

Primera Parte

Introducción

Esta parte del libro prepara el escenario para la conservación *in situ* de los Parientes Silvestres de los Cultivos (PSC). Esboza los diferentes enfoques utilizados para definir los PSC, describe la importancia de estas especies, presenta argumentos a favor de la conservación en la naturaleza e ilustra los retos que supone definir acciones para conservarlos.

Introducción y antecedentes

Sin el mejoramiento genético continuo, que se realiza utilizando una diversidad de germoplasma de fuentes tanto silvestres como modificadas, el aumento en los rendimientos de los cultivos obtenido durante las últimas siete décadas no sería sostenible, y los rendimientos podrían crecer más lentamente o disminuir. La producción agrícola depende cada vez más de 'la diversidad temporal', lo cual supone reemplazar variedades con mayor frecuencia para mantener la resistencia a plagas y enfermedades (Rubenstein et al. 2005).

Introducción: Los parientes silvestres de las especies cultivadas

Colectivamente, los parientes silvestres de los cultivos (PSC) constituyen una enorme reserva de variabilidad genética que se puede utilizar en el fitomejoramiento y un recurso vital para garantizar la seguridad alimentaria, mejorar la producción agrícola y sostener la productividad, en el contexto del crecimiento vertiginoso de la población mundial y del cambio climático acelerado. Los PSC se encuentran en un amplio rango de hábitats en todo el mundo pero, como lo atestiguan numerosas evaluaciones, estos hábitats se siguen perdiendo o degradando, poniendo estas especies en riesgo y haciendo esencial tomar medidas urgentes para conservarlas, tanto en condiciones silvestres (*in situ*) como en bancos de germoplasma (*ex situ*), mientras exista la diversidad genética que contienen.

¿Qué son los recursos genéticos?

Tradicionalmente, los recursos genéticos se han definido como material genético (alelos) de valor conocido, utilizado en el mejoramiento de plantas y animales, pero el Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB) amplió esta definición a cualquier material vegetal, animal, microbiano o de otro origen que contenga unidades funcionales de la herencia, de valor real o potencial. La definición aplica a materiales vivos (como las semillas) y materiales preservados (como especímenes en museos y herbarios). El Tratado Internacional sobre los Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura (TIRFGAA) adopta una definición similar en tanto los PSC son un componente clave de los recursos genéticos para la agricultura y la alimentación¹.

¿Qué es un pariente silvestre de una especie cultivada (PSC)?

Un PSC se puede definir como una planta silvestre más o menos relacionada con un cultivo al que le puede aportar material genético pero que, a diferencia de la especie cultivada, no se ha domesticado (Heywood *et al.* 2007). Si bien es difícil dar una definición más precisa, es necesario tenerla para poder estimar cuántos PSC existen en los países y en el mundo. La relación de un PSC con un cultivo es un asunto de grado –algunos PSC están más relacionados a los cultivos que otros. Esta relación se ha descrito de dos maneras: una geneológica, basada en el grado al cual los PSC pueden intercambiar genes con el cultivo, y una taxonómica, basada en la relación taxonómica del PSC con el cultivo (ver Cuadro 1.1). El enfoque geneológico utiliza el concepto de acervo de genes de Harlan y de Wet (1971) para definir el grado de parentesco, con base en la facilidad relativa con la cual los genes de los PSC se puedan transferir a la especie cultivada. Maxted *et al.* (2008) proponen usar el concepto de grupo taxón en ausencia total o parcial de datos genéticos o de información sobre cruzamientos. Este concepto se fundamenta en la posibilidad de que la clasificación taxonómica existente refleje el grado de parentesco genético o la probabilidad de entrecruzamiento.

Cuadro 1.1 Definiciones taxonómicas y geneológicas de los PSC

Concepto de acervo de genes (AG) de los PSC

Acervo primario (AG1)

Contiene parientes cercanos que se entrecruzan fácilmente con el cultivo

Acervo secundario (AG2)

Contiene todas las especies biológicas que se pueden cruzar con el cultivo, aunque los híbridos por lo general resultan estériles

Acervo terciario (AG3)

Comprende aquellas especies que se pueden cruzar con el cultivo pero con dificultad, y en donde la transferencia de genes sólo es posible mediante técnicas radicales

Concepto de grupo taxón de los PSC

Grupo Taxón 1a – cultivo

Grupo Taxón 1b – misma especie que el cultivo

Grupo Taxón 2 – misma serie o sección que el cultivo

Grupo Taxón 3 – mismo subgénero que el cultivo

Grupo Taxón 4 – mismo género que el cultivo

Grupo Taxón 5 – género diferente al cultivo

En el contexto del Proyecto CPS ('Conservación *in situ* de parientes silvestres de cultivos a través del manejo de información y su aplicación en campo') del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y del Fondo para el Medio Ambiente Mundial (FMAM), descrito en este manual (ver página 23), un PSC se define como una especie que pertenece al mismo género del cultivo, con base en el argumento de que las especies consideradas suficientemente similares para pertenecer al mismo género probablemente estén emparentadas genéticamente. Meilleur y Hodgkin (2004) propusieron un enfoque similar; su definición sugiere que 'un PSC debe incluir los congéneres silvestres o las especies cercanamente emparentadas de un cultivo domesticado o de una especie vegetal, incluyendo los parientes de especies cultivadas con fines medicinales, forestales, forrajeros u ornamentales'. Varios proyectos sobre PSC, recientemente ejecutados e importantes, adoptan este enfoque. Esta definición amplia hace que un gran número de especies sean consideradas PSC. Por ejemplo, Kell *et al.* (2008) encontraron que casi 83% de la flora mediterránea de Europa incluye especies cultivadas y PSC. Manejar esta gran cantidad de especies requiere un mecanismo para establecer prioridades y seleccionar qué especies incluir en determinadas acciones de conservación (ver Capítulo 7). Los PSC conforman un grupo muy diverso de plantas y ocurren en una amplia variedad de hábitats que van desde árboles y arbustos forestales hasta plantas trepadoras, perennes, bianuales y anuales. Algunas de estas especies se distribuyen ampliamente y pueden incluso ocurrir como malezas, mientras que otras son raras, pueden estar dispersas o tener una distribución restringida, y estar amenazadas.

Algunos eventos decisivos en la historia de los PSC

En los tiempos modernos, los genes de los PSC se han utilizado para desarrollar los cultivos. Sin embargo, el uso registrado de éstos en el fitomejoramiento comercial data de finales del siglo XIX (Hodgkin y Hajjar 2008). Otros pioneros del movimiento de los recursos genéticos, como Vavilov, reconocieron el potencial significativo de los PSC para el mejoramiento de los cultivos². En las décadas de 1940 y 1950 (consultar resumen sobre los usos tempranos de los PSC en Hajjar y Hodgkin 2007), hubo un mayor reconocimiento del valor de los genes de los PSC para transferir caracteres deseables a los cultivos desarrollados. Sin embargo, no fue sino hasta la década de 1960 que se tomaron medidas decisivas para emprender la conservación coordinada de la diversidad genética representada por estas razas nativas, ecotipos locales y PSC. Las recomendaciones hechas por la Reunión Técnica de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, de su nombre en inglés), realizada en Roma en 1961, representaron un desarrollo clave (Bennett 1965), en tanto se reconoció 'la gran importancia para ésta y las futuras generaciones de preservar el acervo de variabilidad genética que se encuentra ahora en los principales centros genéticos del mundo, pero que

está en peligro de destrucción'. La FAO recomendó el establecimiento de Centros Internacionales de Cultivos dentro de los centros genéticos para encomendarles la tarea de explorar el potencial genético de sus respectivas regiones, con base en el conocimiento local detallado, la evaluación y el mantenimiento de colecciones base de cultivos y razas nativas y de formas silvestres; y de establecer áreas de conservación manejadas de manera que preserven el potencial evolutivo de la interrelación compleja entre la población local y el ambiente (Bennett 1965). El Instituto Internacional de Izmir (el Centro Izmir), en Turquía, se estableció en 1964 con estos términos de referencia (Sencer 1975).

El reconocimiento de los PSC como un componente significativo de los recursos fitogenéticos aumentó en las décadas de 1970 y 1980. A tono con los tiempos, el principal enfoque estuvo en la colecta y conservación *ex situ* de muestras de diversidad genética, actividades que se aceleraron a mediados de la década de 1980, probablemente como consecuencia de la introducción de las consultas de datos ecogeográficos. Fue sólo en la década de 1980 que algunos científicos agrícolas y forestales empezaron a enfocar su atención en los PSC para la conservación *in situ*, probablemente debido a una mayor conciencia sobre la disminución de los hábitats y las especies, seguida por llamados de atención para la conservación de los PSC hechos por importantes organizaciones internacionales y de conservación. Aunque se empezaron a asignar algunos recursos y se destinó tiempo para estudiar las posibilidades de la conservación *in situ* de los PSC no había un enfoque multisectorial. También durante la década de 1980, se realizaron varias reuniones científicas y publicaciones relacionadas con diversos aspectos de la conservación *in situ* de los PSC.

La aprobación del CDB en 1993, del Plan de Acción Mundial (PAM) para la Conservación y la Utilización Sostenible de los Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura (RFGAA) en 1996 y del TIRFGAA en 2001 –mediante el cual los países signatarios se comprometieron a conservar *in situ* los PSC como una prioridad nacional–, la publicación de una serie de libros sobre la teoría y los métodos de conservación *in situ* de los PSC, así como algunos proyectos de campo, dieron un ímpetu adicional al aprecio y a la comprensión de la importancia de los PSC (Meilleur y Hodgkin 2004).

Publicaciones sobresalientes sobre parientes silvestres de especies cultivadas

Una de las primeras publicaciones que atrajo la atención sobre la importancia de conservar los PSC fue el folleto Conservando los Parientes Silvestres de las Plantas Cultivadas (originalmente *Conserving the Wild Relatives of Crops*) de Erich Hoyt, publicado en 1988 por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN), el Consejo Internacional de Recursos Fitogenéticos (IBPGR, [posteriormente conocido como Instituto Internacional

de Recursos Fitogenéticos, IPGRI, y hoy Bioversity International]) y el Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF)³. Buena parte de lo que sostiene Hoyt en esta publicación es aún válido al igual que la frase en la que Hoyt dice que ‘la conservación de los recursos genéticos –las plantas que nos alimentan y sus parientes silvestres– es actualmente uno de los temas más importantes para la humanidad’. Prescott-Allen y Prescott-Allen (1988) publicaron una revisión extensa del uso de los PSC.

Una publicación importante que muchas veces no se tiene en cuenta es el libro sobre conservación *in situ* de los recursos genéticos para uso de la humanidad (*Plant Genetic Resources: Their Conservation in situ for Human Use*, FAO 1989). Esta publicación surgió de la decisión tomada durante la primera reunión del grupo de trabajo *ad hoc* sobre la conservación *in situ* del Grupo para la Conservación de los Ecosistemas (GCE) en 1986 –en la que participaron miembros de la FAO, la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO), el PNUMA, la UICN y el IBPGR –e incluyó una serie de estudios de caso de todo el mundo, que ilustraban las acciones planeadas o en curso para la conservación *in situ* de los recursos fitogenéticos.

