produce Zacatecas-Universidad Autónoma Chapingo-Secretaría de Economía, Zacatecas.
- Gallegos, C., E. Rodríguez, J.A. Reyes-Agüero, M.R. Fernández, J. Luna *et al.* 2004. *Conservación ex situ de nopal en cinco colecciones institucionales prioritarias*. Informe al Sistema Nacional de Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura. Red Nopal, SNIICS-Sagarpa.
- Gallegos, E.R. 1983. *Algunos aspectos de la producción del aguacate en el estado de Michoacán*. Universidad Autónoma Chapingo-Grupo Editorial Gaceta, México.
- García, A., y K. Tsunewaki. 1977. Cytogenetical studies in the genus *Persea* (Lauraceae). II. Electrophoretical studies on peroxidase isozymes. *Japan Journal of Genetics* **52**: 379-386.
- García, A., y S. Ichikawa. 1979. Cytogenetical studies in the genus *Persea* (Lauraceae). III. Comparative morphological study on 61 avocado strains. *Japan Journal of Breeding* **29**: 66-76.
- García-Mendoza, A. 1995. Riqueza y endemismos de la familia Agavaceae en México, en E. Linares, P. Dávila, F. Chiang, R. Bye y T. Elías (eds.), *Conservación de plantas en peligro de extinción: diferentes enfoques*. UNAM, México, pp. 51-75.
- García-Mendoza, A. 1998. *Con sabor a magüey. Guía de la colección nacional de Agaváceas y Nolináceas del Jardín Botánico del Instituto de Biología-UNAM*. UNAM-Sistemas de Información Geográfica, S.A. de C.V, México.
- García-Mendoza, A. 2002. Distribution of the genus *Agave* (Agavaceae) and its endemic species in Mexico. *Cactus and Succulent Journal* **74**: 177-187.
- García-Pedraza, L.G., J.A. Reyes-Agüero, J.R. Aguirre-Rivera y J.M. Pinos-Rodríguez. 2005. Preliminary nutritional and organoleptic assessment of the xoconostle fruit (*Opuntia* spp.) as a condiment or appetizer. *Italian Journal of Food Science* **17**: 333-340.
- Gentry, H.S. 1982. *Agaves of continental North America*. University of Arizona Press, Tucson.
- Gepts, P., y D.G. Debouck. 1991. Origin, domestication, and evolution of the common bean (*Phaseolus vulgaris* L.), en A.v. Schoonhoven y O. Voysest (eds.), *Common beans: Research for crop improvement*. CIAT-C.A.B. International, Wallingford, Oxon, UK, pp. 7-53.
- Gil-Vega, K., C. Díaz, A. Nava-Cedillo y J. Simpson. 2006. AFLP analysis of *Agave tequilana* varieties. *Plant Science* **170**: 904-909.
- Gill, H.R., M.L.P. Vargas, J.S. Muruaga, R. Rosales, N. Mayek *et al.* 2007. Genetic analysis of cultivated *Phaseolus vulgaris* L. core collection of INIFAP-Mexico. *Annual Report of the Bean Improvement Cooperative* **50**: 21-22.
- González, A., A. Wong, A. Delgado, R. Papa y P. Gepts. 2005. Assessment of inter simple sequence repeat markers to differentiate sympatric wild and domesticated populations of common bean. *Crop Science* **45**: 606-615.
- Goodman, M.M., y W.L. Brown. 1988. Races of corn, en G.F. Sprague y J.W. Dudley (eds.), *Corn and corn improvement*. Agron. Monogr. 18. ASA-CSSA y SSSA, Madison, WI, pp. 39-74.
- Guzmán, U., S. Arias y P. Dávila. 2003. *Catálogo de cactáceas mexicanas*. Universidad Nacional Autónoma de México-Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México.
- Henríquez, P., y J.M. Hernández. 2004. *Organización regional para la conservación y el uso de los recursos fitogenéticos nativos de Mesoamérica*. ISNAR Briefing Paper 70, pp.1-8.
