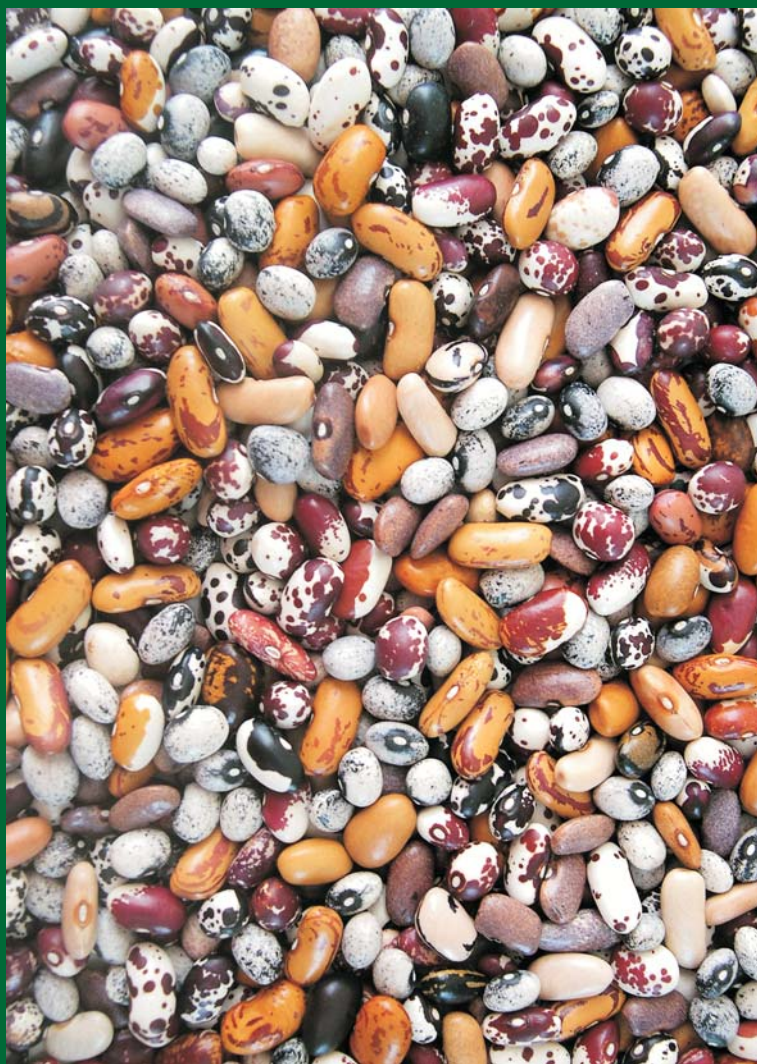


Bolivia Ecológica

EDICIÓN TRIMESTRAL REVISTA Nº 58

AÑO 2010



CONSERVACIÓN DE LOS RECURSOS FITOGENÉTICOS

- Antecedentes
- Centros de origen de las especies cultivadas
- Biodiversidad
- ¿Qué son los recursos genéticos?
- ¿Qué es el germoplasma?
- Importancia de los recursos genéticos
- Pérdida o erosión de los recursos genéticos
- Conservación de los recursos fitogenéticos
- Estrategias de conservación de los recursos fitogenéticos o germoplasma
- Bancos de germoplasma
- Colecciones de germoplasma
- Actividades de un banco de germoplasma
- Marco regulatorio de los recursos genéticos
- Conclusiones
- Glosario
- Bibliografía

CENTRO DE ECOLOGÍA DIFUSIÓN



FUNDACIÓN SIMÓN I. PATIÑO

EDITOR

CENTRO DE ECOLOGÍA DIFUSIÓN SIMÓN I. PATIÑO

DIRECTORA DE LA PUBLICACIÓN

Carmiña Montoya Köster

AUTORES

Teresa Ávila Alba (CIFP)

Marcia Céspedes Polo (CIFP)

COLABORACIÓN

José Baudoin

Cristina Torrico Laserna

FOTOGRAFÍA PORTADA

Diversidad en semillas de frijol

CIFP

DISEÑO GRÁFICO

Sandra P. Heredia A.

ÍNDICE

• Antecedentes	pág. 1
• Centros de origen de las especies cultivadas	pág. 2
• Biodiversidad	pág. 2
• ¿Qué son los recursos genéticos?	pág. 3
• ¿Qué es el germoplasma?	pág. 3
• Importancia de los recursos genéticos	pág. 4
• Pérdida o erosión de los recursos genéticos	pág. 4
• Conservación de los recursos fitogenéticos	pág. 6
• Estrategias de conservación de los recursos fitogenéticos o germoplasma	pág. 6
• Bancos de germoplasma	pág. 9
• Colecciones de germoplasma	pág. 10
• Actividades de un banco de germoplasma	pág. 18
• Marco regulatorio de los recursos genéticos	pág. 23
• Conclusiones	pág. 24
• Glosario	pág. 24
• Bibliografía	pág. 26

CENTRO DE ECOLOGÍA DIFUSIÓN



FUNDACIÓN SIMÓN I. PATIÑO

Independencia, Esq. Suárez de Figueroa - Tef. / Fax: (+ 591- 3) 3 37 57 26 - Casilla 1674 - Santa Cruz - Bolivia
E-mail: edifusion@fundacionpatino.org - www.cedsip.org

ANTECEDENTES

Hace unos 10 000 años el hombre del Asia menor complementó su actividad de recolector y cazador y comenzó a seleccionar y cultivar especies útiles para su alimentación, vestimenta, medicina y refugio, dando lugar a la práctica de la agricultura. En América el proceso comenzó hace unos 5 000 años.

Las selecciones que realizaron los agricultores y la naturaleza, a partir de plantas silvestres, han dado como resultado la modificación de algunas características morfológicas y fisiológicas útiles para el hombre como ser el incremento del tamaño de los frutos y de la producción, la reducción de la dehiscencia de las semillas, la disminución de compuestos tóxicos, la germinación rápida y uniforme, entre otras, este proceso se conoce como domesticación.

Los cultivos primitivos se fueron extendiendo desde sus lugares de origen, transportados por migraciones primero y rutas comerciales después, encontrando condiciones diversas de clima, suelo, vegetación y otros factores ambientales.

De esta forma, las poblaciones de plantas cultivadas evolucionaron de forma diferente según las características de las nuevas zonas y las distintas prácticas agrícolas utilizadas. En numerosos casos, se produjeron intercambios de genes o formación de híbridos con las especies silvestres de las nuevas localidades.

El resultado de la selección natural y la acción del hombre a lo largo de miles de años, sobre centenares de especies utilizadas en la historia de la humanidad, ha sido el establecimiento de una diversidad vegetal constituida por un enorme número de variedades y ecotipos locales, caracterizados por su adaptación a las necesidades humanas y al medio ambiente.