Otros recursos importantes son las memorias de los talleres iniciados por el Consejo de Europa sobre conservación de los parientes silvestres de las plantas europeas cultivadas (*Conservation of wild relatives of cultivated plants in Europe*, Valdés *et al.* 1997), realizados en Faro (Portugal), Neuchâtel (Suiza) y Gibilmanna-Palermo (Sicilia, Italia), que trataron un amplio rango de temas respecto a la genética, la demografía, la ecología, la conservación, el manejo y la protección de la variabilidad genética, mediante una serie de estudios de caso.

Igualmente valiosa es la encuesta mundial de la conservación *in situ* de las especies de plantas silvestres (Heywood y Dulloo 2005) que surgió de otro proyecto apoyado por el PNUMA y el FMAM sobre el diseño, ensayo y evaluación de buenas prácticas para la conservación *in situ* de especies silvestres económicamente importantes.

Otro hito es la publicación sobre conservación y uso de los PSC (*Crop Wild Relative Conservation and Use*, Maxted *et al.* 2008) que surgió de la primera conferencia internacional sobre PSC realizada en Agrigento, Sicilia, Italia, en septiembre de 2005, y organizada dentro del proyecto Foro de Recursos Fitogenéticos (FRFG), financiado por la Comisión Europea (CE)⁴.

El Segundo Informe sobre el Estado Mundial de los Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura⁵ fue endosado en la decimosegunda sesión de la Comisión de Recursos Genéticos para la Alimentación y la Agricultura (CRGAA), realizada en Roma (18 a 23 octubre de 2009). En

él se hace una actualización del primer informe con los mejores datos e información disponibles, mediante un proceso participativo, con énfasis en los cambios ocurridos desde 1996. El informe hace una evaluación concisa del estado y las tendencias de los recursos fitogenéticos para alimentación y agricultura (RFGAA) e identifica las brechas y necesidades más significativas para poder proporcionar una base para actualizar el PAM, proceso actualmente en curso. Incluye diversas referencias a los PSC, especialmente en la Sección 1.2.3: Cambios en el estado de los PSC; Sección 2.2.1: Inventario y estado del conocimiento; y 2.2.2: Conservación *in situ* de los PSC en áreas protegidas. Los principales puntos muestran que:

- a pesar de que durante la última década se han identificado muchos sitios prioritarios para la conservación de los PSC en todo el mundo, principalmente como resultado de estudios ecogeográficos, muchas especies aún están amenazadas como resultado de la degradación del suelo, los cambios en las prácticas de uso de la tierra y otros factores;
- desde la publicación del Primer Informe sobre el Estado Mundial de los Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura, la mayoría de los países han llevado a cabo estudios e inventarios específicos de los RFGAA, pero la mayoría se han limitado a cultivos específicos, pequeños grupos de especies o áreas limitadas;
- muy pocas encuestas o inventarios se han realizado sobre los RFGAA en áreas protegidas en comparación con otros componentes de la biodiversidad en estas áreas y la conservación *in situ* de especies silvestres continúa siendo el resultado no planificado de esfuerzos para proteger determinados hábitats o especies carismáticas; y
- a pesar de que se ha avanzado un poco, muy pocos países han participado activamente en la conservación de los RFGAA silvestres en áreas protegidas.

La creación en 2003 del Grupo de Especialistas en Parientes Silvestres de Cultivos (CWRSG, de su nombre en inglés)⁶, dentro de la Comisión para la Supervivencia de las Especies de la UICN, facilitó la creación de una red de trabajo para aquellos interesados en la conservación y el uso sostenible de los PSC que publica regularmente un boletín sobre los PSC titulado *Crop Wild Relative*⁷.

Valor y uso de los parientes silvestres de las especies cultivadas

El uso que el mejoramiento de los cultivos ha hecho de los PSC, especialmente en las últimas décadas, evidencia el valor de estos recursos. En una revisión reciente sobre el uso de los PSC, Maxted y Kell (2009) citaron 91 artículos que reportaban la identificación y transferencia de caracteres útiles provenientes de 185 taxones de PSC a 29 especies cultivadas (ver Figura 1.1), y encontraron que el grado en el que los fitomejoradores han usado la diversidad de los PSC variaba significativamente entre cultivos, tanto en términos de los taxones de PSC utilizados como en el número de veces que se cita el uso de los PSC. El uso de los PSC ha sido especialmente importante en la cebada, la yuca, la papa, el arroz, el tomate y el trigo. Los cultivos para los cuales se han usado los PSC más ampliamente son el arroz y el trigo, tanto en términos de número de taxones de PSC como de los intentos exitosos de introgresión de caracteres de los PSC a los cultivos.

La clave del mejoramiento exitoso de los cultivos es tener un suministro continuo de variabilidad genética y de los caracteres favorables contenidos en esta diversidad (Dwivedi *et al.* 2008). Los PSC modernos son la fuente de gran parte de esta nueva diversidad. Sin embargo, no se reconoce suficientemente la alta tasa de regeneración de cultivares de muchos cultivos como consecuencia de la pérdida de resistencia o tolerancia, o debido a la necesidad de innovar continuamente. El tiempo promedio de regeneración de los cultivares comerciales de tomate (*Lycopersicon esculentum*), por ejemplo, es de aproximadamente 5 años, principalmente porque las compañías de semillas deben desarrollar continuamente nuevos cultivares con valor agregado. De ahí que el fitomejoramiento comercial del tomate sea tan innovador (Bai y Lindhout 2007).

Las herramientas modernas de la biotecnología ofrecen nuevas oportunidades para un uso mayor y más efectivo de las especies silvestres en el mejoramiento de los cultivos (Tanksley y McCouch 1997; Dwivedi *et al.* 2007). Estos últimos argumentan que 'las herramientas de la investigación genómica pueden finalmente desencadenar el potencial de nuestros recursos genéticos silvestres y cultivados para beneficio de la sociedad'. Los genes de las plantas silvestres hasta ahora han otorgado a los cultivares resistencia contra plagas (ejemplo, Malik *et al.* 2003) y enfermedades (ejemplo, Brar 2005), mejor tolerancia a estreses abióticos (ejemplo, Farooq y Azam 2001), tolerancia a temperaturas extremas y a salinidad, resistencia a sequía y mayor calidad nutricional (ejemplo, Kovacs *et al.* 1998; Dillon *et al.* 2007). De hecho, cultivares modernos de la mayoría de los cultivos contienen ahora genes derivados de algún pariente silvestre. Por ejemplo, genes de diversas especies silvestres de *Aegilops*, el cual está estrechamente relacionado con el *Triticum*, han sido transferidos

al trigo cultivado, incluyendo aquellos que le confieren resistencia a la roya de la hoja, a la roya del tallo, al mildew veloso y a los nematodos (Schneider *et al.* 2008); muchos otros recursos genéticos valiosos de especies de *Aegilops* permanecen sin explotar. De la misma manera, especies de arces silvestres han resultado ser importantes reservorios de genes que se pueden usar para aumentar los rendimientos, la calidad y la resistencia a enfermedades e insectos del arroz domesticado. Los PSC han suministrado genes para la revolución del arroz híbrido, han exhibido características que incrementan el rendimiento y han mostrado tolerancia a estreses bióticos y abióticos (Brar y Khush 1997; Xiao *et al.* 1998). En Sri Lanka, se está utilizando el *Oryza nivara* silvestre para incorporar resistencia genética al saltahojas café en variedades de arroz cultivado (ver Recuadro 1.2). La estrecha base genética del acervo primario de genes para el mejoramiento del algodón (*Gossypium*) es una de las principales dificultades de los programas de fitomejoramiento de este cultivo en todo el mundo. Ésto subraya la necesidad de enriquecer el acervo de genes con la diversidad genética de las razas nativas y los PSC (Abdurakhmonov *et al.* 2007). El Recuadro 1.4 resume el uso de PSC en Uzbekistán para obtener algodones resistentes a estrés y a enfermedades.

Recuadro 1.1 Ejemplos del uso de PSC

En tomate se ha usado extensivamente la variabilidad genética encontrada en las especies silvestres (Rick y Chetelat 1995; Bai y Lindhout 2007; Robertson y Labate 2007) para desarrollar las variedades comerciales actuales. En el Centro Mundial de los Vegetales (*The World Vegetable Center*, AVRDC, de su antiguo nombre en inglés) se han identificado más de 130 genes asociados con la respuesta a la sequía y se han logrado introducir a las líneas comerciales genes de parientes silvestres de tomate de los desiertos chilenos. Sin embargo, en comparación con la riqueza del reservorio encontrado en las especies silvestres, el tomate cultivado es genéticamente pobre y se calcula que los genomas de los cultivares de tomate contienen sólo 5% de la variación genética de sus parientes silvestres (Miller y Tanksley 1990). Se teme que el potencial del mejoramiento del tomate utilizando solamente germoplasma cultivado llegará a un tope que hará necesario que las futuras iniciativas de fitomejoramiento exploren la diversidad disponible en las especies silvestres emparentadas (ver la revisión hecha por Bai y Lindhout 2007). Técnicas como la focalización de lesiones locales inducidas en los genomas (Eco-TILLING, de su nombre en inglés)⁸ y la identificación de variabilidad alélica de caracteres relevantes en colecciones de recursos genéticos facilitarán muchísimo la identificación de genes útiles en germoplasma silvestre de tomate (Comai *et al.* 2004).

Es evidente que los PSC representan un potencial amplio e inexplorado para el mejoramiento futuro de los cultivos. Por ejemplo, Chatzav *et al.* (2010) encontraron amplia diversidad genética en las accesiones de trigo algodonero silvestre (*Triticum turgidum* subsp. *dicoccoides*) para todos los nutrientes contenidos en el grano; las accesiones silvestres presentaron el doble de cinc, hierro y proteína en el grano que los genotipos domesticados. Estos autores consideran que el trigo algodonero silvestre ofrece oportunidades únicas para explotar los alelos favorables en busca de propiedades nutritivas del grano no incluidas en el acervo de genes del trigo domesticado. Ortiz *et al.* (2009) encontraron que sólo una pequeña porción del amplio rango de diversidad genética encontrada en los parientes silvestres del maíz (*Zea mays*) está actualmente representada en los acervos élite usados para el fitomejoramiento. Considerando el aumento en la demanda de la producción de alimentos –se estima que los concentrados y la bioenergía requieren un aumento del 2% anual en la producción mundial de maíz– se puede esperar que los fitomejoradores exploten la diversidad encontrada en los PSC para suplir estas necesidades. Como lo señalan Hajjar y Hodgkin (2007), los PSC han contribuido menos de lo que se podría esperar al desarrollo de nuevos cultivares, a pesar de los adelantos en los procedimientos para hacer cruces entre especies de diferentes acervos de genes, los avances en los métodos moleculares para manejar los programas de retrocruzamiento, el aumento en la cantidad de accesiones de especies silvestres en los bancos de germoplasma y la abundante literatura disponible sobre los caracteres favorables asociados a los parientes silvestres. Heywood *et al.* (2007) sugieren que las principales razones para el descuido en la conservación de los PSC son de tipo práctico, económico y de establecimiento de prioridades. Ese hecho refleja una incertidumbre sobre los beneficios que se podrían lograr con la conservación *ex situ* de los PSC, y en especial con la conservación *in situ*.