- Hernández, H.M., y H. Godínez. 1994. Contribución al conocimiento de las cactáceas mexicanas amenazadas. *Acta Botánica Mexicana* **26**: 33-52.
- Hernández, H.M., y R.T. Bárcenas. 1996. Endangered cacti in the Chihuahuan Desert: II. Biogeography and conservation. *Conservation Biology* **10**: 1200-1209.
- Hernández, V.H., y C.A. Flores. 2004. Producción y comercialización de xoconostles en la región de las pirámides, Estado de México, en C. Flores (ed.), *Memoria del X Congreso Nacional, VIII Internacional sobre el Conocimiento y Aprovechamiento del Nopal y otras Cactáceas de Valor Económico y del Fifth International Congress on Cactus Pear and Cochineal*. UACH-FAO-ISHS. Chapingo, México.
- Hernández-Casillas, J.M. 2000. México, en H. Knudsen (ed.), *Directorio de colecciones de germoplasma en América Latina y el Caribe*. International Plant Genetic Resources Institute, Roma, pp. 243-255.
- Hernández-Xolocotzi, E. 1985. Maize and man in the Greater Southwest. *Economic Botany* **39**: 416-430.
- Huanosto, R., J.E. López y J.L. Sánchez. 2001. *Caracterización de tres especies de aguacate* (*Persea americana*, *P. tolimanensis* y *P. schiedeana*) *utilizando RAPD's como marcadores moleculares*. Memoria del Primer Congreso Mexicano y Latinoamericano del Aguacate, Uruapan, Michoacán.
- Iltis, H.H., J.F. Doebley, R. Guzmán M. y B. Pazy. 1979. *Zea diploperennis* (Gramineae): A new teosinte from Mexico. *Science* **203**: 186-188.
- Ireta, A. 1977. *Estado actual de la investigación con frutales tropicales y subtropicales en el INIA*. Memorias del II Congreso Nacional de Fruticultura. Comisión Nacional de Fruticultura, SARH, Morelia, Michoacán.
- Kaplinsky, N., D. Braun, D. Lisch, A. Hay, S. Hake *et al.* 2002. Maize transgene results in Mexico are artefacts. *Nature* **416**: 601.

- Kashanipour, R.A., y R.J. McGee. 2004. Northern Lacandon Maya medicinal plant use in the communities of Lacanjá, Chan Sayab, and Naha', Chiapas, Mexico. *Journal of Ecological Anthropology* **8**: 47-66.
- Koenig, R., y P. Gepts. 1989. Allozyme diversity in wild *Phaseolus vulgaris*: Further evidence for two major centers of genetic diversity. *Theoretical and Applied Genetics* **78**: 809-817.
- Labate, J.A., K.R. Lamkey, S.E. Mitchell, S. Kresovich, H. Sullivan *et al.* 2003. Molecular and historical aspects of corn belt dent diversity. *Crop Science* **43**: 80-91.
- Lafón, A. 2002. *Pastizales mexicanos: reconocimiento creciente de un sistema compartido*. Resúmenes de las ponencias del Simposio Pastizales en América del Norte: hacia una estrategia trilateral de conservación. Comisión para la Cooperación Ambiental de América del Norte, México.
- Lépiz, R. 1974. *Asociación de cultivos maíz-frijol*. Folleto Técnico Núm. 58. SAG-INIA, México.
- Lock, G.W. 1962. *Sisal*. Longmans, Green, and Co., Londres.
- Lorea-Hernández, F.G. 2002. La familia Lauraceae en el sur de México: diversidad, distribución y estado de conservación. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* **71**: 59-70.
- Louette, D., y M. Smale. 2000. Farmers' seed selection practices and traditional maize varieties in Cuzalapa, Mexico. *Euphytica* **113**: 25-41.
- Macías, F.J., L. Reveles, L.A. Sáenz, E.L. Esparza, R. Bañuelos *et al.* 2004. Patrón electroforético de ARN a partir de cladodios de diferentes cultivares de nopal, en G. Esparza, M.A. Salas, J. Mena y R.D. Valdez (eds.), *Memoria del IX Congreso Nacional y VII Congreso Internacional sobre Conocimiento y Aprovechamiento del Nopal*, Zacatecas.