La agricultura en Los Andes de Guamán Poma de Ayala, año 1615

CENTROS DE ORIGEN DE LAS ESPECIES CULTIVADAS

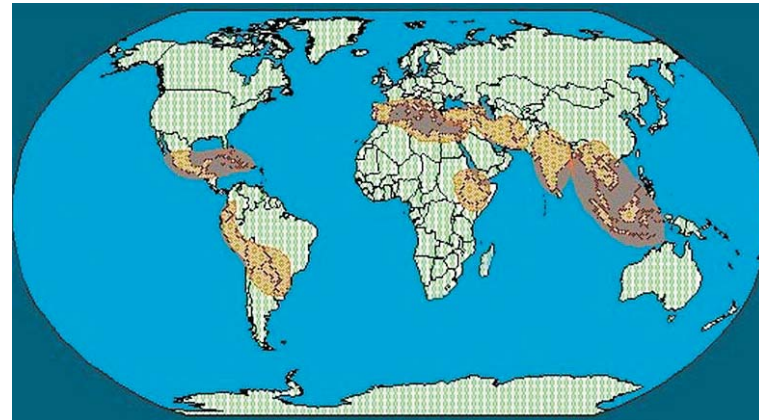
La variabilidad genética de las plantas cultivadas no está distribuida al azar por toda la tierra. Vavilov en la década de 1920 a 1930, identificó unos lugares donde se conserva la máxima diversidad de las especies cultivadas, a los cuales los llamo centros de origen y domesticación.

Las zonas identificadas tienen estacionalidad pluvial, es decir que hay un periodo de lluvia y un periodo seco muy marcados, dando lugar a especies que acumulan sustancias de reserva para pasar el periodo seco. Estas sustancias de reserva, como el caso del almidón, han sido aprovechadas por el hombre para su utilización por medio de la domesticación.

Según Vavilov se distinguieron ocho núcleos donde se origina la agrobiodiversidad: la parte sur de China, India, Asia central, México-Centroamérica, los Andes y el Chaco, el Mediterráneo, Medio Oriente y Etiopía. Estos centros son considerados refugios irremplazables de biodiversidad y son esenciales para la alimentación humana.

Bolivia forma parte de estas regiones, en la zona andina y la zona chaqueña. Algunos de los cultivos originarios de estas zonas son: papa, camote, frijol, ají, algodón, papaya,

maní, yuca, piña y otros cultivos con importancia alimenticia y económica.



Centros de origen de las especies domesticadas (en color café)

BIODIVERSIDAD

Por "*diversidad biológica*" se entiende la variabilidad de organismos vivos de cualquier fuente, incluidos los ecosistemas terrestres y marinos y otros ecosistemas acuáticos y los complejos ecológicos de los que forman parte; o sea comprende la diversidad dentro de cada especie, entre las especies y de los ecosistemas (Convenio sobre Diversidad Biológica, 1992).

La biodiversidad está formada por tres "componentes" claramente relacionados:

Diversidad genética	Variedad de alelos o formas de expresión de los genes
Diversidad taxonómica	Variedad de especies u otras categorías taxonómicas
Diversidad ambiental	Variedad de ecosistemas en cualquier nivel geográfico

¿QUÉ SON LOS RECURSOS GENÉTICOS?

Los recursos genéticos son todos aquellos materiales de origen vegetal, animal o microbiano que contengan unidades funcionales de herencia, con valor real o potencial.

Los recursos genéticos, constituyen un componente estratégico de la biodiversidad debido a su estrecha relación con el hombre.

Los recursos genéticos están constituidos por la diversidad genética organizada en un conjunto de materiales diferentes entre sí, denominados germoplasma. Los recursos genéticos vegetales se denominan recursos fitogenéticos.

¿QUÉ ES EL GERMOPLASMA?

El germoplasma es una estructura que porta la suma total de características hereditarias de una especie. La palabra germoplasma supone que la estructura puede dar origen a una nueva generación, transmitiendo sus características genéticas (Jaramillo y Baena, 2000).

El germoplasma constituye el elemento de los recursos genéticos, que incluye la variabilidad genética dentro una especie, con fines de utilización en la investigación en general y especialmente en el mejoramiento genético.



Variabilidad genética dentro de una especie (Razas de la colección boliviana de maíz)

IMPORTANCIA DE LOS RECURSOS GENÉTICOS

Los recursos genéticos están relacionados con la satisfacción de las necesidades básicas del hombre, como alimentación, vestimenta, refugio, principios activos de medicamentos y materias primas para la industria, etc.

La variabilidad genética que se encuentra en estos recursos es la suma de todas las combinaciones de genes resultantes de la evolución de la especie y resulta fundamental para ser utilizada como fuente de genes para el mejoramiento genético.

Es decir, estos recursos poseen genes potenciales de tolerancia a condiciones bióticas (enfermedades y plagas) y abióticas (sequía, inundaciones, granizo, frío, etc.), además de características nutricionales y compuestos químicos de alto valor, que potencialmente podrían ser utilizados para crear nuevas variedades.

La importancia de los recursos genéticos vegetales para la seguridad alimentaria y la agricultura sustentable, ha sido reconocida en los máximos niveles políticos del mundo.

Los gobiernos de 150 países, adoptaron en 1996 un Plan de Acción Mundial para la Conservación y Utilización Sostenible de Recursos Filogenéticos para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 1996), que presenta muchos desafíos para los investigadores que trabajan con recursos genéticos desarrollando o adaptando tecnologías apropiadas para la conservación y uso de estos recursos.

Son prioridades de este plan la elaboración del inventario de los recursos genéticos vegetales así como la caracterización y evaluación de los mismos para que puedan ser efectivamente utilizados en la agricultura y la alimentación con los consiguientes beneficios sociales y económicos.

PÉRDIDA O EROSIÓN DE LOS RECURSOS GENÉTICOS

Tanto el aprovechamiento como la pérdida de los recursos genéticos, dependen de la intervención humana debido a la estrecha relación que existe entre éstos y el hombre. La pérdida de los recursos genéticos se llama “erosión genética”.

La erosión genética se refiere particularmente a la pérdida de variedades no utilizadas que representan la diversidad de la especie, como por ejemplo la pérdida de variedades de papa que se utilizaban antiguamente, dando lugar al dicho “en Bolivia cada plato tiene su tipo de papa”. Actualmente ya no se utiliza esta diversidad de papas y se ha generalizado el uso de pocas variedades para todos los tipos de comida.

La erosión genética, es producto de la destrucción y/o modificación del ambiente, cambios de uso del suelo y del continuo desplazamiento de las variedades tradicionales por el uso generalizado de pocas variedades más productivas y de mayor demanda en el mercado.