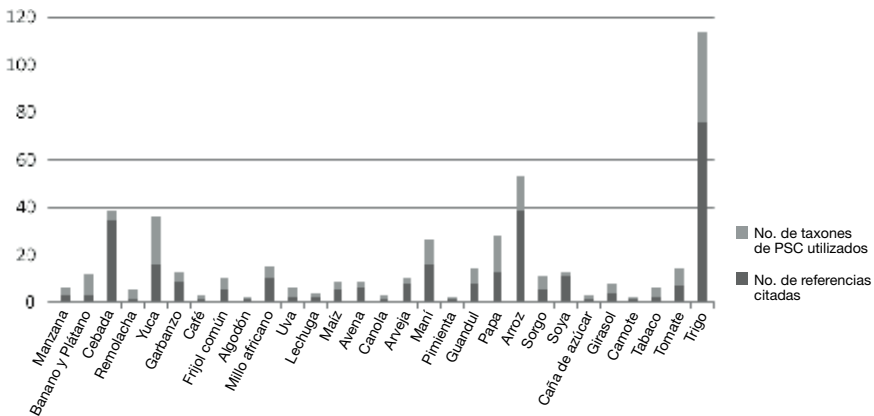


Figura 1.1 Número de referencias que reportan la identificación y transferencia de caracteres útiles de los 185 taxones de parientes silvestres de cultivos a 29 especies cultivadas, indicando el número de taxones de PSC usados para cada cultivo (Maxted y Kell 2009).

Recuadro 1.2 Programa de fitomejoramiento de arroz con *Oryza nivara* silvestre en Sri Lanka

El saltahojas café (*Nilaparvata lugens*) es una de las principales plagas del arroz en Sri Lanka. Afecta anualmente, en promedio, 5 a 10% del área total sembrada con arroz de riego. Actualmente se ha incorporado resistencia al saltahojas café en todas las variedades nuevas de arroz; hace varias décadas se encontró la fuente de resistencia en la variedad de arroz PTB 33. Debido al uso continuado de una fuente única de resistencia, se han desarrollado nuevos biotipos y se ha visto comprometida la resistencia del cultivo al saltahojas café. Los fitomejoradores del arroz de Sri Lanka han estado buscando una nueva fuente de resistencia y han investigado los arces silvestres como un posible recurso genético. En Sri Lanka se conocen cinco especies silvestres de *Oryza*: *O. nivara*, *O. rufipogon*, *O. eichingeri*, *O. rhizomatis* y *O. granulata*. De estas, *O. nivara* y *O. rufipogon* están en el mismo grupo genómico del arroz cultivado (*Oryza sativa*). Por tanto, es relativamente fácil hibridar las dos especies con el arroz cultivado.

Con la ayuda del PNUMA y del FMAM, fitomejoradores del Instituto Central de Investigación y Desarrollo del Arroz (*Central Rice Research and Development Institute*) de Sri Lanka colectaron, entre 2006 y 2008, 40 accesiones diferentes de *O. nivara*. Estas accesiones se evaluaron por resistencia al saltahojas café, utilizando procedimientos de selección estándar, y se encontró que tres de ellas eran muy resistentes y 15 moderadamente resistentes. Las tres accesiones sobrevivieron aún después de que la variedad resistente PTB 33 muriera debido a la intensidad del ataque del saltahojas café, indicando que la resistencia de las tres accesiones de *O. nivara* era diferente a la de la variedad PTB 33. Se efectuaron 10 cruzamientos entre *O. nivara* y el arroz cultivado y 8 resultaron exitosos. De las cruces exitosas se obtuvieron 42 semillas F1. Todas las semillas F1 germinaron y produjeron semilla, pero 90% de ellas resultaron vanas. Los ensayos de selección por resistencia de la generación F2 mostraron que 30% de las plántulas eran resistentes al saltahojas café. La formación de semilla F3 a partir de líneas resistentes resultó en el llenado del 60% y los resultados de selección de la semilla F3 revelaron que el 50% de las plántulas eran resistentes a esta plaga. En la generación F4, la semilla vana se redujo a un 10% y el 92% de las plántulas presentó resistencia al saltahojas café. Las semillas de la generación F6 se cosecharon y se están usando como material progenitor en el Programa Nacional de Fitomejoramiento del Arroz. Se espera realizar pronto observaciones sobre rendimiento de las nuevas líneas. Fitomejorador: P.V. Hemachandra.



Figura 1.2 Cruzamiento de arroz cultivado con el silvestre *Oryza nivara* en el Instituto de Investigación y Desarrollo del Arroz, en Batalagoda, Sri Lanka

Es muy difícil cuantificar los beneficios económicos o comerciales que se pueden obtener de la conservación y el uso de los recursos fitogenéticos y de los PSC en particular (consultar NRC 1991a, 1993; Rubenstein *et al.* 2005). Se ha sugerido que, en promedio, la contribución genética de las especies silvestres aumenta la productividad de los cultivos en aproximadamente 1% cada año, y que este aumento en la productividad tiene un valor de US\$ 1000 millones (NRC 1992 citado en Flynn 2006). Sin embargo, se puede tener una idea del nivel de los beneficios a partir de cálculos publicados para algunos cultivos. Por ejemplo, las características deseables del girasol (*Helianthus* spp.) le representan entre US\$ 267 y US\$ 384 millones por año a la industria del girasol en los Estados Unidos; una variedad de tomate silvestre ha contribuido a un aumento del 2.4% en el contenido de sólidos, que vale US\$ 250 millones; tres maníes silvestres han proporcionado resistencia al nematodo del nudo radical, que genera US\$ 100 millones anuales en pérdidas para los productores de maní. Claro que es probable que la escala de contribución comercial de la mayoría de los PSC sea mucho menor.

El Cuadro 1.2 incluye ejemplos de PSC de los países que participaron en el Proyecto CPS, y de caracteres deseables que contienen estos parientes silvestres.

Cuadro 1.2 Especies silvestres evaluadas por su potencial para mejorar la tolerancia de su cultivo emparentado a estreses bióticos y abióticos como parte del Proyecto CPS

http://www.underutilized-species.org/Documents/PUBLICATIONS/sbstta_cwr_final.pdf

País	Pariente silvestre de:	Caracteres deseables
Armenia	Trigo, pera	Resistencia a condiciones ambientales adversas
Bolivia	Papa, quinua, cañahua	Resistencia a plagas y enfermedades presentes en especies seleccionadas de los tres géneros Propiedades nutritivas de la quinua y la cañahua
Madagascar	Café, arroz, ñame	Bajo o ningún contenido de cafeína, alto contenido de ácido clorogénico Resistencia al virus moteado amarillo del arroz (RYMV) Potencialmente domesticable
Sri Lanka	Arroz	Resistencia a estreses bióticos y abióticos
Uzbekistán	Manzana, pistacho	Resistencia a condiciones ambientales adversas

Recuadro 1.3 Potencial de los PSC para el fitomejoramiento en Madagascar

Los fitomejoradores de arroz del Centro Nacional para la Investigación Aplicada al Desarrollo Rural (*National Centre for Applied Research in Rural Development*, FOFIFA, de su nombre en malgache) lograron obtener aproximadamente 100 líneas derivadas de cruces interespecíficas con especies silvestres de *Oryza longistaminata* y especies cultivadas de *Oryza sativa*, así como múltiples retrocruzamientos a partir de la planta híbrida. Son serotipos diferentes, consistentes y estables, y se cree que tienen genes de *Oryza longistaminata* en su acervo de genes. Estas líneas se seleccionan principalmente por su resistencia al virus moteado amarillo del arroz (RYMV), que ocasiona esterilidad en las panículas y disminuye el rendimiento del grano. El virus se transmite mecánicamente por contacto; los insectos, principalmente *Trichispa sericea* y *Hispa gestroy*, también son portadores del virus. La enfermedad se presenta en las regiones productoras de arroz del norte de la cuenca de Andaba, al noroeste y oeste de la isla. El virus no se ha identificado en las tierras altas, pero ocasionalmente se le puede observar en la región del lago Alaotra, especialmente durante los períodos lluviosos, y con menor frecuencia en el suroeste. Se ha observado que la especie silvestre *Oryza longistaminata* nunca es atacada por la enfermedad. Sin embargo, se observaron muchos defectos puesto que tiene rizomas como una maleza. Sus semillas tienen un porcentaje muy bajo de fertilidad y se quiebran fácilmente aún cuando estén todavía inmaduras. Además, tiene panículas muy sueltas y los estigmas están muy extruidos. Recientemente se hizo factible el prospecto de mejorar utilizando cruzamientos interespecíficos con las especies silvestres y cultivadas de *Oryza sativa* para incorporar en las líneas cultivadas la resistencia al RYMV encontrada en su pariente silvestre pero sin incluir caracteres no deseados. Ya se han hecho varios intentos con 100 cruzamientos diferentes con líneas cultivadas pero sin éxito, puesto que no hubo fertilización y abortaron el embrión antes de la madurez. Aunque la hibridación entre ambas especies fue un proceso muy laborioso, se pudo fertilizar una espiguilla utilizando la línea cultivada 'Miandry Bararata' como pariente femenino y la especie silvestre como el polinizador. El embrión resultó inmaduro y requirió de un medio de cultivo adecuado para convertirse en una planta adulta con un fenotipo intermedio. La planta F1 obtenida tenía rizomas y se realizaron retrocruzamientos adicionales seguidos por cruces múltiples con otras líneas para eliminar o reducir esta característica desventajosa.

Fuente: Rakotonjanahay Xavier com. pers. a J. Ramelison (abril de 2008)

Recuadro 1.4 Uso y potencial de parientes silvestres del algodón en Uzbekistán

El Instituto de Genética y Biología Vegetal Experimental (*Institute of Genetics and Experimental Biology of Plants*, IGEBP) de Uzbekistán mantiene una colección de 45 especies y formas silvestres de algodón *Gossypium*. El potencial genético de los parientes silvestres del algodón se utilizó en hibridaciones entre especies, mediante las cuales se transmitieron exitosamente caracteres valiosos de las especies silvestres a las especies cultivadas. Con base en híbridos trigenéticos de *G. hirsutum* x (*G. harknessii* x *G. thurberi*), se crearon híbridos sintéticos complejos y se obtuvieron líneas híbridas como resultado de los cruzamientos de *G. hirsutum* x (*G. thurberi* x *G. raimondii*). Estos híbridos poseen caracteres valiosos como alta fertilidad y calidad de fibra. Los parientes silvestres de las especies cultivadas de algodón representan material muy valioso con buenas probabilidades de adaptación, mediante resistencia a factores de estrés ambiental y a plagas agrícolas. Formas de *G. hirsutum* subsp. *mexicanum* resistentes al marchitamiento y formas ruderales de *G. hirsutum* 'El Salvador' se usaron en programas de fitomejoramiento como base para crear una serie de nuevas formas. Las accesiones silvestres de *G. herbaceum* L. y *G. arboreum* L., que se caracterizan por tener fibras higroscópicas de alta calidad, se usaron como donantes en programas de mejoramiento genético para crear formas intra e inter específicas. *G. hirsutum* L. se utilizó para obtener variedades resistentes al marchitamiento, al calor y a la sequía (subsp. *mexicanum* var. *nervosum*, subsp. *punctatum*), y *G. barbadense* L. como base para la variedad resistente a la salinidad, *G. barbadense* subsp. *darwinii*. La Figura 1.3 muestra los parientes silvestres del algodón que se usaron para producir híbridos sintéticos con caracteres valiosos.

