

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES
ESCUELA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS**

**Importancia de la Biodiversidad en Plantas de Cultivo, con Especial Interés
en los Cultivos de Achira y Yacón**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del grado de Magíster
en Biología de la Conservación**

Iván Mauricio Freire Cuesta

Quito, 2015

II. CERTIFICACIÓN

Certifico que la Monografía de Maestría en Biología de la Conservación, del Sr. Iván Mauricio Freire Cuesta ha sido concluida de conformidad con las normas establecidas; por lo tanto, puede ser presentada para la calificación correspondiente.

Dr. Santiago Espinosa

Director de la monografía

Quito, 15 de octubre del 2015

III. DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, Iván Mauricio Freire Cuesta, C.C. 0908638406, autor del trabajo de titulación: “Importancia de la Biodiversidad en Plantas de Cultivo, con Especial Interés en los Cultivos de Achira y Yacón”, previa a la obtención del grado académico de MAGÍSTER DE BIOLOGÍA DE LA CONSERVACIÓN en la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales:

1. Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tiene la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, de conformidad con el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de graduación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos del autor.
2. Autorizo a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador a difundir a través del sitio web de la Biblioteca de la PUCE el referido trabajo de graduación, respetando las políticas de propiedad intelectual de la Universidad.

Quito, 15 de octubre de 2015

Iván M. Freire C.
c.c. 0908638406

TABLA DE CONTENIDO

I.	CARÁTULA.....	i
II.	CERTIFICACIÓN	i
III.	DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN.....	ii
1.	RESUMEN	1
2.	ABSTRACT.....	3
3.	INTRODUCCIÓN	5
4.	DESARROLLO TEÓRICO	7
4.1.	IMPORTANCIA DE LA VARIABILIDAD GENÉTICA VEGETAL	7
4.2.	EVOLUCIÓN, VARIABILIDAD Y DOMESTICACIÓN DE PLANTAS	8
4.3.	CENTROS DE ORIGEN Y DE VARIABILIDAD	12
1.	Clasificación taxonómica de las colectas, usando métodos de la Botánica Sistemática, Morfología, Genética, Citología y la resistencia a plagas y enfermedades.	13
2.	Ubicación geográfica de las especies en el pasado, conociendo que los medios de comunicación fueron incipientes.	13
3.	Determinación de razas y variedades dentro de una especie y las áreas donde se concentran estas especies (cultivadas y silvestres).....	13
4.	Confirmación de los resultados con referencias históricas, arqueológicas y lingüísticas.	13
4.4.	INTERACCIÓN DE LA DIVERSIDAD BIOLÓGICA, ECOLÓGICA Y CULTURAL EN LOS CULTIVOS	15
4.5.	RECURSOS GENÉTICOS DE PLANTAS CULTIVADAS EN EL ECUADOR	17
4.6.	ESTRUCTURA DE UN SISTEMA DE CONSERVACIÓN DE RECURSOS	

VEGETALES.....	20
5. ACHIRA COMESTIBLE <i>Canna edulis</i> VARIABILIDAD E IMPORTANCIA AGRÍCOLA.....	29
5.1. NÚMERO DE ESPECIES, DISTRIBUCIÓN Y MORFOLOGÍA DE <i>Canna</i> ...	30
5.2. BIOLOGÍA FLORAL, POLINIZACIÓN Y CITOLOGÍA.....	31
5.3. REVALORIZACIÓN DE ACHIRA COMESTIBLE, <i>Canna edulis</i> , COMO UN CULTIVO ALTERNATIVO Y DE ALTO CONTENIDO DE ALMIDÓN.....	33
5.4. ESTUDIOS SOBRE EL GERMOPLASMA DE <i>Canna</i> spp. EN ECUADOR .	36
6. EL CULTIVO DE YACÓN <i>Smallanthus sonchifolius</i> VARIABILIDAD Y SUS PRINCIPALES CARBOHIDRATOS	38
6.1. VARIACIÓN GENÉTICA E INSTITUTOS DE MANTENIMIENTO DE SU GERMOPLASMA.....	39
6.2. ASPECTOS AGRÍCOLAS Y COMPOSICIÓN DE CARBOHIDRATOS.....	40
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	43
8. REFERENCIAS.....	49
9. TABLAS	51

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Principales cultivos en el mundo y sus centros de dispersión (Castillo <i>et. al.</i> 1991)	51
Tabla 2.	Centros núcleos y regiones de diversidad de las plantas domesticadas (Hawkes, 1983) citado por Castillo <i>et. al.</i> (1991)	52
Tabla 3.	Centros Internacionales y sus Colecciones de Germoplasma FAO (2015)	53
Tabla 4.	Algunas especies frutales silvestres en Ecuador (Castillo <i>et. al.</i> 1991)	54
Tabla 5.	Principales colecciones del NPGS	55
Tabla 6.	Características geográficas, materia seca y número cromosómico de 10 accesiones	56
Tabla 7.	Composición de carbohidratos de 10 accesiones de yacón en base seca en porcentajes (%)	57

1. RESUMEN

La variabilidad genética de los diferentes cultivos se desarrolló a lo largo del tiempo en condiciones sociales, de alimentación y dentro de un equilibrio ecológico muy diferente a las actuales. La variabilidad genética no se incrementa y se reduce a un ritmo cada vez mayor, como resultado del incremento demográfico del ser humano.

Los países en vías de desarrollo tienen su mayor riqueza en sus recursos naturales, en particular en la biodiversidad de importantes cultivos con plantas cultivadas y silvestres. Esa riqueza para ser aprovechada, racionalmente, debe ser: conservada, caracterizada, evaluada y mejorada; como un inicio para el desarrollo sostenible de esos países. A nivel nacional el Departamento Nacional de Recursos Fitogenéticos y Biotecnología (DENAREF), el Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) del Ministerio de Agricultura y el Instituto Nacional de Biodiversidad, adscrita al Ministerio del Ambiente son los principales custodios de los recursos vegetales y su biodiversidad.

La presente generación, tiene la responsabilidad de continuar con el desarrollo y la protección del recurso genético sobre el cual dependerá la producción agrícola del futuro. Es importante y de suma urgencia el fortalecer las acciones de conservación y mantenimiento de los recursos genéticos de plantas cultivadas.

Se analiza el caso del cultivo de la achira, que tiene características peculiares y favorables para ser aprovechado. Achira tiene una flexibilidad en la adaptación a ambientes no aptos para otros cultivos y una gran capacidad para la captación de nitrógeno del suelo. Los altos rendimientos de rizomas y su potencial para aumentar el contenido de almidón en sus rizomas, así como la facilidad de extracción de almidón, lo hacen propicio para tomarlo en cuenta como un cultivo alternativo.

Otro cultivo de interés que es analizado es el cultivo del yacón. En la región andina, éste cultivo está restringido a un uso doméstico, en áreas donde tradicionalmente la población indígena tiene la costumbre de consumir las raíces como un fruto y esporádicamente. El yacón se ha desarrollado fuera de la región andina, principalmente en Brasil y Japón, por el tipo de carbohidrato, que contienen las raíces, que no es digerible y por lo tanto, puede ser utilizado como un compuesto dietético, prebiótico y con algunos beneficios para la salud humana.

Palabras clave: biodiversidad, conservación, cultivos, achira, yacón.

2. ABSTRACT

The genetic variability present in different crops and relatives was developed for long time in different conditions, social, food and without ecological problems. The genetic variability is not increases and it is decreasing in the time for result of increasing of human population.

The in developing countries have their main wealth in their natural resources, particularly, in the biodiversity of main crops and their wild relatives. This wealth to be rationally used should be preserved, characterized, evaluated and improved, as a starting for sustainable developing of these countries. In Ecuador there are organizations as the Departamento Nacional de Recursos Fitogenéticos y Biotecnología (DENAREF), the Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) from Agriculture Secretary, and the Instituto Nacional de Biodiversidad, from the Environmental Secretary, that are the main custodians for plant resources and its biodiversity.

The present people have the responsibility to continue for preserving and protecting the genetic resource; it is important, because the future agriculture depend of the plant genetic resource. It is urgent, to strengthen the activities for preserving and maintenance of the genetic resource of crops.

Achira cultivation has more advantages than limitations to be tapped. It has flexibility in adapting for some environments to unsuitable for other crops and a

great ability to capture nitrogen from the soil. The high yields of rhizomes and its potential to increase the starch content in rhizomes and ease of extracting starch, do conducive to take into account as an alternative crop.