Los centros de origen de especies domesticadas se destruyen o modifican debido a:

- Expansión demográfica y cambio de uso del suelo que antes se usaba para la agricultura y actualmente está cubierto por construcciones.
- Degradación de los hábitats, debido principalmente a la contaminación y a la ampliación de la frontera agrícola.
- Cambios atmosféricos o climáticos.
- Sobre explotación de los recursos más allá de su capacidad de regeneración.
- Introducción de especies exóticas que compiten con las especies nativas y en algunos casos las hacen desaparecer.
- Concentración de cultivos en pocas especies y pocas variedades con demanda en el mercado.
- Mal manejo de los suelos, lo que da lugar principalmente a erosión.

Los cambios en los hábitos alimenticios tienden a una globalización, favoreciendo el cultivo de algunas especies y cultivares.

A lo largo de la historia, el ser humano ha utilizado cerca de diez mil especies vegetales para alimentarse, pero hoy en día poco más de un centenar constituyen la base de nuestra alimentación, debido a la concentración de la agricultura en un reducido número de variedades comerciales modernas y uniformes.



Terreno erosionado



Ampliación de la frontera agrícola

CONSERVACIÓN DE LOS RECURSOS FITOGENÉTICOS

La dependencia de la población humana de la biodiversidad para la continuación de la vida en el planeta es total y por lo tanto su conservación es estratégica para satisfacer las demandas crecientes, actuales y futuras de la población mundial.

En los últimos años la migración hacia áreas urbanas, la colonización y la degradación de los ecosistemas naturales y las prácticas de la agricultura moderna han provocado la erosión genética de variedades de especies nativas y sus parientes silvestres.

Sin embargo, la diversidad genética de especies nativas y de especies silvestres útiles, todavía es mantenida *in situ* por agricultores indígenas y tradicionales, particularmente en Argentina, Bolivia, Brasil, Colombia, Ecuador, Guatemala, México, Paraguay y Perú.

Uno de los retos más grandes que tiene la ciencia agrícola hoy en día, es frenar la erosión genética de esta diversidad, asegurar su conservación efectiva y aumentar su utilidad para el bienestar de las poblaciones locales.

La conservación en sí, no se limita a la posesión física de los materiales (recolección y almacenamiento) sino que requiere asegurar la existencia de éstos, en el tiempo en condiciones viables y con sus características genéticas originales (Jaramillo y Baena 2000).

Además, se debe promover su conocimiento y valorización a fin de incrementar su consumo, ya que los recursos genéticos son cultivados por los agricultores en la medida en que estos son demandados por el mercado.

ESTRATEGIAS DE CONSERVACIÓN DE LOS RECURSOS FITOGENÉTICOS O GERMOPLASMA

Existen varios tipos de estrategias de conservación de los recursos fitogenéticos, las cuales, dependen básicamente, del tipo de germoplasma y de los objetivos de la conservación.

Conservación *in situ*

La conservación *in situ* implica la conservación de todos los componentes de la biodiversidad: genes, especies y los ecosistemas que ellos habitan.

Es la conservación de las poblaciones de especies en su entorno o ecosistemas y hábitats naturales. En el caso de especies domesticadas y cultivadas, es la conservación por los agricultores en su zona de distribución natural.

Los agricultores son los principales protagonistas de la conservación de sus variedades, puesto que éstas constituyen la base de su dieta diaria y están fuertemente vinculadas a conocimientos tradicionales asociados al manejo y uso, con expresiones sociales y culturales que pasan de generación en generación (García y colaboradores, 2003).

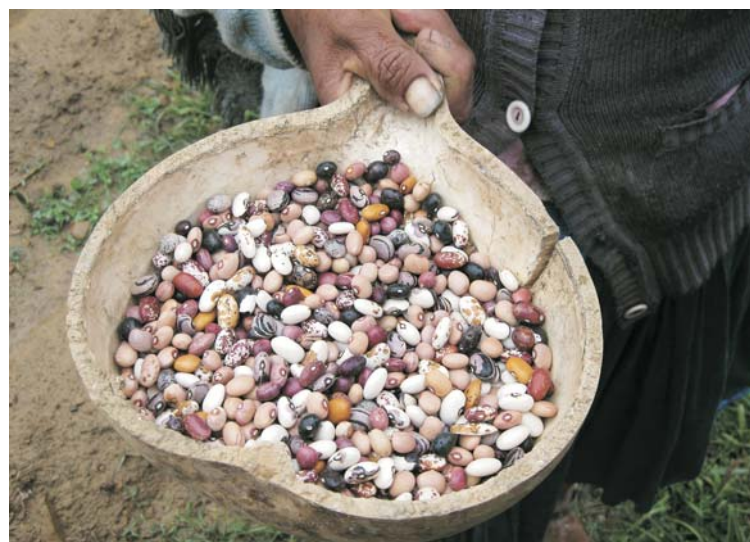
El germoplasma conservado por los agricultores, garantiza los procesos de interrelación con el ambiente, asegurando la continuidad de los procesos evolutivos y la adaptación de las especies al medio en el que se desarrollan.

La conservación *in situ* también permite el desarrollo sostenible de un área y de las comunidades que la habitan, ya que tienen un mayor control sobre sus recursos, además que permite la conservación y utilización simultánea de los recursos fitogenéticos (Van den Hurk, 2000).

Sin embargo, los recursos conservados *in situ* son vulnerables a desastres naturales y efectos adversos de actividades humanas, como cambios de sistemas agrícolas, extensión de la frontera agrícola, urbanización, adopción de variedades mejoradas, etc.

La Fundación PROINPA, para estimular la conservación *in situ* de especies agrícolas, ha detectado zonas con alta diversidad genética cultivada y silvestre que favorecen a la evolución natural de las especies, estas zonas las ha denominado “micro centros de diversidad”. Por ejemplo, la zona de Candelaria en Cochabamba y la zona que circunda al Lago Titicaca en La Paz, presentan una alta diversidad de tubérculos (papa, oca, papalisa e isaño).

Asimismo, los ecosistemas de bosque de neblina de la zona de yungas de La Paz y Cochabamba presentan una alta diversidad de raíces (arracacha, achira, yacón, ajipa y walusa). En estos micro centros existen numerosas variedades en cada una de las especies mencionadas las cuales han sido seleccionadas por los agricultores para diferentes usos.



Frijoles cultivados en forma de mezcla por agricultores de los valles de Chuquisaca

CIFP



Agricultores mostrando diversidad de papas en una feria

PROINPA

Conservación *ex situ*

La conservación *ex situ* se refiere al mantenimiento de los organismos fuera de su hábitat natural, conservando las especies amenazadas y los recursos genéticos en bancos de semillas, bancos genéticos *in vitro*, bancos de genes, colecciones de campo y jardines botánicos.