Fuente: Sativaldi Djataev

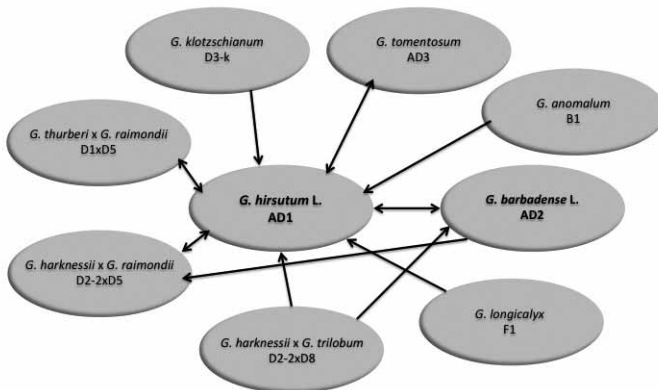


Figura 1.3 Parentescos de los híbridos sintéticos del algodón producidos en Uzbekistán (fuente: Sativaldi Djataev)

Por qué es importante conservar los PSC *in situ*?

A pesar de haber reconocido ampliamente la importancia de conservar los PSC *in situ*, la principal estrategia de conservación del sector de los recursos fitogenéticos hasta hace poco se concentraba únicamente en coleccionar material de cultivares, razas nativas y PSC, en un menor grado, y almacenar estos materiales *ex situ* en bancos de germoplasma para uso real o potencial en el fitomejoramiento (ver Capítulo 12). Poca atención se le ha prestado a los enfoques de conservación *in situ*. Aunque en la década de los 80 se establecieron algunas reservas para la conservación *in situ* –como la Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán en México para los parientes silvestres del maíz, *Zea diploperennis*; la Reserva Estatal Erebuni en Armenia y la Reserva del Proyecto Ammiad en Israel para los parientes silvestres del trigo; y la Reserva de la Biosfera cum Santuario Nacional de Genes de Cítricos en las montañas de West Garo en India, para los parientes silvestres de los cítricos– sólo en los últimos 10 a 15 años se han hecho esfuerzos serios para conservar los PSC en sus hábitats silvestres naturales (*in situ*). En el marco de un proyecto importante de conservación de diversidad genética del FMAM y del Banco Mundial en Turquía (Tan y Tan 2002), se seleccionó un amplio rango de PSC (*Triticum*, *Lens*, *Pisum*, *Castanea*, *Abies* y *Pinus*) como especies candidatas para la conservación *in situ* en ‘zonas de manejo de genes’ (ZMG) –áreas naturales y semi naturales escogidas para mantener la diversidad genética en un ambiente natural para las especies de interés.

La experiencia práctica es, por tanto, muy limitada y no existen procedimientos generales acordados. La razón por la cual el sector de los recursos genéticos está ahora prestando atención a la conservación *in situ* de los PSC se debe al reconocimiento de que estas iniciativas permiten que los PSC permanezcan en sus ambientes naturales con las especies asociadas donde se pueden no sólo mantener las poblaciones como fuente de variabilidad potencialmente útil para el fitomejoramiento, sino para continuar evolucionando y generando nueva variabilidad, parte de la cual podría ser valiosa para uso en futuros esfuerzos de mejoramiento. La conservación *in situ* también puede aportar beneficios económicos adicionales, como se discutirá posteriormente (ver Capítulo 3). El PAM para la conservación y utilización sostenible de los RFGAA (1996) dentro del Área Cuatro de las Actividades Prioritarias del Plan identificó la importancia de conservar los PSC y otras plantas silvestres *in situ*, mientras que el CDB en su Anexo menciona específicamente los ‘parientes silvestres de las especies domesticadas o cultivadas’ en la lista indicativa de categorías de componentes de la diversidad biológica que se deben identificar y monitorear.

La conservación *in situ* es el único método práctico actualmente disponible para conservar una gran variedad de ecosistemas, especies y genes actualmente vulnerables, amenazados o en peligro. Además de permitir la conservación de especies diferentes y la coevolución de los sistemas biológicos, la conservación *in situ* de los recursos genéticos puede ser compatible con su manejo para el sostenimiento de los bienes que satisfacen los requerimientos cotidianos de las poblaciones locales, como los alimentos, el forraje y las medicinas, y para cosechar madera, leña y combustibles (FAO 1989).

Las poblaciones de muchas especies de PSC se encuentran en áreas protegidas, aunque la ausencia de inventarios adecuados implica que no se dispone de información detallada sobre ellas. Si bien se puede suponer que los PSC que están en áreas protegidas cuentan con cierto grado de protección siempre y cuando el área esté bien manejada, como se elaborará posteriormente, este hecho no supone en muchos casos una conservación *in situ* efectiva puesto que las poblaciones de PSC requieren cierto grado de manejo o intervención dirigida, especialmente si son de una especie que está amenazada. Adicionalmente, la dependencia en la existencia continuada de áreas protegidas en su actual ubicación es una estrategia riesgosa frente al cambio global, especialmente frente al cambio climático (ver Capítulo 14). Más preocupante aún es el hecho de que la mayoría de los PSC están por fuera de áreas protegidas y hasta ahora no se tiene mucha experiencia sobre cómo salvaguardarlos en estos contextos. Hay que destacar también que la conservación *in situ* no es un enfoque de corto plazo; al contrario, es un asunto de duración indefinida. Por tanto, la sostenibilidad en el largo plazo presenta importantes retos logísticos, científicos, técnicos, económicos, políticos y financieros.

Amenazas al mantenimiento de los PSC

Como se discutirá en detalle en el Capítulo 10, al igual que muchas otras especies silvestres, los PSC están cada vez más amenazados, especialmente debido a la pérdida, fragmentación y degradación de sus hábitats; a los cambios en los regímenes de perturbación; y a la invasión de especies exóticas. Una amenaza adicional que se debe tener en cuenta es el impacto de la velocidad con la que se está dando el cambio global. La pérdida del material genético de los PSC tiene profundas implicaciones para la agricultura puesto que reduce las posibilidades de seguir mejorando la productividad y calidad de los cultivos, al igual que la capacidad de los cultivos para adaptarse a condiciones ambientales cambiantes, bienes críticos para reducir el hambre y la pobreza en el mundo en desarrollo. Dicha pérdida de diversidad podría ser especialmente grave en áreas que tienen un amplio rango de progenitores silvestres y especies silvestres emparentadas, y los efectos del cambio global,

como el crecimiento demográfico, las movilizaciones de la población, los cambios en los regímenes de perturbación y el cambio climático pueden exacerbar esta situación en algunas regiones.

Hasta ahora se han hecho pocos estudios para analizar el impacto del cambio climático en la tasa de supervivencia de los PSC, pero la evidencia publicada hasta la fecha, basada en el uso de modelos bioclimáticos, sugiere que muchos estarán en riesgo (ver Recuadro 1.5). Por tanto, hay que identificar, urgentemente, especies y áreas prioritarias para la conservación y, como se elabora en el Capítulo 12, desarrollar estrategias que integren la conservación *in situ* y *ex situ* para garantizar que la riqueza de la diversidad genética de los PSC se proteja, en beneficio de las generaciones futuras.

Recuadro 1.5 Evaluación del impacto del cambio climático en los PSC

Los efectos del cambio climático están amenazando la supervivencia de los PSC. Andy Jarvis y sus colegas del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), la Plataforma Mundial de Información sobre la Biodiversidad (GBIF, de su nombre en inglés) y Bioversity International, usaron datos disponibles en GBIF para investigar las posibles amenazas impuestas por el cambio climático a 11 acervos de genes silvestres de los principales cultivos del mundo, que incluían unas 343 especies. Utilizando datos de especímenes de herbario y de accesiones de germoplasma, los investigadores determinaron y mapearon la distribución potencial de cada especie en el año 2050, con base en 18 modelos de clima del mundo, un escenario de emisiones de gas A2a⁹ y suponiendo una migración ilimitada.

Luego generaron un mapa para ilustrar la riqueza actual de los PSC, la riqueza futura estimada y el cambio estimado en la riqueza. El mapa revela los puntos críticos de cambio, donde se espera que se presenten pérdidas significativas de diversidad. Estos sitios, principalmente en África Subsahariana, Turquía oriental, la región mediterránea y partes de México, son áreas prioritarias para la colecta y conservación de recursos genéticos.

Otro estudio llevado a cabo en México por Lira y sus colegas (2009), usó modelos bioclimáticos y dos posibles escenarios de cambio climático para analizar los patrones de distribución de ocho cucurbitáceas silvestres estrechamente emparentadas con las especies cultivadas. Los resultados mostraron que los ocho taxones presentaban una disminución significativa del área en ambos escenarios climáticos y que, en un escenario de cambio climático drástico, los ocho taxones se mantendrían solamente en 29 de las 69 áreas protegidas donde ocurren actualmente.

Fuente: Jarvis et al. 2008 y Lira et al. 2009

La adaptación de los cultivos a los cambios graduales en las condiciones climáticas va a requerir evaluar los cultivares existentes y obtener, mediante mejoramiento, nuevos cultivares que se adapten a la sequía y a estreses por temperatura, cuya productividad sea sostenida, y que resistan enfermedades y otros factores. De ahí la importancia de mantener los acervos de variabilidad genética de los PSC.

El reto de conservar los PSC *in situ*

Como se muestra en capítulos posteriores de este manual, la conservación *in situ* de los PSC es un proceso complejo y multidisciplinario, que genera muchos retos y dificultades. Los temas que se deben atender son complejos, e incluyen la ubicación y la selección de poblaciones para la conservación, la demografía y el tamaño de las poblaciones, la naturaleza de las amenazas a los dos hábitats, las poblaciones de los PSC y cómo manejarlas, el diseño de las reservas genéticas y la necesidad de protocolos detallados de manejo. La multiplicidad y las complejidades de las estructuras políticas y administrativas nacionales también hacen extremadamente difícil implementar una estrategia o un marco de trabajo común, suponiendo que una u otro se pudieran acordar.

La poca experiencia práctica en la conservación *in situ* de los PSC con que se cuenta hasta la fecha indica que no existen protocolos o recomendaciones conjuntamente acordadas, y que la buena práctica se ve limitada por la falta de ejemplos exitosos que sirvan de referencia. Hay mucho que aprender sobre las experiencias de conservación *in situ* de especies silvestres amenazadas en el ámbito de programas de recuperación realizados en muchos países europeos, los Estados Unidos, Australia y África del Sur, apoyadas en extensa literatura sobre biología de la conservación. El sector forestal también ha estado involucrado en la conservación *in situ* de recursos genéticos forestales durante varias décadas, con apoyo de la FAO, entidad que ha revisado este tema de manera consuetudinaria. Desafortunadamente, casi no hay ejemplos de conservación *in situ* de los PSC en el trópico, aparte del establecimiento de algunas reservas genéticas para varias especies de árboles frutales, como la Reserva de la Biosfera y el Santuario Nacional de Genes de Cítricos en las montañas de Garo de Meghalaya en el nordeste de India. Esta reserva, creada en 1981, está ubicada dentro del Parque Nacional Nokrek, y es la primera reserva establecida específicamente para la conservación *in situ* de un arbusto tropical (Singh 1981; Smith *et al.* 1992). Posteriormente, en 1987, se creó en México una reserva *in situ* de *Zea diploperennis*, un pariente silvestre del maíz (*Zea mays*), dentro de la Reserva de la Biosfera de la Sierra de Manantlán (Recuadro 1.6).