- Martínez, J., D. Zizumbo, P. Gepts y P. Colunga-GarcíaMarín. 2007. Gene flow and genetic structure in the wild-weedy-domesticated complex of *Phaseolus lunatus* L. in its Mesoamerican center of domestication and diversity. *Crop Science* **47**: 58-66.
- Martínez, M.A., V. Evangelista, M. Mendoza, G. Morales, G. Toledo *et al.* 1995. *Catálogo de plantas útiles de la Sierra Norte de Puebla, México*. Cuadernos del Instituto de Biología 25, UNAM, México.
- Matsuoka, Y., Y. Vigouroux, M.M. Goodman, J. Sánchez, E. Buckler *et al.* 2002. A single domestication for maize shown by multilocus microsatellite genotyping. *Proceedings of the National Academy of Sciences* **99**: 6080-6084.
- Méndez, S.J., y J. García. 2006. La tuna: producción y diversidad. *Biodiversitas* **68**: 1-5.
- Mercer, K.L., y J.D. Wainwright. 2008. Gene flow from transgenic maize to landraces in Mexico: An analysis. *Agriculture, Ecosystems, and Environment* **123**: 109-115.
- Metz, M., y J. Fütterer. 2002. Suspect evidence of transgenic contamination. *Nature* **416**: 600-601.
- Milpa Project. Conservation of genetic diversity and improvement of crop production in Mexico: A farmer-based approach. 1999 Annual Report, en <<http://www.grcp.ucdavis.edu/milpa/>> (consultado en abril de 2007).
- Moguel, P., y V.M. Toledo. 1999. Biodiversity conservation in traditional coffee systems of Mexico. *Conservation Biology* **13**: 11-21.
- Mondragón, C., N. Doudareva y B.P. Bordelon. 2000. DNA extraction from several cacti. *HortScience* **35**: 1124-1126.
- Mondragón, C. 2002. Caracterización genética de una colección de nopal (*Opuntia* spp.) de la región centro de México. *Agricultura Técnica de México* **28**: 3-14.
- Mondragón, C. 2004. Mejoramiento genético del nopal: avances al 2003 y perspectivas, en G. Esparza, M.A. Salas, J. Mena y R.D. Valdez (eds.), *Tópicos de actualidad en Nopal*. Universidad Autónoma Chapingo-Colegio de Postgraduados, Chapingo, Méx., pp. 49-71.
- Montes, S., L.C. Merrick y L.E. Eguiarte. 2005. Maintenance of squash (*Cucurbita* spp.) landrace diversity by farmer's activities in Mexico. *Genetic Resources and Crop Evolution* **52**: 697-707.
- Morris, M., y M.A. López-Pereira. 1999. *Impacts of maize breeding research in Latin America 1966-1997*. CIMMYT, México.
- Ortega-Packza, R., J. Serwinski e I. Faberová. 1999. Genetic erosion in Mexico, en J. Serwinski e I. Faberová (eds.), *Proceedings of the Technical Meeting on the Methodology of the FAO World Information and Early Warning System on Plant Genetic Resources*. Research Institute of Crop Production, Praga, FAO, Roma, pp. 69-75.
- Ortega-Paczka, R. 1973. *Variación en maíz y cambios socioeconómicos en Chiapas, México, 1946-1971*. Tesis de maestría, Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.
- Ortiz-García, S., E. Ezcurra, B. Schoel, F. Acevedo, J. Soberón *et al.* 2005. Absence of detectable transgenes in local landraces of maize in Oaxaca, Mexico (2003-2004). *Proceedings of the National Academy of Sciences* **102**: 12338-12343.
- Pallottini, L., E. García, J. Kami, G. Barcaccia y P. Gepts. 2004. The genetic anatomy of a patented yellow bean. *Crop Science* **44**: 968-977.