Los sistemas de conservación *ex situ* surgen como una medida complementaria a los mecanismos de conservación *in situ*, orientados principalmente a resguardar el material genético de las especies de importancia para el mejoramiento genético, la industria alimenticia, farmacéutica, maderera, etc., permitiendo la conservación de la variabilidad de especies vulnerables a procesos de erosión genética, como maíz, trigo, papa, frijol, soya, plantas aromáticas, etc.

Cabe recalcar que las especies mencionadas en sí, no están en peligro de extinción, sino que algunas variedades de estas especies son cada vez menos utilizadas y por lo tanto corren el peligro de erosión genética.

Una de las desventajas de la conservación *ex situ*, es que se interrumpen los procesos de evolución que ocurren en los ambientes naturales, ya que los recursos conservados permanecen estáticos.

En el artículo 9 del Convenio sobre Diversidad Biológica se establece la necesidad de adoptar medidas para la conservación *ex situ* de los componentes de la diversidad biológica, estableciendo y manteniendo las instalaciones adecuadas para su conservación, así como la investigación

requerida para su correcto desarrollo y el suministro de apoyo financiero o de otra naturaleza que la misma requiera.

El Plan de Acción Mundial para la Conservación y la Utilización Sostenible de los Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura, en su segundo capítulo establece la conveniencia de conceder la máxima prioridad para salvaguardar la mayor cantidad posible de la valiosa diversidad de características únicas, existentes en las colecciones *ex situ* de los recursos fitogenéticos, fomentando y consolidando la cooperación entre los programas nacionales y las instituciones internacionales para el mantenimiento de dichas colecciones.

Antes de definir el método de conservación *ex situ*, es importante recordar que existe una gran cantidad de especies vegetales y por lo mismo, distintos sistemas de reproducción, que de alguna forma estarían indicando cual sería el método más eficiente de conservación.

Entre los tipos de reproducción de las especies vegetales encontramos reproducción sexual (por medio de semillas), como por ejemplo maíz y trigo y asexual o vegetativa, por medio de explantes, como por ejemplo la papa y el plátano. Las plantas de reproducción sexual se dividen en aquellas que tienen semillas ortodoxas y las que tienen semillas recalcitrantes.

Las **semillas ortodoxas**, son aquellas que pueden conservarse en condiciones de baja humedad y baja temperatura, por ejemplo las semillas de leguminosas y cereales como el trigo, maíz, arroz, cebada, arveja, garbanzo, haba, etc. La principal característica de este comportamiento

es su tolerancia a la desecación hasta un nivel de humedad relativamente bajo de 7-13% (en equilibrio con una humedad relativa ambiental de 30-50%).

Las **semillas recalcitrantes**, son las que no pueden desecarse ni mantenerse a bajas temperaturas sin sufrir graves daños. En este grupo se encuentran la caña de azúcar, coco, té, caucho, castaña y cítricos.

Existen **semillas intermedias**, es decir que presentan características intermedias entre las semillas ortodoxas y las recalcitrantes, como las semillas de algunas especies del género *Passiflora* (maracuyá, tumbo, pachío).

Las plantas de reproducción asexual se deben conservar *in vitro* o en campo o mediante un método que asocia la conservación en almacén y campo. Las plantas con semilla ortodoxa pueden conservarse en una cámara fría a 0°C y las plantas con semilla recalcitrante, deben conservarse en condiciones *in vitro* o en jardines.

BANCOS DE GERMOPLASMA

Los bancos de germoplasma son instalaciones para la conservación de colecciones de recursos genéticos o germoplasma. Pueden ser de varios tipos dependiendo la parte de la planta que se pretende conservar: bancos de semillas, de polen, de clones (colecciones en campo) y bancos de conservación *in vitro* de órganos y tejidos vegetativos y/o reproductivos.

El objetivo de los bancos de germoplasma es el de conservar al máximo posible la diversidad existente para garantizar la

posibilidad de usarla en el presente o futuro. Esto surge como respuesta de emergencia ante el grave problema de la pérdida de biodiversidad (erosión genética) detectado en la última mitad del siglo XX.

En Bolivia se cuenta con varios bancos de germoplasma, de los cuales los más representativos son los que se mencionan en la tabla siguiente. Las instituciones que se mencionan, conservan una buena representatividad de especies nativas e introducidas, de importancia socio económica, cultural y alimenticia.

Estas instituciones custodian los recursos genéticos y han sido designados por el Estado para su manejo y conservación.

Tabla 1. Lista de Bancos de Germoplasma en Bolivia

Nombre Banco Germoplasma Activo	Ubicación	Institución	Categoría
Banco de Germoplasma de Tubérculos y Raíces Andinas	Cochabamba	Fundación PROINPA	Privado
Banco de Germoplasma Granos Altoandinos	La Paz	Fundación PROINPA	Privado
Banco de Germoplasma de Semillas Forestales	Cochabamba	BASFOR /ETSFOR	Público
Banco de Germoplasma de Cereales y Leguminosas	Cochabamba	Centro de Investigaciones Fitoecogenéticas de Pairumani	Privado
Banco de Germoplasma de Frutales de Valle	Tarija	Prefectura	Público
Banco de Germoplasma de Camélidos Andinos	Oruro	Universidad Técnica de Oruro	Público

COLECCIONES DE GERMOPLASMA

Las colecciones de germoplasma son congregaciones de muestras representativas de la variabilidad genética con el objetivo de su conservación y/o utilización. Pueden contener desde decenas hasta miles de muestras. Las muestras de las colecciones se denominan accesiones. Las colecciones de germoplasma se clasifican en colección base, activa, núcleo y de trabajo (Jaramillo y Baena, 2000).

- Colección base

Agrupar la mayor variabilidad genética posible de las especies de interés, incluyendo parientes silvestres, formas intermedias, cultivares, variedades tradicionales y germoplasma élite (Jaramillo y Baena, 2000).

Por ejemplo en el caso del frijol, se conservan muestras de la especie *Phaseolus vulgaris* de tipo cultivado y *Phaseolus vulgaris* de tipo silvestre y también tipos intermedios denominados “weedy”, que son híbridos entre cultivados y silvestres, ya que al tratarse de la misma especie, cultivados y silvestres pueden cruzarse de manera natural. De igual manera se conservan variedades tradicionales de frijol como los k’opuros, que son frijoles que revientan con calor y son consumidos particularmente en fiestas y los chuwis que son frijoles de colores y diseños vivos, los cuales son utilizados principalmente para jugar. Finalmente se conservan variedades de frijoles provenientes del mejoramiento genético, las cuales constituyen el germoplasma élite.

La colección base se establece para conservar el germoplasma a largo plazo y constituye una colección estratégica para el país. La conservación se realiza a bajas temperaturas (-20°C) o mediante crioconservación.

- Colección activa

Es un duplicado de la colección base, establecida a corto y mediano plazo para manejo y distribución. Si se conservan semillas, estas se almacenan a 0° C. En caso de tratarse de plantas de reproducción asexual, pueden conservarse en condiciones *in vitro* (Jaramillo y Baena, 2000).