Recuadro 1.6 El maíz y sus parientes silvestres en la Sierra de Manantlán

El descubrimiento, a mediados de la década de 1970, del maíz silvestre –el perenne endémico *Zea diploperennis*– en su hábitat natural de Jalisco, al occidente de México, llevó al establecimiento en 1987 de la Reserva de la Biosfera de la Sierra de Manantlán. Otros objetivos de conservación en este lugar son las poblaciones del pariente silvestre anual *Z. mays* subsp. *parviglumis*, y de las razas de maíz Tabloncillo y Reventador, tradicionales en esta área. Aunque habrá que establecer límites a los insumos externos (como germoplasma exótico mejorado y productos químicos) para no poner en peligro los parientes silvestres, los fitogenetistas están optimistas de que *Z. diploperennis* y los otros tres taxones se pueden conservar *in situ*, mientras se le sigan dando oportunidades a los cultivadores involucrados en el manejo del sistema. De hecho, la investigación ha mostrado que, para prosperar, las poblaciones de *Z. diploperennis* requieren la presencia de cultivos y pastoreo en las parcelas adyacentes.

Fuente: <http://www.unesco.org/imabdb/br/brdir/directory/biores.asp?code=MEX+06&mode=all>

Considerando la heterogeneidad de las especies, los ambientes, las amenazas y las necesidades, no existe un plan o un enfoque para la conservación *in situ* de los PSC que aplique a todos los casos. Si bien muchos retos son de naturaleza técnica, hay igual cantidad de asuntos políticos, institucionales, culturales, legales y sociales que se deben atender y resolver. Los sectores que deben trabajar juntos, es decir, las agencias agrícolas, forestales y ambientales, por lo general no han establecido vínculos ni tienen tradición de colaboración. No existe un marco de trabajo colaborativo que guíe las actividades y apoye la toma de decisiones relacionadas con la conservación. La desconexión existente entre estas agencias dificulta considerablemente el establecimiento de alianzas y la coordinación, así como el establecimiento de un ambiente político y legal propicio para la conservación de los PSC. Además, puede haber otros temas políticos y sociales complejos relacionados con la tenencia y la propiedad de la tierra, el acceso a los recursos y la distribución de los beneficios. Dicha complejidad implica que habrá que superar obstáculos considerables para integrar la conservación de los PSC en los programas nacionales.

El hecho de que los PSC no se consideran especies insignia o icónicas agrava más la situación y hace mayor el reto de atraer interés y recursos. Por esta razón, la financiación para la investigación y la conservación de los PSC es escasa al igual que para el fortalecimiento de capacidades y la capacitación. Esto, sumado a la falta de información sobre los PSC resulta en

una comprensión y conciencia limitadas de la importancia de los PSC y de las amenazas que el cambio global impone a su existencia. Muchas personas ni siquiera comprenden el término PSC, por lo cual sería incluso preferible reemplazarlo con otro como el de ‘especies que aportan genes a los cultivos’.

La forma en que se definan los PSC y la manera en que se determinen las prioridades para asignar recursos son temas importantes que afectan la cantidad de especies que un programa deba considerar para conservación, al igual que las implicaciones financieras y de recursos. Priorizar o seleccionar las áreas de conservación de los PSC también presenta sus propios retos.

Una limitación importante que tendrán que enfrentar la mayoría de los países y agencias que intenten implementar un programa de conservación de PSC es la capacidad y las herramientas requeridas para compilar y utilizar información existente. Hay una cantidad sustancial de información relevante y útil en diferentes instituciones tanto de nivel nacional como internacional, pero está muy dispersa y en forma difícil de compilar. Esta información puede incluir datos sobre la distribución y la biología de las especies, mantenidos en herbarios y jardines botánicos nacionales, y en colecciones internacionales clave en otros países (como en el Jardín Botánico Real de Kew, Reino Unido; en el Jardín Botánico de Missouri, Estados Unidos; en el Museo Nacional de Historia Natural, París, Francia); información sobre la distribución y la extensión de las áreas protegidas mantenidas en los países y por organizaciones como el Centro Mundial para el Monitoreo de la Conservación del Ambiente (WCMC, de su nombre en inglés) del Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA); e información sobre el estado de las especies y colecciones de germoplasma mantenidas *ex situ* en bancos de germoplasma. Los datos de consultas nacionales de datos para elaborar mapas, provenientes de diferentes fuentes (geografía, planeación municipal, consultas de datos de suelos, etc.), dan información útil para planear la conservación, con el beneficio que aportan las herramientas cada vez mejores de los SIG. GBIF es un importante banco de datos georreferenciados, que se usan en modelos bioclimáticos.

Otro agravante de la situación es que las actividades de conservación frecuentemente se realizan con fondos de agencias donantes o dentro de proyectos que tienen ciclos de implementación y financiación. Por su naturaleza, las donaciones y los proyectos tienen un cronograma restringido que dificulta planear la conservación a largo plazo. Otros temas importantes que enfrenta la conservación basada en proyectos son la sostenibilidad y la institucionalización de los procesos y las actividades, puesto que éstas también terminan cuando el proyecto termina. Este problema se puede mitigar hasta cierto punto si los proyectos se dirigen localmente con estrecha participación de los actores más directamente involucrados, de manera que las acciones de conservación a largo plazo no dependan de fuentes de

financiación externa. Los Capítulos 4 y 5 hacen referencia a estos temas en mayor detalle.

Muchos de los temas anteriores han sido discutidos en el contexto europeo del proyecto titulado Foro Europeo sobre Evaluación y Conservación de la Diversidad de los Parientes Silvestres de Cultivos (*PGR Forum*, de su nombre en inglés) financiado por la CE, orientado a evaluar la diversidad taxonómica y genética de los PSC europeos y desarrollar metodologías apropiadas de conservación (<http://www.pgrforum.org/Publications.htm>), y por el proyecto de conservación de la diversidad genética de Turquía, financiado por el FMAM y el Banco Mundial (Tan y Tan 2002).

Proyecto Conservación de los Parientes Silvestres de Cultivos del PNUMA y del FMAM

El FMAM es el mecanismo de financiación del CDB y ayuda a los países a cumplir con sus obligaciones en relación con el Convenio. En tanto la conservación de la biodiversidad constituye una de las principales prioridades del FMAM, este organismo ha invertido, desde 1991, cerca de US\$ 4.2 mil millones de dólares en donaciones y cofinanciación para la conservación de la biodiversidad en los países en desarrollo. En la última década, el FMAM ha apoyado una buena cantidad de proyectos de escala nacional, regional y mundial para promover la conservación y el uso de los PSC, en línea con sus metas y objetivos (ver Recuadro 1.7). Muchos países en desarrollo, ubicados dentro de los centros de diversidad vegetal y de especies cultivadas, contienen grandes cantidades de parientes importantes de especies cultivadas. Aunque la mayoría de estos países han anotado la conservación de los PSC dentro de sus estrategias nacionales de biodiversidad y de desarrollo agrícola, generalmente cuentan con tan pocos recursos que aún no han podido invertir en programas de apoyo a una conservación efectiva y un uso óptimo de los PSC. El Proyecto CPS fue diseñado específicamente para atender estos temas y buscar formas de satisfacer las necesidades nacionales y mundiales para mejorar la seguridad alimentaria mediante la conservación y el uso de los PSC. En el proyecto participaron cinco países a través de sus gobiernos –Armenia, Bolivia, Madagascar, Sri Lanka y Uzbekistán–, cada uno con una cantidad significativa de PSC, muchos de los cuales en riesgo y necesidad de ser conservados. En la sección de reconocimientos al inicio de este manual aparecen las instituciones que estuvieron involucradas en los países participantes.

Para conseguir la experiencia y las habilidades multidisciplinarias requeridas en un proyecto de esta complejidad, se identificaron socios internacionales

y se los invitó a colaborar y proveer recursos y apoyo técnico. Estos socios internacionales son la asociación internacional de jardines botánicos para la conservación (*Botanic Gardens Conservation International*, BGCI), la FAO, la UICN y el WCMC del PNUMA. Bioversity International fue la agencia ejecutora del proyecto.

Recuadro 1.7 Metas del Proyecto CPS

- 1 Desarrollar sistemas de información sobre los PSC, de escala nacional e internacional, que incluyan datos sobre la biología, la ecología, y el estado de conservación y distribución de éstos, al igual que sobre los usos actuales y potenciales de las especies, las acciones de conservación y las fuentes de información.
- 2 Fortalecer la capacidad de los socios nacionales para usar esta información en el desarrollo e implementación de enfoques racionales y efectivos en costos para la conservación *in situ* de los PSC.
- 3 Aumentar la conciencia entre formuladores de políticas, administradores de la conservación, fitomejoradores, educadores y usuarios locales sobre el potencial de los PSC para mejorar la sostenibilidad agrícola.

Recuadro 1.8 Principales proyectos del FMAM que apoyan la conservación de los PSC

Proyecto de Café Silvestre en el Bosque Kibale (Uganda): Este proyecto brindó asistencia a Uganda en la implementación de su estrategia y plan de acción nacional de biodiversidad para ayudar a mantener la biodiversidad en mosaicos de paisaje más allá de las fronteras de las áreas protegidas de importancia mundial.

<http://www.gefonline.org/projectDetailsSQL.cfm?projID=490>

Conservación *In situ* y en Fincas y Uso de la Agrobiodiversidad (Cultivos Hortícolas y Especies Silvestres de Frutas) en Asia Central (varios países): El proyecto ofrece a los agricultores, institutos y comunidades conocimiento, metodologías y políticas para conservar *in situ* y en fincas cultivos hortícolas y especies de frutas silvestres de Asia central, de importancia mundial.

<http://www.gefonline.org/projectDetailsSQL.cfm?projID=1025>

Conservación *In Situ* de Cultivos Andinos y de sus Parientes Silvestres en el Valle de Humahuaca, en el Extremo Sur de la Extensión de los Andes Centrales (Argentina): El objetivo del proyecto es asegurar que los agricultores indígenas del valle de Humahuaca en Argentina adopten prácticas mejoradas de conservación y manejo en fincas, con base en prácticas tradicionales de producción que contribuyan a la conservación *in situ* de variedades de cultivos andinos y de sus parientes silvestres de importancia mundial.

<http://www.gefonline.org/projectDetailsSQL.cfm?projID=1732>

Conservación y Uso Sostenible de los Parientes Silvestres de Especies Cultivadas (China): El proyecto busca apoyar planes para establecer áreas protegidas, con un enfoque integrado y de paisaje, y con la participación de las comunidades, en donde se protejan los parientes silvestres de la soya, el trigo y el arroz, incluyendo sus hábitats naturales.

<http://www.gefonline.org/projectDetailsSQL.cfm?projID=1319>

Conservación *In situ* de los Cultivares Nativos y de sus Parientes Silvestres (Perú): El objetivo del proyecto es la conservación de la agrobiodiversidad en uno de los centros de origen y de diversidad genética de cultivos más importantes del mundo. El mandato del proyecto incluye conservar la diversidad genética de 11 especies cultivadas importantes, además de otras variedades locales y parientes silvestres, en agroecosistemas funcionales.