Yacon cultivation in the Andes is restricted to domestic use; in areas where the indigenous population has traditionally accustomed to eating roots as a fruit and as an occasional food. Yacon has been developed outside the Andean region, mainly in Brazil and Japan, on the type of carbohydrate, containing the roots, which is indigestible and therefore can be used as a dietary, prebiotic compound and some benefits to human health.

Keywords: biodiversity, preservation, crops, achira, yacon.

3. INTRODUCCIÓN

Los recursos naturales renovables están siendo degradados a un ritmo preocupante; en especial el recurso vegetal, o reino vegetal, está disminuyendo, y con éste los otros reinos que dependen del vegetal alterando el inicio de la cadena alimenticia de la biosfera. Junto a la degradación de la biomasa se degrada la biodiversidad.

Se estima que la población humana a nivel mundial alcanzará los 9.100 millones para el año 2050 este incremento se dará principalmente en la población rural de los países en vías de desarrollo que dependen grandemente de la agricultura para su alimentación y sustento (FAO, 2009). La presión sobre los recursos naturales, y en particular sobre los recursos vegetales, aumenta con el crecimiento de la población humana.

En las últimas décadas los precios de los alimentos van en aumento, este hecho puede verse como una oportunidad para que los agricultores de los países en desarrollo se beneficien y con visión a mantener, en todo el mundo, el suministro y la diversidad de alimentos a precios razonables (FAO, 2009).

Otro factor que afecta a la agricultura es el cambio climático. La adaptación de la agricultura al cambio climático requiere una especial atención para enfrentar a las repercusiones previstas. A corto plazo, hasta el 2030, se espera que el cambio climático se intensifique, con eventos de inundación y sequía. El cambio

en el manejo del recurso genético de plantas para la alimentación y la agricultura (PGRFA –Plant Genetic Resources for Food and Agriculture-) es clave como respuesta de adaptación a los impactos del cambio climático (Asfaw & Lipper, 2012).

Las preguntas formuladas al inicio del presente trabajo fueron las siguientes: 1.- ¿Cuál es la importancia que se le da a la biodiversidad de plantas de cultivo en el mundo?; 2.- ¿Cuál es la importancia de los cultivos secundarios como el de achira y yacón? y, 3.- ¿Los países en vías de desarrollo tendrán algún futuro promisorio desde la agricultura en las condiciones actuales, con problemas demográficos y cambio climático?

En la presente monografía se expone la importancia de la diversidad genética de los cultivos, su evolución y la intervención del hombre y sus costumbres. La necesidad de proteger esta diversidad con acciones de preservación, manejo, y utilización de este recurso en beneficio de toda la humanidad y en especial, el de los países en vías de desarrollo que tienen su mayor riqueza en la biodiversidad de importantes cultivos, con plantas domesticadas y silvestres. La colaboración mutua entre organismos a nivel mundial que procuran la colección, preservación y utilización de los recursos genéticos para mejorar y estabilizar la productividad agrícola. Finalmente se expone la importancia y revalorización, de cultivos secundarios como son los de achira y yacón, como muestras de los recursos genéticos promisorios pero todavía subutilizados.

4. DESARROLLO TEÓRICO

4.1. IMPORTANCIA DE LA VARIABILIDAD GENÉTICA VEGETAL

Los países en vías de desarrollo tienen su mayor riqueza en sus recursos naturales, en particular en la biodiversidad de importantes cultivos con plantas cultivadas y silvestres. Esa riqueza, bien estudiada y desarrollada, podría ser la base para el desarrollo sostenible de esos países. El desconocimiento, que produce una falta de valorización del recurso vegetal, está llevando a estos países a perder su biodiversidad a un ritmo cada vez mayor, que dentro de pocos años ya no habrá posibilidades de utilizarlo (Sevilla & Hole, 1995). Si la población de los países en vías de desarrollo quiere conservar la diversidad de las plantas, éstas deben ser usadas y cultivadas. Si pierden interés, el recurso genético se perderá irremediablemente.

Por mucho tiempo se consideró al suelo, al agua y al aire como los tres principales recursos naturales esenciales, y desde finales del siglo pasado, el germoplasma (recurso genético) pasó a ser el cuarto recurso natural esencial. El germoplasma le hace único a nuestro planeta, puesto que contiene los genes que dirigen el desarrollo de cada ser viviente (Stalker & Chapman, 1989). Las diferentes combinaciones de genes contribuyen a la diversidad genética, base fundamental para el desarrollo de variedades mejoradas en los diferentes cultivos (Stalker & Chapman, 1989).

Por estos motivos, la conservación de los recursos vegetales debería ser una tarea prioritaria en especial para los países con poco desarrollo pero con mucha riqueza natural. La conservación también debe ser de interés para la población en general y no solo para los especialistas en genética y fitomejoramiento (Sevilla & Hole, 1995). Las instituciones públicas encargadas de la conservación del germoplasma son los protagonistas directos, pero el interés de los consumidores de las ciudades, industriales, agricultores y el de los habitantes de las áreas rurales y silvestres es determinante (Sevilla & Hole, 1995).

4.2. EVOLUCIÓN, VARIABILIDAD Y DOMESTICACIÓN DE PLANTAS

La evolución es el proceso biológico natural que resulta en la modificación de la frecuencia de genes, diversidad genética, en poblaciones naturales de cada especie. El resultado de la diversidad genética de los cultivos es la interacción de cinco factores: mutación, migración, recombinación, selección y deriva genética; los tres primeros aumentan la variación y los dos últimos pueden reducirla (Ford-Lloyd y Jackson, 1986, citado por Castillo, Estrella, & Tapia, 1991).

Las mutaciones son cambios en la composición genética de los seres vivos; la mutación puntual o mutación génica ha pasado a significar el proceso por medio del cual se forman nuevos alelos de un gen. Las mutaciones pueden ser espontáneas o inducidas, de esta forma se producen las nuevas variaciones, es decir aparecen nuevas características (Strickberger, 1982).

La recombinación de genes produce nuevas combinaciones de alelos del gen y es responsable de la variabilidad genética entre descendientes de los mismos padres sexuales. La autofecundación y la auto-polinización restringen la recombinación (heterocigosis) y la migración de genes, reduciendo la variación en la población e incrementando la variación entre poblaciones. Por el contrario, los cruzamientos, promueven el flujo de genes, reducen las semejanzas en la diferenciación micro-geográfica y en la sub-estructuración de poblaciones (Kearns & Inouye, 1993). La autofecundación se ha producido repetidamente en el reino vegetal. Alrededor del 20% de las plantas superiores son predominantemente autógamas –autofecundadas- (homocigocis) y en esas especies los cruzamientos ocasionales tienen consecuencias importantes. El flujo efectivo de genes en especies autógamas es muy pequeño, y niveles bajos de cruzamientos incrementa dramáticamente el flujo de genes (Brown 1990, citado por Kearns & Inouye, 1993). Por otro lado, la autofecundación en especies predominantemente alógamas –fecundación cruzada- podría resultar en una alta infertilidad (Lande y Schemske 1985, citado por Kearns & Inouye, 1993).

El otro factor de incrementa la variación genética en las poblaciones es la migración. Al migrar semillas de un lugar a otro permite que se produzcan cruzamientos con otras especies del mismo género; en estos casos podría darse híbridos poli-ploides y con ello aumenta la variación y consecuentemente la mayor probabilidad de adaptación (Castillo, Estrella, & Tapia, 1991).

La selección es el proceso que elimina genes de la población no aptos o no adaptados a los ambientes en juego. La selección en especies cultivadas y

silvestres es diferente y opuesta; por ejemplo, la pérdida de dispersión de las semillas de las plantas cultivadas y la germinación uniforme, tiene una ventaja competitiva sobre las plantas silvestres, esta característica ha sido seleccionada por pueblos ancestrales, en perjuicio de otras características (Castillo, Estrella, & Tapia, 1991).

En la Deriva genética existen dos aspectos importantes: el primero es el aislamiento de un grupo pequeño de individuos de una población dada, con un pool de genes limitado (conjunto de genes en una población) que cambia el equilibrio genético al azar y el segundo el efecto de eliminación de ciertos alelos de baja frecuencia, cambiando la constitución genotípica de las especies (Castillo, Estrella, & Tapia, 1991).