Cámara fría del Banco de Germoplasma de Pairumani

- Colección núcleo

Reúne la mayor variabilidad genética de una especie en el menor número de muestras, 70-80% de variabilidad es representada por el 10-15% de las muestras o accesiones. Es decir se eligen entre todas las muestras las más variables mediante sistemas de información que permiten crear una colección núcleo virtual.

Esta colección se la realiza sobre la información de la colección base o también puede elaborarse en base a la colección activa (Jaramillo y Baena, 2000).

- Colección de trabajo

Son muestras para suministrar germoplasma a investigadores o programas de investigación y/o mejoramiento. Contiene accesiones con características de interés para el mejoramiento de un cultivo, aunque no representativas de la variabilidad genética de la especie. Se trata de una conservación de semillas o plantas a corto plazo (Jaramillo y Baena, 2000).

En los bancos de germoplasma la conservación se realiza de acuerdo a la especie y sus requerimientos y puede ser:

CONSERVACIÓN DE SEMILLAS

Esta es la metodología más utilizada. Las semillas son desecadas y conservadas a bajas temperaturas, por lo que se pueden conservar en estos bancos solamente las semillas ortodoxas. La temperatura de conservación depende del plazo al cual se proyecte conservarlas.

De largo plazo entre -10 y -20 °C y mediano plazo entre 0-15°C. En general, se puede decir que cuanto menor sea el contenido de humedad de la semilla y la temperatura de almacenamiento, mayor será el plazo que se podrá conservar (Van den Hurk, 2000).

Es también posible almacenar las semillas por periodos de alrededor de 10 años, desecándolas hasta un 7-10% de contenido de humedad y manteniéndolas a la temperatura ambiente, en zonas templadas o frías.

La conservación mediante semilla permite conservar un gran número de muestras o accesiones en espacios reducidos y con un costo relativamente bajo.

En el país se cuenta con instituciones que tienen la infraestructura para la conservación de los recursos genéticos nativos y criollos introducidos hace mucho tiempo.

El Centro de Investigaciones Fitoecogenéticas de Pairumani (CIFP) conserva colecciones de cereales, leguminosas, ajíes, cucúrbitas y pasifloras recolectadas en todo el país. La Fundación PROINPA conserva granos altoandinos (quinua, cañahua, etc) y BASFOR, dependiente de la Universidad Mayor de San Simón, conserva semillas de especies forestales. De igual manera la Universidad Técnica de Oruro cuenta con una colección de quinua.

Para la conservación de las semillas se tiene que seguir el siguiente procedimiento:

Dsecación de las semillas

Lo primero que se debe hacer es medir el grado de humedad de las semillas antes de proceder al secado de las mismas. El contenido de humedad de las semillas se puede determinar cuantificando directa o indirectamente el agua que contienen.

El objetivo del proceso de desecación es reducir el contenido de humedad de la semilla hasta un porcentaje que permita reducir al máximo su actividad metabólica y evitar daños por congelamiento cuando se someta a bajas temperaturas.

El valor óptimo depende de las especies, pero señalamos como referencia las *Normas Internacionales para Bancos de Germoplasma (FAO/IPGRI 1994)*, las cuales establecen un contenido de humedad óptimo entre el 3% y el 7%, dependiendo de las especies.

Este proceso es de suma importancia para maximizar la longevidad posterior de las semillas, ya que una desecación incompleta tendría resultados catastróficos.



Equipo secador de granos a baja temperatura

Envasado de semillas

Una vez que se han desecado las semillas y antes de pasarlas a la cámara donde se vayan a conservar, es necesario envasarlas.

Existe una amplia gama de recipientes para empaquetar semillas, de variadas formas y materiales, desde sobres de papel y de aluminio, hasta frascos de vidrio y contenedores de diferentes metales.

Más que la forma o el material, lo que importa del envase es que aisle el germoplasma para evitar que absorba humedad y/o se contamine (Rao y colaboradores, 2007).

La elección del envase dependerá de las características de las semillas y si se espera conservarlas a corto, mediano o largo plazo.

Condiciones de almacenamiento

Las condiciones en que se mantienen las semillas, una vez desecadas y envasadas, dependen del plazo que se pretendan conservar, así como de los medios disponibles.

Periódicamente, se tienen que sacar muestras de las semillas conservadas para hacerles un ensayo de germinación, el cual nos permitirá determinar si las condiciones de conservación son las correctas.

Según el plazo que se desee almacenar las semillas, se puede aplicar los siguientes tratamientos:

- Mediano plazo (durante 15 años)

No es necesario mantener las semillas a temperaturas muy bajas, siempre y cuando hayan sido correctamente desecadas y envasadas. Una temperatura de unos 4°C., puede ser suficiente para conservar la mayoría de las semillas durante muchos años, siempre que se mantengan secas durante todo ese tiempo. Es necesario que la temperatura se mantenga lo más estable posible durante todo el periodo de conservación.

- Largo plazo

Para este tipo de almacenamiento es conveniente mantener las semillas a una temperatura más baja, generalmente alrededor de los -20°C.

Se pueden conservar tanto a mediano como largo plazo todas las semillas ortodoxas, como los cereales.

CONSERVACIÓN EN CAMPO, JARDINES E INVERNADEROS

Las especies de semilla recalcitrante y de reproducción vegetativa o asexual, pueden ser conservadas en colecciones que se mantienen en campo o jardines de plantas.

Debido a que muchas especies tropicales presentan semilla recalcitrante o son de reproducción asexual, los jardines o plantaciones tienen un papel importante en la conservación de estas especies. De igual manera, la conservación en campo también desempeña un papel importante en la

conservación de especies con semilla ortodoxa que tienen ciclos de vida largos como los frutales y forestales.

Una ventaja de este tipo de conservación es que facilita el acceso a los materiales para su caracterización, evaluación y utilización.

La desventaja es que el material mantenido en campo es vulnerable a estrés biótico y abiótico, a desastres naturales y al vandalismo.

Otra desventaja es que se requieren áreas extensas especialmente cuando se conservan especies arbóreas, por lo que el número de muestras que se conservan por accesión es limitado (Van den Hurk, 2000).

Las plantas que se reproducen mediante tubérculos y raíces son multiplicadas de forma asexual, a través de tallos y raíces modificados que son usados como semilla.

Estos no pueden ser conservados a largo plazo como es el caso de las semillas, sino que todos los años se siembran en campo durante el verano y son almacenados durante el invierno. Por lo tanto se utiliza una metodología que complementa la conservación en almacén con la conservación en campo.

La Fundación Proinpa utiliza esta metodología para la conservación de raíces y tubérculos andinos, los cuales son sembrados todos los años.