- Papa, R., y P. Gepts. 2003. Asymmetry of gene flow and differential geographic structure of molecular diversity in wild and domesticated common bean (*Phaseolus vulgaris*) from Mesoamerica. *Theoretical and Applied Genetics* **106**: 239-250.
- Papa, R., J. Acosta, A. Delgado-Salinas y P. Gepts. 2005. A genome-wide analysis of differentiation between wild and domesticated *Phaseolus vulgaris* from Mesoamerica. *Theoretical and Applied Genetics* **111**: 1147-1158.
- Parra, L. 2005. *Estrategias de conservación y aprovechamiento sustentable de los recursos genéticos de las agaváceas*. Red de Agaváceas. Sistema Nacional de Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura, México.

- Payró, E., P. Gepts, P. Colunga y D. Zizumbo. 2005. Spatial distribution of genetic diversity in wild populations of *Phaseolus vulgaris* L. from Guanajuato and Michoacán, Mexico. *Genetic Resources and Crop Evolution* **52**: 589-599.
- Perales, R.H., S.B. Brush y C.O. Qualset. 2003. Landraces of maize in central Mexico: An altitudinal transect. *Economy Botany* **57**: 7-20.
- Perales, H.R., B.F. Benz y S.B. Brush. 2005. Maize diversity and ethno-linguistic diversity in Chiapas, Mexico. *Proceedings of the National Academy of Sciences* **102**: 949-954.
- Peralta, V.M. 1983. *Caracterización fenológica y morfológica de formas de nopal (Opuntia spp.) de fruto (tuna) en el altiplano potosino-zacatecano*. Tesis profesional, Universidad Autónoma de Aguascalientes, Aguascalientes, México.
- Pressoir, G., y J. Berthaud. 2004a. Patterns of population structure in maize landraces from the Central Valleys of Oaxaca in Mexico. *Heredity* **92**: 88-94.
- Pressoir, G., y J. Berthaud. 2004b. Population structure and strong divergent selection shape phenotypic diversification in maize landraces. *Heredity* **92**: 95-101.
- Puente, P. 2004. Situación actual del nopal silvestre *Opuntia fuliginosa* en el municipio de Auitlán de Navarro, Jalisco, en G. Esparza, M.A. Salas, J. Mena y R.D. Valdez (eds.), *Memoria del IX Congreso Nacional y VII Congreso Internacional sobre Conocimiento y Aprovechamiento del Nopal*. Universidad Autónoma Chapingo-Universidad Autónoma de Zacatecas-Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias, Zacatecas, pp. 202-205.
- Quist, D., y I.H. Chapela. 2001. Transgenic DNA introgressed into traditional maize landraces in Oaxaca, Mexico. *Nature* **414**: 541-543.
- Ramírez-Marcial, N., M. González-Espinosa y G. Williams-Linera. 2001. Anthropogenic disturbance and tree diversity in montane rain forest in Chiapas, Mexico. *Forest Ecology & Management* **154**: 311-326.
- Reif, J.C., M.L. Warburton, X. C. Xia, D.A. Hoisington, J. Crossa et al. 2006. Grouping of accessions of Mexican races of maize revisited with SSR markers. *Theoretical and Applied Genetics* **113**: 177-185.
- Reyes-Agüero, J.A., J.R. Aguirre R. y J.L. Flores F. 2005. Variación morfológica de *Opuntia* (Cactaceae) en relación con su domesticación en la altiplanicie meridional de México. *Interciencia* **30**: 476-484.
- Reyes-Agüero, J.A., J.R. Aguirre, F. Carlin y A. González. En prensa. Catálogo de las principales variantes silvestres y cultivadas de *Opuntia* en la altiplanicie meridional de México. Sagarpa-Conacyt-UASLP.
- Rhodes, A.M., S.E. Malo, C.W. Campbell y S.G. Carmer. 1971. A numerical taxonomic study of the avocado (*Persea americana* Mill.). *Journal of the American Society for Horticultural Science* **96**: 391-395.
- Rosales, R., J.A. Acosta, R.P. Durán, H. Guillén, P. Pérez et al. 2003. Diversidad genética del germoplasma mejorado de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en México. *Agricultura Técnica en México* **29**(1):11-24.