Sevilla & Hole (1995) distinguen tres tipos de categorías de germoplasma como diferente "Pool genético" o "Acervo genético" para relacionar las diferentes posibilidades de intercambio de genes. El pool de genes primario que son todas las poblaciones de una misma especie: cultivares o variedades nativas, obsoletos, mejorados o en proceso de mejoramiento. Las poblaciones dentro del pool de genes primario se cruzan libremente y pueden intercambiar genes sin limitación, e incluso con especies silvestres relacionadas. El pool de genes secundario son otras poblaciones que pueden intercambiar genes en forma natural con el pool primario, pero con ciertas limitaciones de cruzamiento. Alguna proporción de los genes pueden integrarse a la especie principal del pool primario, en forma natural, en un proceso denominado "introgresión". El pool de genes terciario sólo se puede cruzar con el primario usando métodos artificiales.

El aislamiento de las plantas dentro de la población o en poblaciones de la especie es uno de los procesos que afecta a la diversificación y a su evolución. El conocimiento profundo y detallado de la biología floral permite entender mejor este proceso. Esto incluye la morfología de la flor, la variación genética y los factores ambientales (Sevilla & Hole, 1995).

Los factores que contribuyen al aislamiento reproductivo pueden ser físicos y biológicos. Los factores físicos que aíslan las poblaciones pueden ser barreras físicas como montañas, islas, y otros (p.e. Andes) y/o islas (p.e. Galápagos o Hawaii); diferencias micro-ecológicas (p.e. sistemas de reproducción alógamo y autógeno); polinizadores físicos como el viento o el agua; polinizadores biológicos como aves o insectos y factores biológicos como la esterilidad del polen u ovocélulas (Sevilla & Hole, 1995).

El proceso de evolución es una combinación de estos componentes y su entendimiento en relación a los recursos fito-genéticos está relacionado principalmente con el entendimiento del sistema reproductivo de la especie y con el uso de especies silvestres (Sevilla & Hole, 1995).

4.2.1. DOMESTICACIÓN

La domesticación tiene como principal actor al hombre e integra plantas y medio ambiente. Las especies utilizadas por el hombre han cambiado algunas de sus características comunes. Así por ejemplo, en el fruto de tomate y el tubérculo de la papa, han sido separados y cultivados por su tamaño, procurando obtener

los más grandes. Otra característica relevante es la dehiscencia (la liberación espontánea de la semilla); las formas silvestres son dehiscentes y las cultivadas indehiscentes. En otros casos cambia un carácter específico como la presencia o ausencia de un alcaloide tóxico o amargo, como en el caso de la yuca (Sevilla & Hole, 1995).

Cuando se redescubren las leyes de la genética de Mendel a inicios del siglo XX los procesos de selección artificial se desarrollaron, de tal forma que personas particulares y equipos de investigadores incrementaron, desde entonces, los trabajos de mejoramiento genético y consecuentemente producen continuamente nuevas variantes de todos los cultivos de interés para el hombre. La domesticación integra la evolución, y la participación del hombre. Según Sevilla & Hole (1995) existen cuatro estados principales para el proceso de domesticación: el estado silvestre; el domesticado inicial; la variedad primitiva o selección local; y la variedad mejorada avanzada.

4.3. CENTROS DE ORIGEN Y DE VARIABILIDAD

En 1882, Alphonse de Candolle en su libro "Origen de las Plantas Cultivadas" hace mención sobre el origen de la variabilidad. Luego, en 1951 Nicholai Ivanovich Vavilov hace el mayor aporte al conocimiento con los "Centros de Diversidad" que luego él los denomina el centro de origen de varios cultivos. Según Vavilov la distribución de las especies en el mundo no es uniforme y con grandes diferencias; por ejemplo, en Norte América con excepción de México, no existe tanta diversidad como en países ubicados en el equinoccio como Ecuador,

Costa Rica o Guatemala, en especial en áreas montañosas (Castillo, Estrella, & Tapia, 1991).

Según Castillo y colaboradores (1991) para definir los centros de origen se utilizó el método fito-geográfico diferencial, de esta forma:

1. Clasificación taxonómica de las colectas, usando métodos de la Botánica Sistemática, Morfología, Genética, Citología y la resistencia a plagas y enfermedades.
2. Ubicación geográfica de las especies en el pasado, conociendo que los medios de comunicación fueron incipientes.
3. Determinación de razas y variedades dentro de una especie y las áreas donde se concentran estas especies (cultivadas y silvestres).
4. Confirmación de los resultados con referencias históricas, arqueológicas y lingüísticas.

Vavilov reconoció que su trabajo debía ser comprobado con otros estudios más profundos con métodos de otras ciencias como la Bioquímica, Fisiología, Genética y últimamente con la Biología Molecular. En la tabla 1 se presentan los Centros de Dispersión y los principales cultivos (Castillo, Estrella, & Tapia, 1991). Un nuevo tipo de distribución y diferencia de especies lo propone Jack Harlan (1971) citado por Castillo, Estrella, & Tapia (1991) donde diferencia el tipo de distribución de ciertas especies denominándoles como "no centros" sufrirían lo que el cultivo de las especies comenzó independientemente en tres áreas, cada

una de ellas asociada con un difuso "no centro"; de esta forma establece al Cercano Oriente como centro y a África como "no centro"; A China como centro y al Asia Central y el Pacífico como "no centro" y a Meso América como centro y América del Sur como "no centro".

Harlan (1971) citado por Castillo, Estrella, & Tapia (1991) basado en estudios de Vavilov, amplía las definiciones y propone los siguientes grupos:

Endémicos. Con su centro de origen claramente definible y ausencia total de plantas de la especie en otras áreas.

Semi-endémicos. Distribución muy limitada de la especie en otras áreas, con centro de origen muy bien definido.

Mono-céntricos. Centro de origen definible y único, ausencia de centros secundarios.

Obligó-céntricos. El centro de origen es claramente definible, pero con amplia distribución y/o varios centros secundarios de diversificación.

No-céntricos. Posiblemente ocurrió una domesticación simultánea de la especie en diferentes centros, es decir, tiene un centro de diversificación múltiple.

Hawkes (1983) citado por Castillo, Estrella, & Tapia (1991) propone un nuevo esquema, distinguiendo centros núcleos de origen de los cultivos, con regiones de diversidad de las cuales se extendieron hacia otros centros menores, como se aprecia en la tabla 2.

La variabilidad genética de los diferentes cultivos se desarrolló a lo largo del tiempo en condiciones sociales, de alimentación y dentro de un equilibrio ecológico muy diferentes a las actuales. Es por esto que, la variabilidad genética no se incrementa, y por el contrario, se reduce a un ritmo cada vez mayor. Es necesario proteger esta diversidad con acciones de preservación, manejo, y utilización de este recurso en beneficio de toda la humanidad (Castillo, Estrella, & Tapia, 1991). En el mundo existen centros internacionales de conservación de germoplasma vegetal para el desarrollo de cultivos propios de cada región. Ver tabla 3.

4.4. INTERACCIÓN DE LA DIVERSIDAD BIOLÓGICA, ECOLÓGICA Y CULTURAL EN LOS CULTIVOS

En la naturaleza se ve constantemente que en ambientes homogéneos predominan grandes poblaciones de pocas especies, y en ambientes heterogéneos coexisten muchas especies. Las poblaciones de una misma especie se adaptan fenotípicamente a los medios que colonizan. Para que la adaptación sea heredada la población debe ser genéticamente variable. Como ya se mencionó en líneas anteriores, la fuente de variabilidad son las mutaciones y recombinaciones y la selección de los genotipos más aptos y que producen más y mejor descendencia termina con la adaptación de los organismos vivientes al medio ambiente (Sevilla & Hole, 1995).

Los grandes centros de biodiversidad coinciden con centros geográficos diversas. La diversidad a nivel de ecosistemas, dentro de una región, está

relacionada con diversidad de especies. La región andina, por ejemplo, es muy heterogénea en ecosistemas. El concepto de ecosistema en el campo agrícola, no es muy preciso de manera que sus fronteras no están bien definidas (Sevilla & Hole, 1995).

La intervención del hombre sobre la naturaleza tiene su impacto y en la medida que se ha desarrollado éste ha sido mayor. Sevilla & Hole (1995) lo resume en el siguiente párrafo así:

La diversidad biológica produce variaciones culturales, las que a su vez generan más diversidad en un proceso cerrado donde es imposible definir la causa y el efecto. El desarrollo, en general, produce sistemas productivos homogéneos a partir de ecosistemas variables. La consecuencia es la reducción de la biodiversidad. La tecnología juega un factor muy importante en este proceso. El hombre utiliza los recursos naturales que encuentra en su medio ambiente, y los transforma para desarrollar. Si las tecnologías son eficientes, el desarrollo se produce sin reducir la disponibilidad de los recursos naturales, y sin deteriorar el medio ambiente. Cuando crece la población, la presión por los recursos naturales se hace mayor, hasta que se rompe el equilibrio. Tecnologías eficientes para un nivel poblacional, podrán no ser suficientes cuando crece la población, poniendo en peligro la diversidad biológica y ecológica, y hasta la misma cultura.