CIFE

Conservación en jardines de pasifloras de altura



PROINPA

Conservación en campo de tubérculos andinos

En algunos casos también se puede conservar recursos genéticos en invernadero, como es el caso de las raíces andinas (arracacha, achira, yacón, etc).

CONSERVACIÓN IN VITRO

Las dificultades derivadas de las colecciones de campo y la necesidad de conservar a las especies con semilla recalcitrante, intermedias y de reproducción vegetativa, han llevado al desarrollo de metodologías de conservación *in vitro* mediante las cuales un explante, es decir, una parte de la planta (órgano, tejido e incluso células), se cultiva asépticamente en un medio nutritivo y bajo condiciones controladas de luz y temperatura.

Con la finalidad de retardar el crecimiento en condiciones *in vitro* para fines de conservación se utilizan: inhibidores del crecimiento, incremento del potencial osmótico del medio de cultivo o la reducción de los niveles de nutrientes.

La metodología más utilizada es el uso de manitol y/o sorbitol en altas concentraciones, los cuales incrementan la presión osmótica del medio y reducen la disponibilidad de nutrientes y por lo tanto el crecimiento de las plantas.

El uso del medio de cultivo puede complementarse con bajas temperaturas (4-6°C) para mejorar la conservación, de esta manera las plantas se subcultivan con mejor frecuencia y pueden permanecer almacenadas por periodos superiores a un año.



PROINPA

Conservación en invernadero de raíces andinas

La conservación *in vitro* se la puede utilizar como sustituto, o por razones de seguridad, como complemento de la conservación en campo.

Entre las ventajas que presenta el mantenimiento *in vitro* destacan la conservación de un gran número de plantas en espacios reducidos, un mayor control sobre el estado fitosanitario de las colecciones, la reducción de los tiempos de multiplicación, la facilidad de intercambio de material genético y el incremento de la tasa de multiplicación de germoplasma valioso.

La desventaja de esta técnica es el costo y el hecho que se requiere mano de obra calificada, además que requiere

el desarrollo de protocolos particulares para cada especie, e incluso para variedades dentro de una misma especie. De igual manera se requiere de subcultivos periódicos, actividad que dificulta en muchos casos su aplicación (Roca y colaboradores, 1992; Withers, L.A. 1993).

Otro aspecto importante de considerar con respecto al uso del cultivo *in vitro* como técnica de conservación, es la posibilidad de que se genere variación somaclonal, es decir, alteraciones genéticas de los materiales conservados *in vitro* respecto a la planta madre, situación no deseada desde el punto de vista de la conservación de germoplasma. Algunas de estas variaciones son heredables mientras que otras son epigenéticas, es decir del tipo reversible y no hereditario.

La variación somaclonal puede ser atribuida a diversos factores como los medios de cultivo, los reguladores de crecimiento, el tipo de explante y el número de subcultivos requeridos.

Por lo tanto, es importante manejar los factores que inducen variación somaclonal y evaluar posibles alteraciones, utilizando análisis citológicos y/o moleculares en los materiales conservados *in vitro*

En el país existen experiencias para la conservación *in vitro* de germoplasma mediante el uso de inhibidores de crecimiento y bajas temperaturas. El banco de Pairumani con pasifloras andinas, BASFOR con especies forestales y la Fundación PROINPA con raíces y tubérculos andinos. De igual manera, varios laboratorios de biotecnología de universidades públicas y privadas del país, han realizado ajuste de metodologías para la conservación *in vitro* de plantas ornamentales y aromáticas principalmente.



Conservación *in vitro* de pasifloras andinas en Pairumani

CRIOCONSERVACIÓN

La criopreservación consiste en colocar los explantes a muy bajas temperaturas, por ejemplo en nitrógeno líquido (-196°C), para detener su crecimiento pero conservando la viabilidad y la estabilidad genética y fisiológica. La criopreservación detiene toda actividad metabólica, razón por la cual, en teoría, se la puede utilizar por periodos indefinidos (Van den Hurk 2000; Engels y Visser 2007).

Las semillas o segmentos de planta (explantes) criopreservados son protegidos del congelamiento que podría dañar los tejidos, mediante sustancias crioprotectoras.

Es una técnica reciente con buenas perspectivas, pues permite almacenar por períodos indefinidos cualquier especie que tolere y sobreviva al congelamiento. Resulta particularmente útil para conservar especies de semilla recalcitrante o de reproducción vegetativa (asexual), difíciles de conservar en cámaras frías o en campo.

CONSERVACIÓN DE ADN

Actualmente no es una metodología de uso común, sin embargo, en el futuro podría desempeñar un papel importante en la conservación de los recursos fitogenéticos.

El ADN se puede conservar de dos maneras:

- **Conservación del ADN total de una planta**, la cual se realiza a bajas temperaturas de entre 20°C y -80°C o también se puede utilizar nitrógeno líquido.



Criopreservación de pasifloras andinas



Yemas de pasifloras encapsuladas germinando luego de la criopreservación en nitrógeno líquido

- **Conservación del ADN en genotecas**, donde el ADN se encuentra inserto en vectores (plasmidos, fagos) en microorganismos. En este caso se conservan especialmente genes de interés.

Aunque es una metodología prometedora, requiere de investigación y desarrollo tecnológico, además del alto costo, para que pueda ser efectiva y segura.

La desventaja de este tipo de conservación es el hecho de que la tecnología disponible no permite regenerar plantas completas a partir de ADN, lo cual hace que esta técnica no cumpla el requisito del germoplasma sobre capacidad de generar un individuo completo a partir de la muestra conservada (Van den Hurk, 2000; Engels y Visser, 2007).

ACTIVIDADES DE UN BANCO DE GERMOPLASMA

Recolección (colecta)

El germoplasma puede obtenerse mediante colecta, intercambio o donación de muestras, lo más corriente es que se realicen colectas en los sitios donde existen poblaciones de las especies de interés.

Estas colectas deben procurar muestras sanas, representativas de la diversidad existente en la especie y estar bien documentadas para que ingresen sin problemas al sistema de conservación y se puedan utilizar posteriormente.

La recolección debe ser planificada cuidadosamente ya que pone en juego muchos recursos, particularmente económicos y tiempo.

Antes de la colecta se deben definir las especies objetivo y sitios de recolección, recopilar información sobre las especies y sitios, determinar estrategias de muestreo, cumplir los requisitos legales, además de preparar toda la logística que involucra la colecta de material y buscar la época más favorable, por ejemplo el período de cosecha (Jaramillo y Baena, 2000).

En la recolección se toman datos geográficos, características de las poblaciones de las plantas colectadas y se complementan con datos de uso por parte de los agricultores.

Estos datos se denominan “datos pasaporte” y se guardan en una ficha de recolección.



Recolección de frijol silvestre

Conservación

Se realiza bajo condiciones controladas y según las necesidades y características de cada especie.