<http://www.gefonline.org/projectDetailsSQL.cfm?projID=500>

Conservación *In situ* de Razas Nativas y de sus Parientes Silvestres (Vietnam): El objetivo del proyecto es la conservación de seis grupos de cultivos importantes (arroz, taro, té, lichi y longan, cítricos y arroz) incluyendo las razas nativas y los parientes silvestres, en tres áreas ecogeográficas locales ricas en biodiversidad de razas nativas y de sus parientes silvestres.

<http://www.gefonline.org/projectDetailsSQL.cfm?projID=1307>

Conservación y Uso Sostenible de la Diversidad de Frutas Tropicales Cultivadas y Silvestres (Asia): El objetivo del proyecto es mejorar la conservación y el uso de la diversidad genética de las frutas tropicales, mediante el fortalecimiento de la capacidad de los agricultores, de las comunidades locales y de las instituciones, para manejar y utilizar sosteniblemente los árboles de frutas tropicales.

<http://www.gefonline.org/projectDetailsSQL.cfm?projID=2430>

El objetivo del Proyecto CPS era mejorar la conservación de los PSC en los países participantes, mediante la coordinación de una serie de componentes, que incluían el desarrollo de un sistema nacional de información en cada país (ver Recuadro 1.9 para la descripción del sistema boliviano), un sistema de información mundial, una mayor capacidad a nivel nacional, acciones de conservación y toma de conciencia entre el público. Uno de los principales enfoques del proyecto fue la compilación sistemática de información relacionada con los PSC, y el mejoramiento del acceso y el uso de ella. El análisis de esta información es el primer paso hacia el desarrollo y la implementación de estrategias nacionales de conservación *in situ* y de monitoreo. El Portal Internacional de los Parientes Silvestres de Cultivos (<http://www.cropwildrelatives.org>), publicado recientemente (ver Recuadro 1.10), sirve como puerta de entrada para hacer la información sobre los PSC ampliamente disponible. Los usuarios pueden hacer búsquedas en la base de datos, mantenida por socios nacionales e internacionales, para obtener información que les ayude a tomar decisiones, lo que a su vez conduce a una conservación y un uso sostenible y más efectivo de los PSC.

Recuadro 1.9 Sistema Nacional de Información sobre los Parientes Silvestres de Especies Cultivadas en Bolivia

El Sistema Nacional de Información sobre los PSC de Bolivia fue diseñado y desarrollado en el marco de trabajo del Proyecto CPS. Actualmente en operación, este sistema incluye ocho bases de datos nacionales, ubicadas en las instituciones del país que participaron en el proyecto: tres herbarios, tres bancos de germoplasma, una institución de investigación agrícola y la Organización de los Pueblos Indígenas de Bolivia. El Portal Nacional y la GisWeb también forman parte del sistema. Las bases de datos se pueden consultar en línea a través de la página de internet del Portal Nacional (<http://www.cwrbolivia.gob.bo>). El Mapa de Google fue adaptado para que funcione como una Gis Web integrada, y además forma parte del Portal Nacional.

El sistema de información contiene, entre otros, datos de taxonomía, accesiones, población y ecología de especies pertenecientes a 15 géneros (*Annona*, *Ananas*, *Anacardium*, *Arachis*, *Bactris*, *Capsicum*, *Chenopodium*, *Cyphomandra*, *Ipomoea*, *Manihot*, *Phaseolus*, *Rubus*, *Solanum*, *Theobroma*, *Vasconcellea*). La base de datos del sistema tiene aproximadamente 3223 registros de 190 especies, 33 de las cuales son endémicas de Bolivia. También incorpora una galería con unos 150 tipos de mapas, entre los que se incluyen mapas de la distribución actual y

potencial de las especies de PSC, de los sitios de colecta y otros sitios, y unas 152 fotos de diferentes especies de PSC. El Portal Nacional también contiene un Atlas de los PSC de Bolivia.

Los portales nacionales e internacionales liberan la información incluida en la base de datos, con base en un acuerdo para compartir datos, establecido entre Bioversity International y el gobierno de Bolivia. Este sistema tiene herramientas para identificar, priorizar, implementar y monitorear acciones de conservación y uso de los PSC. Es también una herramienta de apoyo para tomar decisiones sobre estrategias y políticas relacionadas con los PSC en el contexto del manejo de los recursos genéticos de Bolivia. Esta información es importante para mejorar la seguridad alimentaria de Bolivia y del mundo.

Recuadro 1.10 Información incluida en el Portal Internacional de los Parientes Silvestres de los Cultivos

El Proyecto CPS incluía un componente sobre manejo de la información, aspecto importante para mejorar la toma de decisiones y la conservación. Estudios anteriores, al igual que estudios preliminares realizados para el proyecto, mostraron que aunque había información disponible sobre los PSC, estaba dispersa y era difícil de consultar puesto que no se encontraba en formato digital. Los cinco países participantes en el proyecto –Armenia, Bolivia, Sri Lanka, Madagascar y Uzbekistán– establecieron bases de datos con los inventarios nacionales de PSC, almacenando información previamente existente de diversas fuentes, que en la mayoría de los casos fue digitalizada durante la vida del proyecto, así como muchos registros adicionales recolectados en encuestas de campo. Considerando los diferentes contextos nacionales e institucionales, y las diferencias en el nivel de experiencia y uso de los programas de computación, se diseñaron cinco inventarios, de acuerdo con las preferencias y configuraciones que cada país consideró apropiadas para su situación. Armenia desarrolló un sistema en línea con PHP y MySQL, el cual se usa en las instituciones que tienen datos de PSC. Los datos se envían a través de un módem desde las instituciones hacia la base de datos central, que contiene más de 30,000 registros de 104 especies. La base de datos nacional de Uzbekistán se desarrolló en Access, mientras que los datos recién digitados en Madagascar y Sri Lanka se ingresaron primero en hojas de trabajo de Excel. Bolivia compiló por lo menos 3010 registros de más de 160 especies de PSC. El desarrollo de los sistemas nacionales permitió a los países construir mapas de distribución de sus PSC, identificar áreas para conservarlos y priorizar áreas protegidas

para incluirlos en los planes de manejo de áreas protegidas. Además de los sistemas nacionales de información, se desarrolló un portal internacional para brindar acceso mundial a la información sobre los PSC. A través del portal internacional también se pueden hacer búsquedas en inventarios nacionales de PSC, los cuales están vinculados al portal mediante el programa TapirLink. Información y recursos adicionales sobre los PSC disponibles en el portal incluyen publicaciones, proyectos y expertos, noticias e imágenes. La selección de herramientas disponibles gratuitamente y fáciles de usar, así como de estándares aprobados y ampliamente utilizados, permitirá en el futuro vincular otros inventarios nacionales de PSC al portal y brindar, desde la perspectiva de los PSC, un punto de vista sobre los datos y la distribución de los recursos fitogenéticos. Bioversity International continuará desarrollando el portal internacional para vincularlo a todas las fuentes relevantes de información sobre PSC y así ofrecer un portal de información conveniente.

El portal proporciona:

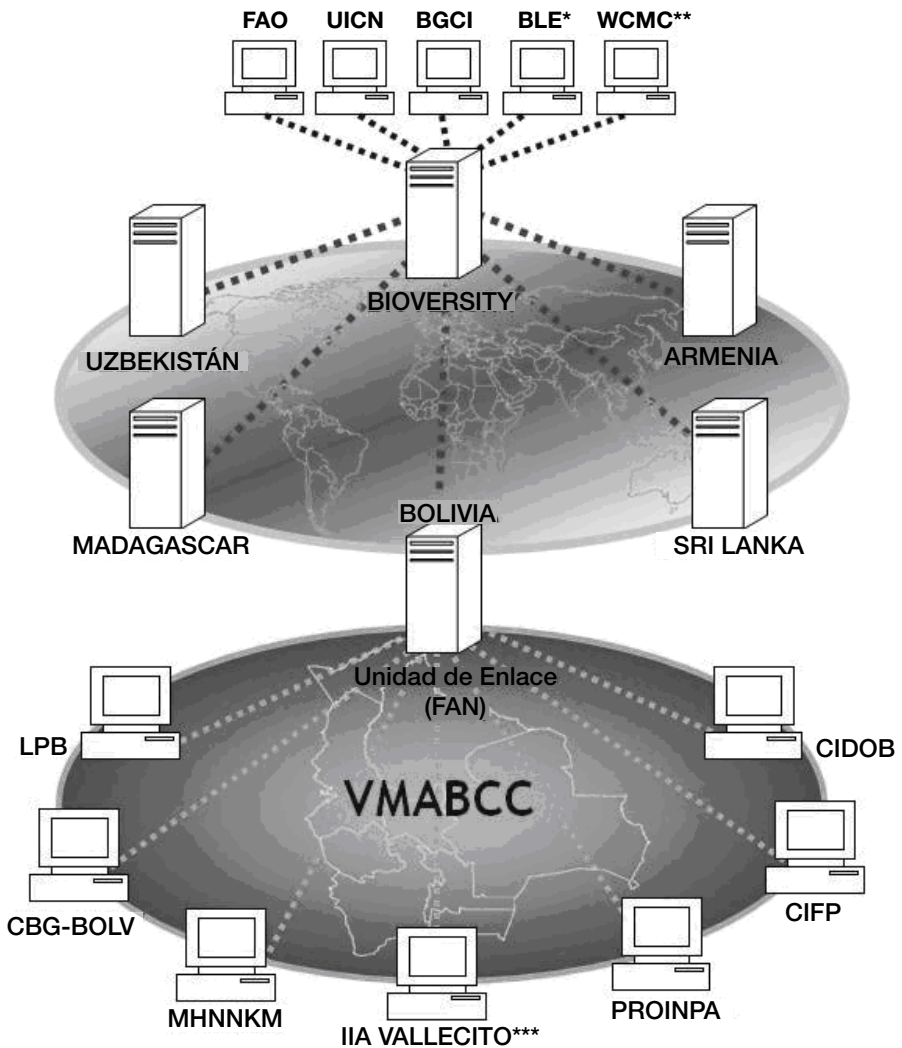
- datos de los PSC a nivel de especie
- datos de conservación *ex situ*
- taxonomía
- estado de conservación
- distribución
- presencia de los PSC en áreas protegidas
- contactos relevantes, fuentes de literatura, últimas noticias y fotos.

Las fuentes de información incluyen:

Países miembros (Armenia, Bolivia, Madagascar, Sri Lanka y Uzbekistán), socios internacionales (BGCI, FAO, UICN y PNUMA-WCMC), y datos de otros países disponibles a través de GBIF.

Fuente: <http://www.cropwildrelatives.org>

Además de atender las necesidades de conservación *in situ* de las especies objetivo, el proyecto también tuvo en cuenta el uso de taxones seleccionados para el mejoramiento de los cultivos. Por tanto, al seleccionar las especies objetivo de conservación se tuvo en cuenta el valor económico actual y potencial de ellas, en tanto tienen caracteres que les permitirían conferir resistencia a plagas y enfermedades, o tolerancia a condiciones de cultivo difíciles como falta o exceso de agua, temperaturas extremas o salinidad del suelo.