La generación de tecnologías eficientes que impulsen el desarrollo de países diversos debe considerar esas tres formas de diversidad: biológica, ecológica y cultural. Casi todos los fracasos de la generación y transferencia de tecnologías agrícolas en áreas de agricultura tradicional se pueden explicar por no considerar esas tres formas de diversidad. Las investigaciones deberán orientarse a la definición de agro-ecosistemas, que es un concepto más completo porque considera las tres formas de variación: biológica, ecológica y cultural (Sevilla & Hole, 1995).

4.5. RECURSOS GENÉTICOS DE PLANTAS CULTIVADAS EN EL ECUADOR

El Ecuador por su singular geografía y biodiversidad ha sido visitado por varios ilustres científicos y exploradores desde sus inicios como república. El conocimiento obtenido y registrado, también estuvo acompañado por colectas de germoplasma. El cultivo que ha sido estudiado y mantenido con mayor cuidado ha sido el de la papa. Los exploradores botánicos Alexander Von Humboldt (1769-1859) y Richard Spruce (1817-1893) hacen referencia a la importancia que tiene la papa en la alimentación de la población ecuatoriana (Citado por Monteros, Yumisaca, Andrade-Piedra, & Reinoso, 2011). En 1933, un equipo de científicos rusos liderados por Sergei M. Bukasov, y enviados por el Dr. Nickolay Ivanovich Vavilov, visitaron el Ecuador con el propósito de coleccionar papas cultivadas nativas. Sobre este viaje Hawkes (2003) escribe: “siendo un país pequeño nos ha proveído con una cantidad significativa de germoplasma de papa cultivada” (Citado por Monteros, *et. al.* 2011).

La diversidad de especies de plantas cultivadas en el Ecuador es amplia, pero no ha sido aprovechada. Dentro de los cultivos convencionales –importantes por su producción y mejoramiento continuo- están 11 y son: papa, maíz, fréjol, trigo, cebada, avena, arroz, quinua, haba, arveja, lenteja. Como no convencionales se cuenta hasta 18 y son: chocho, amaranto, melloco, oca, zanahoria blanca, yacón (jícama), pallar, achira, papa china, camote, mashua, zapallo, tomate de árbol, taxo, capulí, naranjilla, achiote, ají. (Castillo *et. al.* 1991). La diversidad de especies que contribuyen a la alimentación de la población ecuatoriana es mayor si contamos con especies frutales silvestres, hasta 49 especies, como se puede ver en la tabla 4. En contraste, con estos números, la producción agrícola se concentra principalmente en 11 cultivos como se observa en el Sistema de Información Nacional de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca, en su boletín del 2015 describe a los principales cultivos -por cantidad de producción- a los siguientes: arroz, banano, brócoli, cacao, café, caña de azúcar, cebolla, fréjol, maíz, papa, piña y plátano.

En lo referente al número de variantes o cultivares por especie podemos ver a tres casos. El primero y mejor referente es el cultivo de la papa de la sierra centro y norte del Ecuador con una colección de 120 cultivares de papas nativas de los cuales 80 están catalogados con información morfológica, agronómica, nutricional, etnobotánica, consumo y conservación (Monteros, *et. al.* 2011). El segundo cultivo mejor mantenido en este país es el maíz, con 31 cultivares, conocidos con los nombres: Canguil, Sabanero ecuatoriano, Cuzco ecuatoriano, Mishca, Patillo ecuatoriano, Racimo de uva, Kcello ecuatoriano, Chillo, Chulpi ecuatoriano, Morochón, Huandango, Montaña ecuatoriano, Blanco harinoso

dentado, Cónico dentado, Uchima, Clavito, Pojoso chico ecuatoriano, Tusilla, Gallina, Candela, Maíz cubano, Tuxpeño, Chococeño, Blanco blandito, Cholito ecuatoriano, Yunga, Enano gigante, Yunquillano, Yungueño ecuatoriano (Serratos, 2009). Un tercer cultivo en importancia por su colección es el Chocho - *Lupinus mutabilis*- 257 accesiones –colectas- conforman el primer grupo del banco de germoplasma del INIAP¹²; colección que cuenta con datos pasaporte como es la caracterización morfológica y evaluación agronómica por parte del Departamento Nacional de Recursos Fitogenéticos y Biotecnología (DENAREF) del Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) (Debouck, Ebert, Peralta, Barandiarán, & Ramírez. s/f)

4.5.1. ASPECTOS LEGALES SOBRE BIODIVERSIDAD EN EL ECUADOR

La Constitución de la República del Ecuador del 2008 en su Art. 71 dice: “La naturaleza o Pacha Mama, donde se reproduce y realiza la vida, tiene derecho a que se respete íntegramente su existencia y el mantenimiento y regeneración de sus ciclos vitales, estructura, funciones y procesos evolutivos”. Más adelante en el Art. 73 dice: “El Estado aplicará medidas de precaución y restricción para las actividades que puedan conducir a la extinción de especies, la destrucción de ecosistemas o la alteración permanente de los ciclos naturales”.

En el Título VII del Régimen del Buen Vivir, en el Art. 395 dice “El Estado garantizará un modelo sustentable de desarrollo, ambientalmente equilibrado y respetuoso de la diversidad cultural, que conserve la biodiversidad y la capacidad de regeneración natural de los ecosistemas, y asegure la satisfacción de las

necesidades de las generaciones presentes y futuras”. Sobre Biodiversidad en el Art. 400 se menciona: “El Estado ejercerá la soberanía sobre la biodiversidad, cuya administración y gestión se realizará con responsabilidad intergeneracional. Se declara de interés público la conservación de la biodiversidad y todos sus componentes, en particular la biodiversidad agrícola y silvestre y el patrimonio genético del país”.

Según el portal electrónico del Ministerio del Ambiente, “El Gobierno del Ecuador expidió el Reglamento Nacional al Régimen Común Sobre Acceso a los Recursos Genéticos en Aplicación a la Decisión 391 de la Comunidad Andina”, mediante Decreto Ejecutivo 905, publicado en el Registro Oficial No. 553 del 11 de octubre de 2011. Mediante acuerdo Presidencial N° 245 emitido el 24 de febrero de 2014, de acuerdo al artículo 1, se decretó la creación del Instituto Nacional de Biodiversidad, adscrita al Ministerio del Ambiente, con personalidad jurídica de derecho público, con independencia funcional, administrativa, financiera y presupuestaria, con jurisdicción nacional.

4.6. ESTRUCTURA DE UN SISTEMA DE CONSERVACIÓN DE RECURSOS

VEGETALES

Basado en los capítulos de Paul J. Fitzgerald, H. L. Shands y V. A. Sisson del libro “Scientific Management of Germplas: Characterization, Evaluation and Enhancement” de Stalker & Chapman (1989).

Cada nación está en su derecho para tomar acciones apropiadas para proteger sus recursos genéticos en beneficio propio. No obstante, el compartir con otras naciones los recursos genéticos, de requerirlos, debería ser un compromiso humanitario. Para asegurar la protección de estos recursos, están las organizaciones internacionales como la FAO -Food and Agriculture Organization- el CGIAR -Consultative Group on International Agricultural Research- y el IBPGR -International Board for Plant Genetic Resources-

La accesibilidad y propiedad del recurso vegetal está aún en debate. Esto ha creado división entre países desarrollados y e vías de desarrollo. Muchos de los recursos genéticos de plantas de los países en vías de desarrollo han originado los principales cultivos en el mundo.

Hay una percepción en los países en vías de desarrollo de que han sido explotados por compañías de semillas de los países desarrollados, sin embargo, esta percepción al parecer es exagerada por personas que están más interesadas en controlar y no en conservar el recurso.

Un ejemplo de un buen program de mantenimiento del recurso genético vegetal es el NPGS - National Plant Germplasm System- de los Estados Unidos de Norteamérica, a pesar de que no es el centro de origen de los principales cultivos, en cantidad o volumen, de alimentos o fibras, el 99% de los cultivos no son nativos para los EEUU, el NPGS es el medio por el cual los recursos genéticos vegetales es adquirido, mantenido, evaluado y distribuido a nivel mundial.

Existe un interés común entre el gobierno, empresa privada y centros de investigación agrícola y es el aprovechamiento racional de los recursos naturales y en especial el genético. Los usuarios directos de estos recursos son: genetistas, productores, patólogos, entomólogos, biólogos moleculares, botánicos, taxónomos, fisiólogos entre otros.