Puede ser *ex situ* o *in situ*. Si es *ex situ* se puede realizar como conservación de semillas, en campo, en jardines, *in vitro* o crioconservación.

Regeneración y multiplicación

Debido a que las semillas conservadas van perdiendo su capacidad de germinar con el tiempo y cuando las pruebas de germinabilidad muestren porcentajes bajos que pongan en riesgo la viabilidad de la muestra, la semilla debe ser refrescada o regenerada a fin de asegurar que se mantenga la viabilidad y longevidad de las semillas.

La regeneración y multiplicación consisten en sembrar en campo una cantidad adecuada de semillas, que permita asegurar la variabilidad existente en cada muestra incluyendo los alelos que están presentes en baja frecuencia en la muestra conservada.

Para el cálculo del tamaño de la muestra a regenerarse existen fórmulas de probabilidades en función de la frecuencia de los alelos o tablas ya elaboradas.

Para regenerar las especies de fecundación cruzada o que se reproducen por cruzamientos, denominadas especies



Conservación de maíces bolivianos en una cámara a 0°C.

alogamas, se debe sembrar un mayor número de plantas para conservar las frecuencias alélicas originales, presentes en la población que fue colectada.

En plantas que normalmente se autofecundan (autogamas), se debe controlar su polinización mediante el uso de jaulas entomológicas que no permitan el ingreso de insectos polinizadores o de bolsas usadas para la polinización manual.



Regeneración de la colección de frijol en Pairumani

CIFP

Caracterización y evaluación

Estas actividades tienen el objetivo de conocer las potencialidades del material conservado.

- La caracterización se realiza con el objetivo de conocer las características del material conservado mediante la descripción morfológica.
- La evaluación se la realiza para conocer el potencial agronómico, industrial, etc. La evaluación estudia el rendimiento, la resistencia y/o tolerancia a plagas y enfermedades, características industriales de las plantas, entre otras.



Laboratorio donde se realiza la caracterización molecular del germoplasma

CIFP

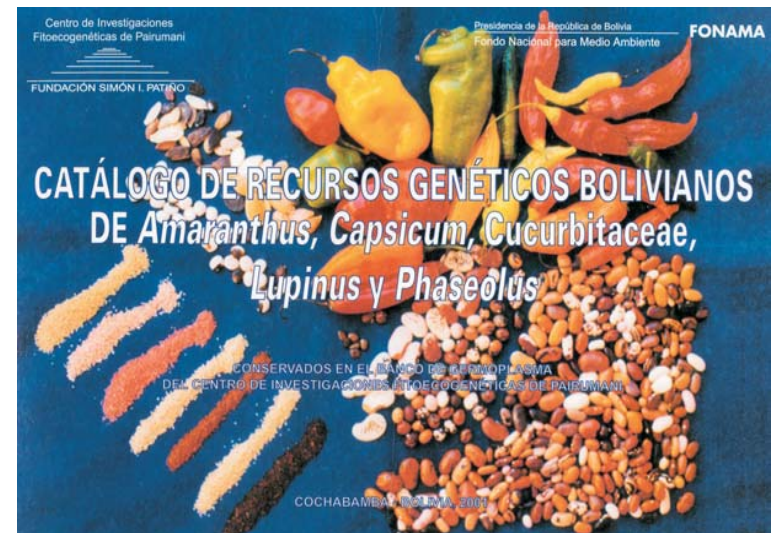
Las técnicas de biología molecular, permiten apoyar la caracterización y evaluación de los recursos genéticos mediante estudios a nivel del ADN, utilizando protocolos de laboratorio para la extracción, amplificación y visualización del ADN (Spooner y colaboradores, 2005).



Caracterización en campo de la colección de maní

Documentación

Es una etapa muy importante, ya que es la elaboración de bases de datos y catálogos con los datos de pasaporte, de caracterización y de evaluación.



Tapa de Catalogo de Recursos Genéticos Bolivianos de *Amaranthus*, *Capsicum*, *Cucurbitaceae*, *Lupinus* y *Phaseolus*

Difusión

Estas actividades son para dar a conocer las características del germoplasma conservado, su importancia y usos potenciales, a los usuarios del banco, como fitomejoradores y agricultores.

Otra finalidad es la de transmitir a la población en general conocimientos sobre la importancia de los recursos genéticos y su conservación, además de dar a conocer el trabajo de los científicos involucrados en la conservación del germoplasma y finalmente, concienciar a todos como consumidores.

La difusión se realiza a través de la publicación de folletos informativos, materiales educativos sobre el tema, realización de cursos y talleres de capacitación y ferias donde se dan a conocer los recursos fitogenéticos conservados y su importancia.



CIFP

Feria para mostrar la importancia de los recursos genéticos



CIFP

Enseñando mediante juegos

Utilización

Como uso directo, el germoplasma puede ser devuelto a las comunidades de origen en caso de que los agricultores hubieran perdido la variedad por efectos climáticos adversos o por enfermedades.

El germoplasma puede ser también utilizado como fuente de genes para programas de mejoramiento genético o formación de nuevas variedades con características superiores como mayor productividad, resistencia a factores adversos, mejor equilibrio nutricional o con aspectos más atractivos para el mercado.

Estos genes pueden ser traspasados mediante mejoramiento genético tradicional, es decir mediante cruzamientos y selecciones de las plantas con características nuevas.

Por ejemplo el Centro de Investigaciones Fitoecogenéticas de Pairumani produce continuamente nuevas variedades con características superiores cuya semilla usan miles de agricultores.

Como uso directo, el germoplasma puede ser devuelto a las comunidades de origen en caso de que los agricultores hubieran perdido la variedad por efectos climáticos adversos o por enfermedades.

De igual manera se han realizado en el país experiencias de revalorizar recursos genéticos que eran utilizados antiguamente y que en la actualidad estaban en vías de desaparición, debido a los cambios de hábitos alimenticios.

Un ejemplo de esto son las papas nativas que actualmente ya se venden en el mercado en forma de papas fritas y como papa gourmet.

MARCO REGULATORIO DE LOS RECURSOS GENÉTICOS

El país es signatario de la Decisión 391 de la Comunidad Andina de Naciones, promulgada el 2 de julio de 1996, decisión que en su Art. 6 establece que los recursos genéticos de los cuales los países miembros son países de origen, se constituyen en patrimonio del Estado, derecho propietario ratificado por la Nueva Constitución Política del Estado, que en su Art. 349 otorga la propiedad al pueblo boliviano y su administración al Estado.

La Decisión 391 ha sido reglamentada en el país mediante Decreto Supremo 24676, estableciendo la obligatoriedad de suscribir un Contrato de Acceso entre el solicitante y el Estado Boliviano, para acceder a los recursos genéticos de los cuales Bolivia es país de origen, sus derivados, sus componentes intangibles asociados y los recursos genéticos de las especies migratorias que por causas naturales se encuentren en el territorio nacional.