* Agencia federal de agricultura y alimentación (BLE, de su nombre en alemán)

** Centro Mundial para el Monitoreo de la Conservación (WCMC, de su nombre en inglés) del PNUMA

*** Instituto de Investigaciones Agrícolas, El Vallecito

Figura 1.4 Sistema Nacional de Información de Bolivia vinculado al Portal Internacional de los Parientes Silvestres de Especies Cultivadas

Componentes de este manual

Como ya se dijo, la conservación *in situ* de los PSC ha ido aumentando en los últimos 5 a 10 años pero sigue siendo un proceso poco comprendido y existe poca experiencia práctica de la cual se pueda aprender. El objetivo de este manual es, pues, compartir la experiencia obtenida durante el Proyecto CPS en la planeación e implementación de la conservación *in situ* y el uso sostenible de los PSC, tanto de los países participantes en el proyecto como de sus socios institucionales, y del consorcio en general, incluyendo las dificultades que hubo que enfrentar, las lecciones que se aprendieron y las soluciones que se propusieron. El manual se centra principalmente en los aspectos del proyecto relacionados con la conservación *in situ*, y abarca:

- planes nacionales de acción para la conservación y el uso de los PSC
- identificación de áreas importantes para la conservación de los PSC
- evaluación del estado de amenaza de los PSC, utilizando los criterios de la Lista Roja de la UICN
- mapas de la distribución geográfica de las especies de PSC
- adaptación de los planes de manejo de áreas protegidas a la conservación de los PSC
- desarrollo de planes de manejo para los PSC objetivo
- directrices para la conservación de los PSC por fuera de áreas protegidas
- planes de monitoreo de especies de PSC.

En el Cuadro 1.3 se presentan los diversos planes involucrados en el logro de estos resultados, resumidos en un esquema general del 'Proceso para la conservación *in situ* de los PSC'. Este manual ofrece directrices prácticas para realizar las operaciones de ese proceso, como recopilación de información, evaluación en campo, selección de taxones y áreas, y desarrollar, organizar, implementar y monitorear planes de manejo e intervenciones de conservación *in situ* de PSC. Contiene información práctica, y herramientas probadas y validadas –necesarias para planificar e implementar acciones efectivas de conservación *in situ* de los PSC– útiles para quienes se encargan de la conservación en los países y a nivel internacional (incluyendo investigadores en agrobiodiversidad y conservación, educadores y estudiantes, personal de ONG, instituciones de recursos genéticos, agencias de financiación, administradores de áreas protegidas, formuladores de políticas y gerentes de proyectos). De esta manera, sobrepasa los títulos y la literatura actualmente disponibles.

En el manual se presentan estudios de caso de los cinco países miembros del proyecto para ilustrar aspectos prácticos y resultados reales. El tema de conservación *ex situ*, cuyo valioso papel complementario se reconoce,

Cuadro 1.3: Proceso de conservación *in situ* de los PSC

La conservación *in situ* de los PSC involucra una serie de procedimientos y acciones, como las siguientes, que se deben emprender en secuencia lógica:

1. Selección de especies prioritarias y objetivo
2. Verificación de la identidad taxonómica
3. Evaluación de la distribución geográfica, la ecología y las preferencias edáficas
4. Evaluación de la demografía y estructura poblacional
5. Evaluación de la fenología, la biología reproductiva y el sistema de cruzamiento
6. Evaluación del estado de conservación y análisis de amenazas
7. Evaluación de la variabilidad genética y la distribución de alelos clave
8. Selección de las poblaciones objetivo de conservación
9. Selección del (de las) área(s) en que se van a conservar las especies objetivo: áreas naturales o semi naturales protegidas existentes; o áreas naturales o semi naturales no protegidas
10. Determinación de la escala espacial de conservación requerida –ubicación, cantidad y tamaño de las poblaciones que se van a conservar; decisión respecto a la adopción de un enfoque de especie única o de múltiples especies
11. Identificación de objetivos de conservación y de medidas de conservación apropiadas
12. Preparación de un plan de manejo de las poblaciones objetivo, si están amenazadas, o de un plan de monitoreo si no están amenazadas en el momento
13. Organización y planeación de actividades de conservación
14. Identificación y participación de partes interesadas
15. Si el área o las áreas objetivo ya están protegidas, evaluación del estado de manejo de las áreas protegidas en las que ocurre la población objetivo, y propuestas para modificar las directrices de manejo, si se requiere
16. Consulta con los administradores de las áreas protegidas, las comunidades y otros actores
17. Si se debe crear de nuevo el área o reserva, reserva genética o zona de manejo de genes, preparación del diseño, límites, zonificación y protección de la reserva, y desarrollo de planes de manejo y directrices
18. Determinación de los requerimientos legales, que incluye coordinar con las autoridades competentes la aprobación de leyes (mediante, por ejemplo, publicación del plan de manejo, inclusión en gacetas de nuevas áreas protegidas o reservas) o de cambios en la legislación (como la modificación del plan de manejo de áreas protegidas)
19. Desarrollo de una estrategia de monitoreo para el o las área(s)
20. Desarrollo de un plan de monitoreo para evaluar la efectividad del manejo de las poblaciones objetivo y sus condiciones, variabilidad genética y necesidades
21. Desarrollo de un plan de monitoreo para evaluar los impactos de las actividades humanas
22. Análisis de las posibilidades de desarrollar estrategias de conservación para especies y poblaciones que ocurran por fuera de la reserva o de las áreas protegidas, como servidumbres, convenios, fideicomisos, alianzas
23. Presentación para revisión de los planes de manejo y monitoreo y de la estrategia de conservación
24. Preparación de materiales de divulgación y publicidad
25. Preparación del presupuesto
26. Desarrollo del cronograma de actividades
27. Conformación del equipo para el proyecto
28. Implementación en campo

Puesto que las circunstancias y el contexto de cada proyecto de conservación *in situ* son únicos, la secuencia real y el énfasis que se le dé a cada componente en la práctica variarán considerablemente.

no se cubre en detalle en el manual por estar más allá del alcance tanto del proyecto como del documento, pero se incluyen referencias clave en el tema que el lector puede consultar. Estas aparecen en la sección de referencias.

Este manual se ocupa de los pasos esenciales para lograr una conservación *in situ* efectiva de los PSC. Después de la introducción, resume la importancia de los PSC en los cinco países participantes en el proyecto, y después de una introducción a la conservación *in situ*, analiza los temas de planeación pertinentes para luego detallar las principales áreas de trabajo involucradas en la conservación de los PSC, con ilustraciones y ejemplos tomados de los cinco países.

Los materiales del manual se complementan con información y recursos disponibles a través del Portal Internacional de los Parientes Silvestres de los Cultivos descrito en el Recuadro 1.10. De hecho, el Portal Internacional le dedica una página al Manual *In situ* en la dirección http://www.cropwildrelatives.org/resources/in_situ_conservation_manual.html, donde se pueden descargar los resúmenes de los capítulos para dar una visión general rápida, así como otros recursos, incluyendo un glosario, anexos, ejemplos de los planes nacionales de acción y de manejo, presentaciones en PowerPoint, entre otros en la dirección http://www.cropwildrelatives.org/capacity_building/elearning/elearning.html#c6867. A medida que se vayan teniendo información relevante y recursos, se irá añadiendo ésta a la versión en línea del Manual *In situ*.

Otras fuentes de información

A continuación se incluye una selección de fuentes útiles de información adicional sobre los PSC:

Bennett, A. (1965) 'Plant introduction and genetic conservation: geneecological aspects of an urgent world problem', *Scottish Plant Breeding Station Record*, pp 17–113

Hamilton, A. y Hamilton, P. (2006) *Plant Conservation: An Ecosystems Approach*, Earthscan, Londres

Heywood, V.H. y Dulloo, M.E. (2005) *In Situ Conservation of Wild Plant Species –A Critical Global Review of Good Practices*, IPGRI Technical Bulletin, no 11, FAO e IPGRI, IPGRI, Roma, Italia

Hodgkin, T. y Hajjar, R. (2008) 'Using crop wild relatives for crop improvement: trends and perspectives', en N. Maxted, B.V. Ford-Lloyd, S.P. Kell, J.M. Iriondo, M.E. Dulloo y J. Turok (eds) *Crop Wild Relative Conservation and Use*, pp 535–548, CAB International, Wallingford, Reino Unido

Iriondo, J., Maxted, N. y Dulloo, M.E. (eds) (2008) *Conserving Plant Genetic Diversity in Protected Areas*, CAB International, Wallingford, Reino Unido

- Maxted, N., Ford-Lloyd, B.V. y Hawkes, J.G. (eds) (1997) *Plant Genetic Conservation: The In Situ Approach*, Chapman and Hall, Londres
- Maxted, N., Ford-Lloyd, B.V., Kell, S.P., Iriondo, J.M., Dulloo, M.E. y Turok, J. (eds) (2008) *Crop Wild Relative Conservation and Use*, CAB International, Wallingford, Reino Unido
- Meilleur, B.A. y Hodgkin, T. (2004) 'In situ conservation of crop wild relatives: status and trends', *Biodiversity and Conservation*, vol 13, pp 663–684
- Stolton, S., Maxted, N., Ford-Lloyd, B., Kell, S.P. y Dudley, N. (2006) *Food Stores: Using Protected Areas to Secure Crop Genetic Diversity*, World Wide Fund for Nature (WWF) Arguments for protection series, WWF, Gland, Suiza
- Thormann, I., Jarvis, D., Dearing, J. y Hodgkin, T. (1999) 'International available information sources for the development of *in situ* conservation strategies for wild species useful for food and agriculture', *Plant Genetic Resources Newsletter*, no 118, pp 38–50.
- Tuxill, J. y Nabhan, G.P. (2001) *People, Plants and Protected Areas: A Guide to In Situ Management*, Earthscan, Londres
- Valdés, B., Heywood, V.H., Raimondo, F. y Zohary, D. (eds) (1997) *Conservation of the Wild Relatives of European Cultivated Plants*, *Bocconea* 7, Palermo, Italia

A continuación, una selección de importantes portales en internet:

FAO, <http://www.fao.org/>

CGIAR, <http://www.cgiar.org/>

Portal Internacional de los Parientes Silvestres de los Cultivos, <http://www.cropwildrelatives.org/>

Bioersity International, <http://www.bioersityinternational.org>

CWRSG, <http://www.cwrsg.org/>

PGR-Forum, <http://www.pgrforum.org/>

Proyecto CPS, <http://www.bioersityinternational.org/?id=2315>

Notas

1. Como se explica más adelante, los PSC también incluyen especies que son fuente de fibras y aceites, al igual que especies ornamentales y medicinales, no sólo los cultivos (alimenticios) agrícolas.
2. Aunque no estaban específicamente dirigidas a los PSC, Emmanuel Ritter von Proskowetz y Frans Schindler presentaron propuestas para el establecimiento de centros de recursos genéticos en el Congreso Internacional de Agricultura y Silvicultura realizado en Viena en 1890, y en 1914 Bauer alertó sobre el peligro de perder las razas nativas locales reemplazándolas por variedades uniformes seleccionadas que podrían conducir a una reducción importante en la base de los recursos genéticos, es decir a la erosión genética (consultar a Flitner 1995), mucho tiempo antes de que lo hiciera Vavilov.