Las actividades operacionales del NPGS son: Adquirir, preservar, evaluar y mejorar el germoplasma vegetal. La adquisición puede ser por medio de científicos, gobiernos, bancos de germoplasma o exploración. El NPGS tiene más de 400.000 accesiones (genotipos de varias especies) en los diferentes centros de conservación de los EEUU. Las colecciones de germoplasma base para los cultivos de semillas son mantenidas en el National Seed Storage Laboratory de Fort Collins. La evaluación y el mejoramiento del germoplasma lo realizan la comunidad de usuarios de las principales colecciones del NPGS. Ver tabla 5.

El NPGS es guiado en sus actividades por comités asesores multidisciplinario. El NPGRB -National Plant Genetic Resources Board- esta junta es nombrada por la Secretaría de Agricultura para notificar a este despacho sobre la política relacionada a los recursos genéticos. El NPGRB está compuesto por científicos y administradores, quienes entienden las amplias implicaciones del manejo del germoplasma a nivel nacional e internacional. El NPGC -National Plant Germplasm Committee- asesora a las organizaciones estatales, federales e industria sobre las actividades operacionales de el NPGS. El comité consiste de administradores y científicos quienes conocen el sistema y pueden hacer cambios. El CAC -National Crop Advisory Committees- estos comités están

compuestos de un grupo par interdisciplinario de científicos estatales, federales y de industria quienes asesoran a los estados y al Departamento de Agricultura sobre todos los aspectos relacionados al germoplasma para el producto en particular y priorizar las necesidades del producto en adquisición, mantenimiento, evaluación y mejora.

Los TAC -Comités de Asesoría Técnica- asesoran algunos depositarios clonales. Los RTC -Regional Technical Advisory Committees- están compuestos de representantes de estado quienes, con el asesor administrativo, trabajan y asesoran con el coordinador regional encargado del RPIS -Regional Plant Introduction Station- y recomendar a sus directores de estado. Los TACs y los RTCs están comprendidos de un grupo interdisciplinario de científicos representando a todos los usuarios de germoplasma. Los comités técnicos interregionales coordinan las actividades de las actividades de los proyectos inter-regional como el IR-1, el proyecto de introducción de la papa. El PGOc -Plant Germplasm Operations Committee- está compuesto de los coordinadores regionales, curadores de los depositarios clonales y colecciones principales y otros de actividades y servicios operacionales para coordinar las actividades operacionales. El soporte financiero está provisto por el NPGS de varias agencias con el Departamento de Agricultura, Departamento de Estado, universidades estatales y estaciones experimentales agrícolas, industria y asociaciones de industria, y contratos internacionales.

4.6.1. ADQUISICIÓN

Muchos servicios de germoplasma están centrados en el Laboratorio de Servicios de Germoplasma GSL -Germplasm Services Lab- del PSI -Plant Sciences Institute- en Beltsville, MD. La pérdida de germoplasma a través de la limpieza de las tierras, el desarrollo urbano, sequía y sustento de la población rural por una pronta hambruna todos los científicos de plantas expresan preocupación y esfuerzos para adquirir germoplasma antes de que éste se pierda. CACs y científicos individuales identificaron la necesidad por material vegetal y exploraciones científicas son conducidas de acuerdo con los objetivos nacionales e internacionales. Estas actividades son facilitadas a través de este instituto.

Oficina de Exploración de Plantas, GSL, PSI

La exploración de plantas fundada por la USDA va a través de un proceso y revisado por la CAC, RTC Y PGOc antes de ser recomendada a el National Program Staff for funding. Las actividades son coordinadas si existe interés mutuo. Es común incluir uno o más científicos del país hospedero en las actividades de colección y dejar la mitad del material colectado en el banco de genes del país hospedero.

Oficina de Introducción de Plantas, GSL, PSI

El germoplasma de plantas también es adquirido por intercambio de científicos con científicos de otros países y por el intercambio entre países. El ingreso de plantas a la oficina de introducción de plantas es catalogado y

asignado un número P.I. -Plant Introduction- y/o un número de cuarentena si éste debe pasar a través del centro de cuarentena. La información del recurso denominada datos pasaporte son ingresados a la base de datos GRIN - Germplasm Resources Information Network-

Red de Información de los Recursos Genéticos, GRI, GSL, PSI

El GRIN sirve como un depósito central de información concerniente a aspectos principales del germoplasma de plantas en el NPGS y que provee accesibilidad de esta información a todos los usuarios de este sistema.

Laboratorio Nacional de Cuarentena para Germoplasma de Plantas, PSI

Materiales foráneos prohibidos deben ser confinados a un proceso de cuarentena hasta obtener el certificado del APHIS -Animal and Plant Health Inspection Service- que indique que el material está libre de pestes y sea seguro para ser cultivado en cualquier parte del país. APHIS y ARS -Agriculture Research Service- operan en conjunto en el Centro de Cuarentena. APHIS maneja físicamente las plantas y tiene por ley la potestad regulatoria, mientras que el ARS provee el personal y la indexación de los virus.

4.6.2. MANTENIMIENTO

El germoplasma que ha pasado por la Oficina de Introducción de Plantas es enviado al curador responsable para su mantenimiento. En el sistema de

germoplasma, los curadores tienen la responsabilidad de mantener las accesiones, tomar los datos pasaporte y distribuir tanto las semillas como la información.

La colección de semillas base es secada a 6-8% de humedad relativa y selladas en sobres con barreras contra el vapor y almacenadas a -20 C . Las semillas de algunas especies no pueden ser congeladas, en ese caso son almacenadas a 5 C.

La colección de semillas de trabajo son generalmente almacenadas a 5 C y a una humedad relativa de 40% ; es una combinación sugerida por fisiólogos de plantas para alargar la preservación de la mayoría de tipos de semillas. Las semillas de trabajo son regeneradas cuando la reserva esta baja. Los curadores tienen varios métodos para determinar el volumen, peso o cantidad de semilla. La flexibilidad y el control del inventario en el sistema es esencial para acomodar este en las diferentes estaciones experimentales.

Un cambio en la naturaleza de la muestra como condiciones de crecimiento en favor de ciertos genotipos durante el incremento consecutivo provoca cambios en la regeneración. Las condiciones de almacenamiento pobres perjudica la integridad del material genético o provoca una germinación de la semilla en momentos no deseados.

El curador debe tener amplia experiencia y diligencia para mantener un banco de genes y para todos los aspectos contar con protocolos los mismos que

deberían estar actualizadas periódicamente. Tener cuidado y conocer si las semillas originales fueron de líneas puras, sintéticas, o de poblaciones de polinizaciones abiertas para saber cómo manejar las cosechas. Grandes gastos podrían ser incurridos en la regeneración de especies si éstas requieren de auto-polinización, abejas u otros requerimientos especiales.

Pruebas de viabilidad muy frecuentes no es deseable. Es deseable para establecer un porcentaje de germinación después de que muestra a sido establecida en el almacenamiento. Pruebas de germinación subsecuentes establecerán una curva de germinación la cual puede ser extrapolada para estimar cuando se debe realizar la siguiente prueba de germinación. Cada especie y calidad de cosecha variará moderadamente, las mejores condiciones de almacenaje deben presionar la frecuencia de prueba antes de 10 ó 15 años.

En el Laboratorio Nacional de Almacenaje de Semillas -NSSL- se investiga la preservación de semillas a largo plazo en nitrógeno líquido, y aún la preservación de material de propagación Clonal. El almacenaje en nitrógeno líquido (-196 C) está siendo usado comercialmente para el almacenamiento de material vivo como esperma animal y cigotos, es una forma segura de preservación a largo plazo de muchas muestras de semillas. Las investigaciones también van dirigidas a preservar semillas que no son aptas para congelar, se trabaja con sustancias crío protectoras en esos casos. El NSSL actúa como una colección de respaldo para el caso de colecciones de trabajo para todo el país. El NSSL también sirve como un respaldo de colecciones internacionales y para colecciones genéticas especiales, por medio de acuerdos y planes de

salvaguardia. El NPGS y el NSSL también sirven como depositarios para colecciones de respaldo para muchos cultivos recibidos del IBPGR.