Los componentes intangibles son los conocimientos asociados a dichos recursos genéticos, por parte de los pueblos originarios.

Mediante D.S. 29611 del 25 de junio de 2008, el Estado confirió al Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas y Forestales (INIAF) la administración nacional de los

recursos genéticos agrícolas, pecuarios, acuícolas y forestales.

CONCLUSIONES

Dada la importancia de los recursos genéticos en la seguridad alimentaria y el bienestar del hombre y que tanto el uso como la erosión dependen de él, se debe realizar los máximos esfuerzos para su conservación, conocimiento y la promoción de su utilización sostenible.

Es importante fortalecer todo el proceso que involucra a diferentes actores, desde las personas que regulan el acceso, los investigadores que conservan y manejan el germoplasma, hasta los consumidores.

Cada actor del proceso tiene una responsabilidad en la conservación de los recursos genéticos y puede realizar acciones que contribuyan a este fin.

GLOSARIO

Accesión: Nombre que los bancos de germoplasma dan a una muestra recolectada

Agrobiodiversidad: Diversidad genética existente en especies cultivadas y sus parientes silvestres

Alelo: Es cada una de las formas alternativas que puede tener un gen y que se pueden manifestar en modificaciones concretas de la función de ese gen.

Reproduccion clonal: Tipo de reproducción asexual que da origen a un organismos idéntico genéticamente

Crioconservación: Conservación de semillas, órganos y tejidos a muy bajas temperatura como por ejemplo en nitrógeno líquido (-196°C)

Crioprotectoras: Sustancias que evitan la formación de cristales que dañen los tejidos durante la crioconservación

Ecotipo: Variaciones de una especie como producto de la adaptación a un determinado ambiente

Epigenéticas: Es el estudio de modificaciones en la expresión de genes que no se encuentra en la secuencia del ADN y estas modificaciones son heredables. Una de las fuentes de mayores modificaciones de los genes es por el factor ambiental y puede afectar a uno o varios genes con múltiples funciones

Especies migratorias: Son especies que cruzan fronteras nacionales en ciclos regulares. Las especies migratorias incluyen diversas aves, peces, mamíferos, reptiles, y cetáceos

Especies silvestres: Especie que se encuentra en la naturaleza y vive sin intervención del hombre para su desarrollo o alimentación

Estrés biótico: Tipo de estrés causado por factores bióticos como plagas y enfermedades

Estrés abiótico: Tipo de estrés causado por factores abióticos como frío, calor, sequía, granizo, inundaciones, etc.

Explante: Segmento de tejido u órgano vegetal utilizado para iniciar un cultivo de tejidos *in vitro*

Fagos: Bacteriófagos, virus que parasitan a bacterias

Fecundación cruzada: Fecundación en la que cada o célula reproductiva procede de un individuo distinto, por ejemplo en los animales

Fitomejoradores: Personas que realizan mejoramiento genético en plantas

Gen: Unidad de almacenamiento de información genética y unidad de al transmitir esa información a la descendencia

Genotecas: Colección de fragmentos de ADN insertos en vectores de clonación. Los fragmentos clonados pueden provenir de ADN genómico o de ADN complementario

Germinabilidad: Capacidad de germinar

Híbridos: Heterocigote resultante de la cruce de dos progenitores que se diferencian en una o más características

Manitol: Es un edulcorante obtenido de la hidrogenación del azúcar manosa. Pertenece al grupo de polialcoholes. Se utiliza en cultivo de tejidos para aumentar la presión osmótica del medio de cultivo

Microbiano: Se refiere a microorganismo

Parientes silvestres: Plantas que viven sin la intervención del hombre, algunas especies silvestres pueden estar emparentadas con las cultivadas

Plásmidos: Material genético (ADN) extracromosómico de las bacterias

Razas silvestres: Razas de plantas silvestres

Recursos fitogenéticos: Son la suma de todas las combinaciones de genes resultantes de la evolución de una especie vegetal

Variación somaclonal: Es el término utilizado para describir la variación genética observada en plantas que han sido producida por cultivo de tejidos *in vitro*

Sorbitol: Es un polialcohol o alcohol polihídrico de azúcar. Se utiliza en cultivo de tejidos para aumentar la presión osmótica del medio de cultivo

Unidades funcionales de herencia: Se refiere a los genes

Variabilidad genética: Variación genética existente en una población o especie

BIBLIOGRAFÍA

Convenio de diversidad biológica. 1992. www.biodiv.org

FAO, IPGRI. 1994. Normas para bancos de genes. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación -Instituto Internacional para los Recursos Fitogenéticos, Roma, Italia.

Engels, J. y Visser, L. (eds) 2007. Guía para el manejo eficaz de un banco de germoplasma. Manuales para Bancos de Germoplasma No. 6. Bioversity International, Roma, Italia.

FAO. 1996. Plan de Acción Mundial para la Conservación y Utilización Sostenible de Recursos Filogenéticos para la Alimentación y la Agricultura. www.fao.org/ag/AGP/agps/GpaSP/Gpatocsp.htm

García, W., Cadima, X., Terrazas, F. y Gandarillas A. 2003. La agrobiodiversidad sostenible: Conservación *in situ* y *ex situ*. – Manejo sostenible de la agrobiodiversidad de tubérculos andinos: síntesis de investigaciones y experiencias en Bolivia. PROINPA, Cochabamba.

Jaramillo, S. y Baena, M. 2000. Material de apoyo a la capacitación en conservación *ex situ* de recursos fitogenéticos. Instituto Internacional de Recursos Fitoegenéticos, Cali, Colombia.

Rao, N.K., Hanson, J., Dullo, K., Ghosh, K., Novell, D. y Larinde, M. 2007. Manual para el manejo de semillas en bancos de germoplasma. Manuales para Bancos de Germoplasma No. 8. Bioversity Internacional, Roma Italia.

Roca, W., Arias, D. y Chavez, R. 1992. Métodos de conservación *in vitro* del germoplama. Cultivo de Tejidos en la Agricultura. Centro Internacional de Agricultura Tropical, Cali, Colombia.

Spooner, D., van Treuren, R. y de Vicente, C. 2005. Molecular markers for genebank management. IPGR Technical Bulletin No. 10. Instituto Internacional para los Recursos Fitogenéticos, Roma, Italia.

Van den Hurk. 2000. Complementariedad entre la conservación *ex situ* y la *in situ*. Memorias Segunda Reunión Boliviana sobre Recursos Fitogenéticos de Cultivos Nativos. Cochabamba.

Withers, L.A. 1993. New technologies for the conservation of plant genetic resources. International Crop Science. Crop Science Society of America. Madison, USA.



CIFP

Colección de Amaranto