3. También se publicaron versiones en francés y español.
4. <http://www.pgrforum.org/Conference.htm>
5. <http://www.fao.org/fileadmin/templates/agphome/documents/PGR/SoW2/syntheticaccount/SoW2SPA.pdf>
6. CWR SG <http://www.cwrsg.org/index.asp>
7. <http://www.cwrsg.org/Publications/Newsletters/index.asp>
8. El término EcoTILLING es una variación de TILLING (focalización de lesiones locales inducidas en los genomas) –una técnica que puede identificar los polimorfismos en un gen focalizado mediante el análisis heteroduplex– que busca determinar el grado de variación natural de genes seleccionados de los cultivos.
9. Uno de los escenarios de emisiones reportado en el Informe Especial sobre Escenarios de Emisiones (IEEE) del Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC) (<http://www.grida.no/climate/ipcc/emission/>).

Referencias

- Abdurakhmonov, I.Y., Buriev, Z.T., Saha, S., Pepper, A.E., Musaev, J.A., Almatov, A., Shermatov, S.E., Kushanov, F.N., Mavlonov, G.T., Reddy, U.K, Yu, J.Z., Jenkins, J.N., Kohel, R.J. y Abdulkarimov, A. (2007) 'Microsatellite markers associated with lint percentage trait in cotton, *Gossypium hirsutum*', *Euphytica*, vol 156, pp141–156
- Bai, Y. y Lindhout, P. (2007) 'Domestication and breeding of tomatoes: What have we gained and what can we gain in the future?', *Annals of Botany*, vol 100, no 5, pp1085–1094
- Bennett, A. (1965) 'Plant introduction and genetic conservation: genecological aspects of an urgent world problem', *Scottish Plant Breeding Station Record*, pp17–113
- Brar, D.S. (2005) 'Broadening the gene pool of rice through introgression from wild species', en K. Toriyama, K.L. Heong y B. Hardy (eds) *Rice is Life: Scientific Perspectives for the 21st Century*. Memorias de la Conferencia Internacional de Investigación en Arroz, Realizada en Tokio y Tsukuba, Japón, 4 a 7 de noviembre 2004, pp157–160, International Rice Research Institute, Los Baños, Filipinas, y Japan International Research Center for Agricultural Sciences, Tsukuba, Japón
- Brar, D. y Kush, G. (1997) 'Alien introgression in rice', *Plant Molecular Biology*, vol 35, pp35–47
- Chatzav, M., Peleg, Z., Ozturk, L., Yazici, A., Fahima, T., Cakmak, I. y Saranga, Y. (2010) 'Genetic diversity for grain nutrients in wild emmer wheat: potential for wheat improvement', *Annals of Botany*, vol 105, no 7, pp1211–1220
- Comai, L., Till, B.J., Reynolds, S.H., Greene, E.A., Codom, C., Enns, L.C., Johnson, J.E., Burtner, C., Odden, A.R. y Henikoff, S. (2004) 'Efficient discovery of DNA polymorphisms in natural populations by EcoTILLING', *The Plant Journal*, vol 37, no 5, pp778–786
- Dillon, S.L., Shapter, F.M., Henry, R.J., Cordeiro, G., Izquierdo, L. y Lee, L.S. (2007) 'Domestication to crop improvement: genetic resources for sorghum and saccharum (Andropogoneae)', *Annals of Botany*, vol 100, no 5, pp975–989

- Dwivedi, S.L., Crouch, J.H., Mackill, D.J., Xu, Y., Blair, M.W., Ragot, M., Upadhyaya, H.D. y Ortiz, R. (2007), 'The molecularization of public sector crop breeding: progress, problems, and prospects', *Advances in Agronomy*, vol 95, pp163–318, doi:10.1016/S0065-2113(07)95003-8
- Dwivedi S.L., Upadhyaya, H.D., Thomas Stalker, H., Blair, M.W., Bertoli, D.J., Nielen, S. y Ortiz, R. (2008), 'Enhancing crop gene pools with beneficial traits using wild relatives', *Plant Breeding Reviews*, vol 30, pp180–230
- FAO (1989) *Plant Genetic Resources: Their Conservation in situ for Human Use*, Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Roma, Italia
- Farooq, S. y Azam, F. (2001) 'Production of low input and stress tolerant wheat germplasm through the use of biodiversity residing in the wild relatives', *Hereditas*, vol 135, pp211–215
- Flitner, M. (1995) *Sammler, Räuber und Gelehrte: die Politische Interessen an Pflanzengenetischen Ressourcen 1895–1995*, CampusVerlag, Frankfurt/Main, Nueva York
- Flynn, J. (2006) 'Reflections on two ecosystem services: "The Production of Ecosystem Goods" y "Generation and Maintenance of Biodiversity"', <http://blog.lib.umn.edu/vljusten/veronica/eco%20sys%20services%20paper.doc>
- Hajjar, R. y Hodgkin, T. (2007) 'The use of wild relatives in crop improvement: a survey of developments over the last 20 years', *Euphytica*, vol 156, pp1–13
- Harlan, J.R. y de Wet, J.M.J. (1971) 'Towards a rational classification of cultivated plants', *Taxon*, vol 20, no 4, pp509–517
- Heywood, V.H. y Dulloo, M.E. (2005) *In Situ Conservation of Wild Plant Species – A Critical Global Review of Good Practices*, IPGRI Technical Bulletin, no 11, FAO y IPGRI, IPGRI, Roma, Italia
- Heywood, V., Casas, A., Ford-Lloyd, B., Kell, S. y Maxted, N. (2007) 'Conservation and sustainable use of crop wild relatives', *Agriculture, Ecosystems and Environment*, vol 121, pp245–255
- Hodgkin, T. y Hajjar, R. (2008) 'Using crop wild relatives for crop improvement: trends and perspectives', en N. Maxted, B.V. Ford-Lloyd, S.P. Kell, J.M. Iriondo, M.E. Dulloo y J. Turok (eds) *Crop Wild Relative Conservation and Use*, pp535–548, CAB International, Wallingford, Reino Unido
- Jarvis, A., Lane, A. y Hijmans, R. (2008) 'The effect of climate change on crop wild relatives' *Agriculture, Ecosystems and Environment*, vol 126, pp13–23
- Kell, S.P., Laguna, L., Iriondo, J. y Dulloo, M.E. (2008) 'Population and habitat recovery techniques for the *in situ* conservation of genetic diversity', en J. Iriondo, N. Maxted y M.E. Dulloo (eds) *Conserving Plant Genetic Diversity in Protected Areas*, Capítulo 5, pp124–168, CAB International, Wallingford, Reino Unido
- Kovacs, M.I.P., Howes, N.K., Clarke, J.M. y Leisle, D. (1998) 'Quality characteristics of durum wheat lines deriving high protein from *Triticum dicoccoides* (6b) substitution', *Journal of Cereal Science*, vol 27, pp47–51
- Malik, R., Brown-Guedira, G.L. Smith, C.M., Harvey, T.L. y Gill, B.S. (2003) 'Genetic mapping of wheat curl mite resistance genes Cmc3 and Cmc4 in common wheat', *Crop Science*, vol 43, pp644–650

- Lira, R., Tellez, O. y Dávila, P. (2009) 'The effects of climate change on geographic distribution of Mexican wild relatives of domesticated cucurbitaceae', *Genetic Resources and Crop Evolution*, vol 56, pp691–703.
- Maxted, N. y Kell, S.P. (2009) *Establishment of a Global Network for the In Situ Conservation of Crop Wild Relatives: Status and Needs*, Comisión de Recursos Genéticos para la Alimentación y la Agricultura de la FAO, Roma, Italia
- Maxted, N., Dulloo, M.E., Ford-Lloyd, B.V., Iriondo, J. y Jarvis, A. (2008) 'Gap analysis: a tool for complementary genetic conservation assessment', *Diversity and Distributions*, vol 14, no 6, pp1018–1030
- Meilleur, B.A. y Hodgkin, T. (2004) 'In situ conservation of crop wild relatives: status and trends', *Biodiversity and Conservation*, vol 13, pp663–684
- Miller, J.C. y Tanksley, S.D. (1990) 'RFLP analysis of phylogenetic relationships and genetic variation in the genus *Lycopersicon*', *Theoretical and Applied Genetics*, vol 80, pp437–448
- NRC (National Research Council) (1991a) *Managing Global Genetic Resources: The US National Plant Germplasm System*, National Academy Press, Washington, DC
- NRC (1991b) *Managing Global Genetic Resources: The US National Plant Germplasm System*, National Academy Press, Washington, DC
- NRC (1993) *Managing Global Genetic Resources: The US National Plant Germplasm System: Agricultural Crop Issues and Policies*, National Academy Press, Washington, DC
- Ortiz, R., Taba, S., Tovar, V.H.C., Mezzalama, M., Xu, Y., Yan, J. y Crouch, J.H. (2009) 'Conserving and enhancing maize genetic resources as global public goods – a perspective from CIMMYT', *Crop Science*, vol 50, pp13–28
- Prescott-Allen, R. y Prescott-Allen, C. (1988) *Genes from the Wild: Using Wild Genetic Resources for Food and Raw Materials*, Earthscan Publications Limited, Londres, Reino Unido
- Rick, C.M. y Chetelat, R.T. (1995) 'Utilization of related wild species for tomato improvement', *Acta Horticulturae*, vol 412, pp21–38
- Robertson, L. y Labate, J. (2007) 'Genetic resources of tomato', en M.K. Razdan y A.K. Mattoo (eds) *Genetic Improvement of Solanaceous Crops*, vol 2, Tomato, Science Publishers, Enfield, NH, EEUU
- Rubenstein, K.D., Heisey, J.P., Shoemaker, R., Sullivan, J. y Frisvold, G. (2005) *Crop Genetic Resources: An Economic Appraisal*, Economic Information Bulletin Number 2, United States Department of Agriculture (USDA), Washington, DC
- Schneider, A., Molnár, I. y Molnár-Láng, M. (2008) 'Utilisation of *Aegilops* (goatgrass) species to widen the genetic diversity of cultivated wheat', *Euphytica*, vol 163, pp1–19
- Sencer, H.A. (1975) 'Recent and proposed activities of the Izmir Centre', Turkey, en O.H. Frankel y J.G. Hawkes (eds) *Crop Genetic Resources for Today and Tomorrow*, International Biological Programme 2, pp151–157, Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido.
- Singh, B. (1981) *Establishment of first gene sanctuary in India for Citrus in Garo Hills*, Concept Publishing Co., Nueva Delhi, India

- Smith, N.J.H., Williams, J.T., Plucknett, D.L. y Talbot, P. (1992) *Tropical Forests and their Crops*, Comstock Publishing Associates, Cornell University Press, Ithaca, Nueva York y Londres, Reino Unido
- Tan, A. y Tan, A.S. (2002) 'In situ conservation of wild species related to crop plants: the case of Turkey', en J.M.M. Engels, V. Ramantha Rao, A.H.D. Brownand y M.T. Jackson (eds) *Managing Plant Genetic Diversity*, pp195–204, CAB International, Wallingford, Reino Unido
- Tanksley, S.D. y McCouch, S.R. (1997) 'Seed banks and molecular maps: unlocking genetic potential from the wild', *Science*, vol 277, pp1063–1066
- Valdés, B., Heywood, V.H., Raimondo, F. y Zohary, D. (eds) (1997) *Conservation of the Wild Relatives of European Cultivated Plants*, *Bocconeia 7*, Palermo, Italia
- Xiao, J., Li, J., Grandillo, S., Ahn, S.N., Yuan, L., Tanksley, S.D. y McCouch, S.R. (1998) 'Identification of trait-improving quantitative trait loci alleles from a wild rice relative, *Oryza rufipogon*', *Genetics*, vol 150, pp899–909