4.6.3. EVALUACIÓN

El germoplasma que no tiene datos pasaporte ni información descriptiva está limitada en su uso por la comunidad de usuarios hasta que esa información sea levantada. La evaluación es entonces considerada como un importante esfuerzo para el NPGS e igualmente importante para que los datos sean registrados e ingresados en el GRIN. Los usuarios de todo el mundo, reciben el germoplasma sin costo pero son comprometidos para compartir información acerca del germoplasma. Los curadores solicitan información sobre los materiales enviados y de esta forma recogen los registros e ingresan en la base de datos. La mayoría de la información evaluada es ingresada en la base de datos usando información específica colectada por ciertos caracteres prioritarios e identificados por los CACs. Estos proyectos son auspiciados por ARS y los datos colectados cuidadosamente son ingresados al sistema GRIN donde estarán disponibles para todo científico. Los CACs identifican los descriptores para los cuales existe una necesidad amplia para evaluar y proyectos están auspiciados con ese propósito. Más allá de estos descriptores, científicos individuales deben evaluar el germoplasma por requerimientos específicos para su propia investigación

5. ACHIRA COMESTIBLE *Canna edulis* VARIABILIDAD E IMPORTANCIA AGRÍCOLA

Dentro del orden Zingiberales, en el grupo Scitaminae, se encuentra la Familia Cannaceae con su único género, *Canna* (Judd et al., 1999; citado por Freire I. 2009). Las especies de *Canna* son conocidas en los Andes como achiras; éstas son apreciadas por las formas y colores de las flores, achiras ornamentales, y por los cultivares de rizomas grandes que contienen almidón, las achiras comestibles.

La achira comestible, *Canna edulis*, es un cultivo de propagación vegetativa de los Andes. Los descubrimientos arqueológicos de la achira encontrados en las costas de Ecuador y Perú en el océano Pacífico preceden a la mayoría de los cultivos en el área (Piperno and Pearsall, 1998; citado por Hermann, Quynh, y Peters, 1998). Esto sugiere que la achira fue bastante común en tiempos prehistóricos, y fue sucesivamente disminuida por la introducción de otros cultivos, como el maíz de meso-América y por cultivos de Europa a inicios de la conquista española (Hermann *et al.* 1998). En los Andes, el cultivo de achira se mantiene en áreas pequeñas, para consumo doméstico y ocasionalmente para la venta a pequeña escala (Hermann y Cecil, 1992).

5.1. NÚMERO DE ESPECIES, DISTRIBUCIÓN Y MORFOLOGÍA DE *Canna*

El número de especies de *Canna* ha sido reducido por algunos autores durante las últimas décadas debido, al parecer, a los numerosos sinónimos; de un total de 52 a 5 especies (Kränzlin 1912; Segeren y Maas 1971; Khoshoo y Mukherjee 1970; citado por Freire I. 2009). En la publicación “Flora del Ecuador” de Paul y Maas 1988, citado por Freire I. (2009) se describen cinco especies de *Canna*: *C. paniculata*, *C. glauca*, *C. indica*, *C. jaegeriana*, y *C. tuerckheimii*, de una selección de numerosos sinónimos.

El origen de estos numerosos sinónimos, probablemente se encuentre en tres hechos principales. Primero, la posible hibridación de algunas especies de *Canna*, realizada por los primeros colonizadores de América, principalmente europeos, en el proceso de domesticación. Después están las limitaciones que se dan al estudiar (reconocer) los especímenes en los herbarios (Woodson 1945; citado por Freire I. 2009). Woodson lo explica así: “los especímenes prensados, no dan una buena idea del hábito de las plantas, ni del aspecto y color de las flores y hojas. Los primeros estudios sistemáticos del género fueron aventurados, no obstante, esmerados por entusiastas como Roscoe, bajo condiciones de cultivo en invernadero y jardín en Europa, y con las numerosas especies propuestas mayormente en base de simples especímenes de dudoso origen. La mayoría de herbarios contienen más híbridos de jardín que de plantas indígenas”.

Muy probablemente el centro principal de origen de *Canna* está en el trópico y subtropico de América (Segeren y Maas, 1971). Actualmente este

género se encuentra distribuido por todo el mundo agrícola; se las encuentra en Indias Occidentales, Centro y Sudamérica. Naturalizadas en Norteamérica, Europa, el Sureste de Asia (Jiménez, 1980) y en África, Polinesia y Australia (Kay, 1987 citado de Tychsen, 1995). Principalmente se cultivan las especies ornamentales y sus híbridos por su atractivo floral (orquidoideas de colores vivos) y se las encuentra en jardines y parques. Las especies comestibles son menos conocidas, éstas son: *Canna lutea* Miller, *C. indica*, *C. edulis* Ker-Gawl. y *C. coccinea*, que probablemente se traten de la misma especie (P.J.M. Maas, citado por R. Jiménez, 1980).

5.2. BIOLOGÍA FLORAL, POLINIZACIÓN Y CITOLOGÍA

En la familia Cannaceae se considera como una característica principal la considerable retrogresión y transformación de sus estambres, puesto que sólo es fértil una teca (medio estambre). En el caso de *Canna spp.* el polen está ubicado a lo largo de un estilo modificado y por debajo del *labelum* que posee estigma terminal; a este tipo de polen se lo denomina polen secundario; es decir, la ubicación del polen está en otro órgano floral, y no en la antera. Esta característica le daría una ventaja selectiva, puesto que probablemente esto reduciría la autofecundación y auto-polinización, y por lo tanto, el nivel de homocigosis (Howell et al., 1993 citado por Tychsen, 1995). Al observar las flores de *Canna* en el campo, es muy común ver a insectos y arácnidos caminar alrededor del *labelum* llevando en sus patas el polen desde la teca (medio estambre) hacia el estigma; por lo tanto, este tipo de polinización (auto-polinización) favorecería la homocigosis (Freire, 2009).

La biología de la polinización es clave para la interpretación del sistema de apareamiento de plantas. El sistema de apareamiento determina el patrón de transmisión de los genes y afecta la organización y la variación genética en una población. La autofecundación y la auto-polinización restringen la heterocigosis y la migración de genes, reduciendo la variación en la población e incrementando la variación entre poblaciones; contrario a lo que sucede con los cruzamientos, los cuales promueven el flujo de genes, reducen las semejanzas en la diferenciación micro-geográfica y en la sub-estructuración de poblaciones (Kearns y Inouye, 1993; citado por Freire I. 2009).

Alrededor del 20% de las plantas superiores son predominantemente autógamas (autofecundadas) (Brown 1990, citado por Kearns y Inouye, 1993) y en esas especies los cruzamientos ocasionales tienen consecuencias importantes. El flujo efectivo de genes en especies autógamas es muy pequeño, y niveles bajos de cruzamientos incrementa dramáticamente el flujo de genes. Por otro lado, la autofecundación en especies predominantemente alógamas (fecundación cruzada) podría resultar en una alta infertilidad (Lande y Schemske 1985, citado por Kearns y Inouye, 1993).

El número cromosómico de *Canna* ha sido estudiado desde hace mucho tiempo, desde los inicios de la citología. La meiosis de los diploides ya había sido descrita por Offerijns (1935) y Belling (1921, 1925); citado por Freire I. (2009). Por otro lado, la meiosis en triploides fue publicada en 1924 y sobre los tetraploides en 1928 (Tokuguwa y Kuwada 1924; Honing 1928; citado por Freire, 2009). Se establecieron desde entonces los números cromosómicos de *Canna* en: $n = 9$; $2n = 18$; $3n = 27$; y $4n = 36$.

Los estudios citológicos fueron realizados por el interés en el color de las flores. Específicamente, pudieron determinar que la intensidad del color amarillo de la flor tenía una correlación con el número de cromosomas. Así, los especímenes diploides (2n) tienen un color amarillo pálido, mientras que los especímenes tetraploides (4n) muestran un amarillo profundo (Oomen 1949; citado por Freire, 2009).

En lo referente a *Canna edulis* y *C. coccinea*, cuyos rizomas son más grandes que los ornamentales, son de interés por la correlación entre ploidias y el contenido de almidón. Los triploides tienen más contenido de almidón que los diploides, y al mismo tiempo existe una reducción del tamaño del gránulo de almidón en los triploides (Mukherjee y Khoshoo, 1971; citado por Freire, 2009).

5.3. REVALORIZACIÓN DE ACHIRA COMESTIBLE, *Canna edulis*, COMO UN CULTIVO ALTERNATIVO Y DE ALTO CONTENIDO DE ALMIDÓN

Las ventajas en la producción del cultivo de achira incluyen: una alta eficiencia en el uso del nitrógeno, con rendimientos e índices de cosecha altos (Hermann, Uptmoor, Freire, Montalvo. 1997), tolerancia a la sombra, tolerancia a la sequía excepcional y uso eficiente del agua (Jureit, 1997; citado por Hermann et al. 1998) ausencia de pestes y enfermedades, y conveniente obtención de semilla vegetal. La restricción principal para un uso más amplio es su largo período de cultivo y cosecha para obtener la producción total (Hermann et al. 1998).