- Rosales, R., J.A. Acosta, J.S. Muruaga, J.M. Hernández, G. Esquivel et al. 2004. *Varietades mejoradas de frijol del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias*. Libro Técnico 6, INIFAP, Sagarpa -CIRCE-Campo Experimental Valle de México, Chapingo.
- Rosales, R., S. Hernández., M. González, J.A. Acosta y N. Mayek. 2005. Genetic relationships and diversity revealed by AFLP markers in Mexican common bean bred cultivars. *Crop Science* **45**: 1951-1957.
- Rosales, R., J.A. Acosta, J.M. Hernández, H. González y O.S. Magaña. 2006. *FRIMEX: base de datos nacional de variedades de frijol recomendadas y sembradas en México. Vers. 1.0.*, INIFAP, Sagarpa-CIRCE-Campo Experimental Valle de México, Chapingo.
- Rzedowski, J. 1978. *Vegetación de México*. Limusa, México.
- Salazar-García, S., J.J. Velasco-Cárdenas, R. Medina-Torres, R. y J.R. Gómez-Aguilar. 2004. Selecciones de aguacate con potencial de uso como portainjertos: I. Prendimiento y crecimiento de injertos. *Revista Fitotecnia Mexicana* **27**: 23-30.
- Sánchez G., J.J., T.A. Kato Y., M. Aguilar S., J.M. Hernández C., A. López R. et al. 1998. *Distribución y caracterización del teocintle*. Libro técnico núm. 2, CIPAC-INIFAP, Guadalajara.
- Sánchez G., J.J., M.M. Goodman y C.W. Stuber. 2000. Isozymatic and morphological diversity in the races of maize in Mexico. *Economic Botany* **54**: 43-59.
- Sánchez R., G., J.A. Manríquez N., F.A. Martínez M. y L.A. López I. 2001. El frijol en México: competitividad y oportunidades de desarrollo. *Boletín Informativo FIRA. XXXIII* **316**: 1-87.
- Sánchez-Pérez, J.L. 1999. Recursos genéticos de aguacate (*Persea americana* Mill.) y especies afines en México. *Revista Chapingo, Serie Horticultura* **5**: 7-18.
- Serratos-Hernández, J.A., J.L. Gómez-Olivares, N. Salinas-Arreortua, E. Buendía-Rodríguez, F. Islas-Gutiérrez et al. 2007. Transgenic proteins in maize in the soil conservation area of Federal District, Mexico. *Frontiers in Ecology and Environment* **5**: 247-252.
- Shellie-Dessert, C.K., y A.F. Bliss. 1991. Genetic improvement of food quality factors, en A. Van Schoonhoven y O. Voysest (eds.), *Common beans: Research for crop improvement*. C.A.B. International. Wallingford, U.K. y CIAT, Cali, Colombia, pp. 649-650.
- Silos, H., O. Paredes, F. Guevara y J. Osuna Castro. 2002a. *Calidad y proceso de maduración del fruto. Cuaderno de Trabajo*. Sistema Nacional de Investigación Miguel Hidalgo, Querétaro.
- Silos, H., E. Rodríguez, Q. Rascón, J.L. Cabrera y O. Paredes.

- 2002b. *Transformación genética del fruto por medio del sistema natural de Agrobacterium tumefaciens. Cuaderno de Trabajo*. Sistema Nacional de Investigación Miguel Hidalgo, Querétaro.
- Singh, S.P., P. Gepts y D.G. Debouck. 1991a. Races of common bean (*Phaseolus vulgaris* Fabaceae). *Economy Botany* **45**: 379-396.
- Singh, S.P., J.A. Gutiérrez, A. Molina, C. Urrea y P. Gepts. 1991b. Genetic diversity in cultivated common bean: II. Marker-based analysis of morphological and agronomic traits. *Crop Science* **31**: 23-29.