La parte comestible de la achira es el rizoma, rico en almidón, que en su sabor y textura es similar al camote (*Ipomoea batatas*) pero tiene una pulpa fibrosa color marrón poco agradable. Además, los rizomas deben ser hervidos o cocidos al vapor por varias horas para suavizarlos y poder consumirlos. Eso restringe su uso no solamente en áreas urbanas, sino también en áreas rurales pobres, donde la leña es escasa. Por lo tanto, hay poco margen para recuperar algo de la importancia anterior como alimento para consumo directo (Hermann *et al.* 1998).

La extracción del almidón de achira se lo realiza en agua, luego de la destrucción del rizoma con rallador y tamización del rallado; por la facilidad del almidón para sedimentar debido al gran tamaño de su gránulo es considerado apto para una extracción artesanal. Al norte de los Andes se extrae el almidón de achira en forma artesanal y con bajos rendimientos de extracción. A pesar de que el almidón de achira es utilizado en ciertos productos de panadería es muy valorado localmente; probablemente por la textura y suavidad que confiere al producto y que no es posible sustituir con otra materia prima (Hermann *et al.* 1994; citado por Hermann *et al.* 1998).

La producción de achira en los Andes es pequeña si se compara con la producción de Asia tropical, especialmente en Vietnam y China. Debido a su uso restringido, como alimento para cerdos, su presencia ha sido poco observada. En las últimas décadas, la producción del almidón de achira en Vietnam ha tomado importancia para la producción, casi exclusiva, de fideos transparentes (Hermann *et al.* 1998).

En Vietnam el uso de la achira como alimento para cerdos tiene una larga tradición, según agricultores ancianos (Hermann *et al.*1998). En las décadas de 1950s y 1960s cuando las cosechas de arroz bajaron a 2t/ha, los rizomas de achira también ingresaron, considerablemente, a la dieta humana; incluso en algunas áreas se dio producciones mayores a las actuales. Al mismo tiempo, algo de almidón fue extraído para ser usado como espesante. A finales de 1960s e inicios de 1970s el principal uso del almidón de achira fue para la elaboración de fideos y gracias a esto se expandió el cultivo (Hermann *et al.*1998).

El cultivo de la achira se desarrolla en zonas montañosas y en algunas partes bajas de Vietnam. Alrededor de 20.000 ha son cultivadas con achira en el norte de Vietnam y entre 4000 y 5000 ha en la parte sur. En los sistemas de cultivo donde domina el arroz (delta del río Rojo) la achira es relegada a las tierras menos fértiles y sin riego y no aptas para la producción de otros cultivos. Ocasionalmente, cuando la achira crece en tierra fértil, después de un cultivo de leguminosa, es decir, con alto contenido de nitrógeno, la producción puede exceder los 80 t/ha en 8 o 9 meses. Normalmente, los rendimientos están en 40 t/ha (Hermann *et al.* 1998). En las tierras altas, la mayor parte de la achira proviene de los sistemas agroforestales o de la agricultura migratoria. En sistemas agroforestales la achira puede crecer en fuertes pendientes, bajo sombra que puede superar el 50% y sin fertilización, tampoco se practica labranza. Por lo tanto, la producción se lo puede realizar sin insumos y en forma amplia, aunque los rendimientos sean bajos (Hermann *et al.* 1998).

En Vietnam y en otras partes de Asia, la achira muestra poca variabilidad, las variedades o cultivares (6 accesiones evaluadas) asiáticas son de hoja ancha casi horizontal y con rizomas sumergidos en el suelo, contrario a los cultivares de los Andes y donde existe mayor variabilidad. Todas las seis accesiones examinadas fueron triploides ($2n = 27$) que sugiere que son originarias del norte de los Andes, donde ese material es común, inclusive se corroboró con análisis moleculares que relacionan los cultivares asiáticos con los triploides colombianos (Hermann, 1999).

5.4. ESTUDIOS SOBRE EL GERMOPLASMA DE *Canna* spp. EN ECUADOR

En el Centro Internacional de la Papa, Estación Quito (CIP-Quito) se realizaron algunos estudios sobre la biología de *Canna* spp. Entre otros: “investigaciones Fenotípicas y Morfológicas de *Canna* L. con especial referencia a la reproducción sexual” (Tychsen, 1995) en este trabajo se muestran algunas accesiones que pueden cruzarse entre ellas; “Crop Growth and Starch Productivity of Edible *Canna*” (Hermann, M., Uptmoor, R., Freire, I., Montalvo, J.L. 1997) donde se detalla los rendimientos en la producción del almidón; “Evaluación del Germoplasma Andino de Achira (*Canna edulis* Ker.)” (Montalvo, 1997) en este estudio, 40 genotipos de achira fueron descritos morfológicamente y 70 fueron caracterizados citológicamente; “Investigación genética para el mejoramiento de la producción de almidón en *Canna edulis*” (Freire, 2009) en este trabajo se comprobó que se puede incrementar el contenido de almidón por ser un carácter poligénico aditivo. Estos trabajos demostraron una importante variabilidad genética de achira y la posibilidad de aumentar esta variabilidad con cruzamientos

y con esto la proyección para mejorar características como el contenido de almidón y el rendimiento total del cultivo.

6. EL CULTIVO DE YACÓN *Smallanthus sonchifolius* VARIABILIDAD Y SUS PRINCIPALES CARBOHIDRATOS

El yacón es una planta herbácea perenne, perteneciente a la familia de las asteráceas (como el girasol). La propagación de la planta es vegetativa. El nombre científico del yacón fue conocido como *Polymnia sonchifolia* Poepp. & Endl., no obstante, el nombre *Smallanthus sonchifolius* está ganando aceptación entre los taxónomos. Las plantas miden entre 1,5 a 3 m de alto. Las raíces de almacenamiento son acuosas y refrescantes, miden hasta 25 cm de largo y 10 cm de diámetro (Grau and Rea, 1997). Sus raíces son de piel oscura, de formas redondas y oblongas; los pesos de las raíces de una planta varían desde 100 hasta 1000 gramos. El color de la pulpa varía según el genotipo colores blanco-transparente, amarillo o anaranjado. Resumiendo los atributos organolépticos se diría que las raíces del yacón son: suculentas, tiernas y crujientes, que se asemeja a un rábano o manzana ligeramente resinosa pero agradablemente dulce (Hermann, Freire, y Pazos. 1997).

La producción de flores en yacón es más reducida que en la de otras especies silvestres de *Smallanthus*. La producción reducida de flores y de frutos es común en los cultivos de tubérculos de propagación clonal. En la evolución de yacón, la propagación vegetativa continua y la selección de sus raíces, por el rendimiento, pudieron haber perjudicado la floración y fructificación. La floración es fuertemente dependiente del ambiente y del área de crecimiento. Así tenemos

que en Argentina, en la parte norte, la floración ocurre muy tarde en el ciclo de crecimiento; por lo contrario, al norte de Bolivia, la floración es intensa. A pesar de que exista abundante floración, la producción de semilla es baja o no viable. Un factor es la alta esterilidad del polen (Grau, 1993; citado por Grau and Rea, 1997). La floración puede ser inducida artificialmente por injerto en plantas de girasol (Nakanishi and Ishiki 1996; citado por Grau and Rea, 1997).

El número cromosómico de yacón ($2n=60$) fue publicado por primera vez por Heiser (1963) con material ecuatoriano. León (1964) reportó otro número, $2n=32$, con material peruano. Estudios más detallados, con 1256 células contadas de clones de Ecuador, Perú, Bolivia y Argentina, establecieron un número de $2n=58$ (Salgado Moreno 1996; Ishiki *et al.* 1997; citado por Grau and Rea, 1997). Los estudios de Ishiki *et al.* (1997) citado por Grau and Rea, (1997) sugieren que el cariotipo de yacón está compuesto por dos genomas (allopoliploidía).

6.1. VARIACIÓN GENÉTICA E INSTITUTOS DE MANTENIMIENTO DE SU GERMOPLASMA

A pesar de que yacón es un cultivo clonal (de propagación vegetativa) existe variación morfológica y fisiológica. Sin embargo, esta variación puede reflejar en cierta medida la plasticidad fenotípica expresada en los ambientes contrastantes donde se cultiva en lugar de la variación genética. Según Dr. M. Hermann (1997) fue difícil diferenciar los clones de yacón, entre una amplia variedad geográfica, desde Ecuador hasta Argentina, cuando se cultivaron en un mismo ambiente (Grau y Rea, 1997).