- Singh, S.P., R. Nodari y P. Gepts. 1991c. Genetic diversity in cultivated common bean. I. Allozymes. *Crop Science* **31**: 19-23.
- Soberón, J., J. Golubov y J. Sarukhán. 2001. The importance of *Opuntia* in Mexico and routes of invasion and impact of *Cactoblastis cactorum* (Lepidoptera: Pyralidae). *Florida Entomologist* **84**: 486-492.
- Sotelo, A., H. Sousa y M. Sánchez. 1995. Comparative study of chemical composition of wild and cultivated beans (*Phaseolus vulgaris*). *Plant Foods for Human Nutrition* **47**: 93-100.
- Soto-Pinto, L., I. Perfecto, J. Castillo-Hernández y J. Caballero-Nieto. 2000. Shade effect on coffee production at the northern Tzeltal zone of the state of Chiapas, Mexico. *Agriculture, Ecosystems, and Environment* **80**: 61-69.
- Tamayo, J.L. 1988. *Geografía moderna de México*. 9a. ed., México.
- Valenzuela-Zapata, A.G. 1994. *El agave tequilero: su cultivo e industrialización*, Trillas, Guadalajara.
- Van Dusen, M.E., y J.E. Taylor. 2005. Missing markets and crop diversity: Evidence from Mexico. *Environment and Development Economics* **10**: 513-531.
- Vargas, M.L.P., J.S. Muruaga, J.A. Acosta, R. Navarrete, P. Pérez et al. 2006. *Colección núcleo de Phaseolus vulgaris L. del INIFAP: Catálogo de accesiones de la forma domesticada*. Libro Técnico número 10.
- Vargas-Ponce, O., D. Zizumbo-Villarreal y P. Colunga-GarcíaMarín. 2007. In situ diversity and maintenance of traditional agave landraces used in spirits production in west-central Mexico. *Economic Botany* **61**: 362-375.
- Vargas-Ponce, O., D. Zizumbo-Villarreal, J. Martínez-Castillo, J. Coello-Coello y P. Colunga-GarcíaMarín. 2009. Diversity and structure of landraces of *Agave* grown for spirits under traditional agriculture: A comparison with wild populations of *A. angustifolia* (Agavaceae) and commercial plantations of *A. tequilana*. *American Journal of Botany* **96**: 448-457.
- Vargas-Vázquez, M.L.P., J.S. Muruaga-Martínez, R. Rosales-Serna, P. Pérez-Herrera, H.R. Gill-Langarica et al. 2007. Morpho-agronomical characterization of domesticated common bean core collection from Mexico. *Annual Report of the Bean Improvement Cooperative* **50**: 19-20.
- Violi, H.A., A.F. Barrientos-Priego, E. Escamilla-Prado, R.C. Ploetz, C. Lovatt et al. 2006. *Persea survival and growth in Veracruz, Mexico in areas invaded by Phytophthora cinnamomi and P. citricola*. Botany 2006 Conference. Botanical Society of America, California State University, Chico.
- Voysest, O. 2000. *Mejoramiento genético del frijol (Phaseolus vulgaris L.)*. Legado de variedades de América Latina 1930-1999, CIAT-Profriza, Cosude, Cali, Colombia.
- Wellhausen, E.J., L.M. Roberts, E. Hernández Xolocotzi y P.C. Mangelsdorf. 1952. *Races of maize in Mexico: Their origin, characteristics, and distribution*. The Bussey Institution, Harvard University, Cambridge.
- Zimmermann, H.G., V.C. Morán y J.H. Hoffmann. 2001. The renowned cactus moth *Cactoblastis cactorum* (Lepidoptera: Pyralidae): Its natural history and threat to native *Opuntia* floras in Mexico and the United States of America. *Florida Entomologist* **84**: 543-551.
- Zizumbo-Villarreal, D.P., E. Colunga-GarcíaMarín, P. Payró de la Cruz, Delgado-Valerio y P. Gepts. 2005. Population structure and evolutionary dynamics of wild-weedy-domesticated complexes of common bean in a Mesoamerican region. *Crop Science* **45**: 1073-1083.