Una colección sistemática de germoplasma de yacón se inició en la década de los 1980s, patrocinado por el IBPGR -International Board for Plant Genetic Resources-. Se centró principalmente en cultivos de importancia global como la papa; sin embargo, algunos trabajos se concentraron en cultivos andinos secundarios como el yacón en Ecuador y Perú. Una segunda colección se inició en 1993, liderado por el Programa de Raíces y Tubérculos Andinos en los Andes (RTAs), administrada por el Centro Internacional de la Papa –CIP- y financiada por la COTESU -Cooperación Técnica Suiza- Swiss Technical Cooperation-, la colección fue expandida a Bolivia, donde se mantiene la colección in situ (Grau and Rea, 1997).

En el Ecuador, el germoplasma de raíces y tubérculos andinos es manejado por el INIAP –Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias- en la Estación Experimental Santa Catalina. En esta estación se mantienen a 777 accesiones de raíces y tubérculos andinos de los cuales 32 corresponden a yacón que en Ecuador también se le conoce con el nombre de jícama; el material es plantado en el campo una vez por año y un duplicado se lo mantiene in vitro a 5°C. La mayoría de las accesiones corresponden a las provincias de Loja, Azuay y Cañar (Tapia et al. 1996; citado por Grau and Rea, 1997).

6.2. ASPECTOS AGRÍCOLAS Y COMPOSICIÓN DE CARBOHIDRATOS

El cultivo del yacón es poco conocido, su raíz es comestible y no contiene almidón y se lo consume cruda como una fruta. El cultivo es muy productivo con rendimientos que exceden las 10 t/ha entre 6-8 meses. En los Andes, los agricultores cultivan el yacón con frecuencia para autoconsumo y raramente sacan a la venta en ferias rurales. No existen estimaciones de producción de raíces fiables. Normalmente, se ven pocas plantas cultivadas en las esquinas de los campos o en jardines pequeños que proveen de raíces para la alimentación durante todo el año. La mayor parte de la materia seca de la raíz del yacón está compuesta de azúcares libres y fructanos de baja polimerización, es decir, de fructo-oligosacáridos (FOS) (Ohyama et al., 1990, Wei *et al.*, 1991; citado por Hermann et al., 1997). Los FOS se conforman de cadenas cortas de fructosa de enlaces (2-->1) beta-glucosídicos. El significado nutricional de este compuesto FOS es que en el intestino delgado del humano no existe la enzima que hidrolice los enlaces beta-glucosídicos. Por lo que al FOS se lo considera indigerible y apto como edulcorante dietético. Además, se le atribuye beneficios para la salud gracias a los fructanos, estos estimulan el crecimiento de bifidobacteria en el colon humano, suprimiendo a bacterias putrefactas patógenas. También, reduce las concentraciones de colesterol en el plasma sanguíneo. Por todo esto, se está añadiendo a algunos productos de pastelería, confitería y lácteos (Campbell *et al.*, 1997; citado por Hermann *et al.*, 1997).

El cultivo de raíces de diez accesiones de yacón, fueron caracterizadas químicamente, luego de 8 meses de cultivo. Las raíces fueron colectadas e inmediatamente fueron enviadas al laboratorio para el respectivo análisis (Hermann *et al.*, 1997). En la tabla 6 se observa las características geográficas y

cromosómicas (mitóticas) y en la tabla 7 se observa la composición de carbohidratos de las 10 accesiones de yacón.

Al parecer no existe una relación entre la diferenciación de la composición química y la ubicación geográfica. En general, hay poca diversidad en la composición química de las 10 accesiones de yacón. La variación de carbohidratos debido a factores fisiológicos, como la edad de la planta, y condiciones de post-cosecha, como el tiempo de almacenaje, parece tener más relevancia que las diferencias genéticas. Ohyama *et al.* (1990) observaron que los fructanos se reducían en un 20% luego de 3 meses de almacenamiento; citado por Hermann *et al.* (1997). El alto contenido de materia seca (% MS), de la accesión ASL 136, está relacionado con la dodecaploidía (87 cromosomas) en comparación con las otras accesiones octoploides (58 cromosomas). Esto último es un indicador para la mejora de los rendimientos en el germoplasma de yacón (Hermann *et al.* 1997). A pesar de su alta productividad de fructanos, yacón tiene poca probabilidad para convertirse en una fuente de edulcorante purificado dietético; sin embargo, Según Grau & Rea, (1997); Kakihara *et al.*, (1997); citado por Hermann *et al.* (1997) agricultores emprendedores en Brasil y Japón ya han aprovechado esta oportunidad y están produciendo rodajas de raíz deshidratada, parecidas a las rodajas secas de manzana.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. La evolución de las especies es el proceso biológico natural que es el resultado de la modificación en la frecuencia de genes, diversidad genética, en poblaciones naturales. La diversidad genética de los cultivos es el resultado de la interacción de cinco factores naturales: mutación, migración, recombinación, selección y deriva genética, más la intervención del hombre y sus costumbres.
2. La variabilidad genética de los diferentes cultivos se desarrolló a lo largo del tiempo en condiciones sociales, de alimentación y dentro de un equilibrio ecológico muy diferentes a las actuales. Es por esto que, la variabilidad genética no se incrementa, y por el contrario, se reduce a un ritmo cada vez mayor. Es necesario proteger esta diversidad con acciones de preservación, manejo, y utilización de este recurso en beneficio de toda la humanidad
3. Los países en vías de desarrollo tienen su mayor riqueza en sus recursos naturales, en particular en la biodiversidad de importantes cultivos con plantas cultivadas y silvestres. En contraste con los países desarrollados que dependen de éstos para abastecer y diversificar sus colecciones. Esa riqueza para ser aprovechada, racionalmente, debe ser: conservada, caracterizada,

evaluada y mejorada; como un inicio para el desarrollo sostenible de esos países.

4. A nivel mundial se cuenta con centros y organismos internacionales que procuran la colección, preservación y utilización de los recursos genéticos para mejorar y estabilizar la productividad agrícola como son: el International Board for Plant Genetic Resources -IBPGR- el Consultative Group on International Agricultural Research –CGIAR- que lidera a centros como: CIP, CIAT, CIMMYT, IRRI, IITA, ICRISAT, ICARDA, AVRDC entre otros. Los centros de investigación y conservación más importantes se encuentran en los centros de origen de biodiversidad de las especies por región.

5. A nivel nacional el Departamento Nacional de Recursos Fitogenéticos y Biotecnología (DENAREF), el Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) del Ministerio de Agricultura y el Instituto Nacional de Biodiversidad, adscrita al Ministerio del Ambiente son los principales custodios de los recursos vegetales y su biodiversidad. En el Ecuador se ha dado avances importantes al reconocer en su constitución los derechos de la naturaleza y la protección de los recursos vegetales.

6. En la actualidad existe una renovada valoración e importancia de la colección, preservación y utilización de los recursos genéticos para mejorar y estabilizar la productividad agrícola. Los países en vías de desarrollo, ricos en biodiversidad, deben aprovechar esta ventaja o potencial para su desarrollo.

7. La presión que ejerce el ser humano sobre los recursos naturales es mayor cuando crece la población, rompiendo el equilibrio de los ecosistemas. Por lo que es necesario generar tecnologías eficientes que consideren las tres formas de diversidad: biológica, ecológica y cultural, para que tenga éxito cualquier transferencia de tecnología en áreas de agricultura tradicional.
8. La población humana, de la presente generación, tiene la responsabilidad de continuar con el desarrollo y la protección del recurso genético sobre el cual dependerá la producción agrícola del futuro. Debemos entender, ver la importancia y la urgencia que tienen las acciones de conservación y preservación de los recursos genéticos de plantas cultivadas.
9. El cultivo de la achira tiene más ventajas que limitaciones para ser aprovechado. Achira tiene una flexibilidad en la adaptación a ambientes no aptos para otros cultivos y un potencial en la captación de nitrógeno del suelo. Los altos rendimientos de rizomas y su potencial para aumentar el contenido de almidón en sus rizomas, así como la facilidad de extracción de almidón, lo hacen propicio para tomarlo en cuenta como un cultivo alternativo.

Entre las ventajas agrícolas enumeramos: 1.- alta eficiencia en el uso del nitrógeno, con rendimientos e índices de cosecha altos; 2.- tolerancia a la sombra, hasta un 50%; 3.- tolerancia excepcional a la sequía y uso eficiente del agua; 4.- ausencia de pestes y enfermedades, y 5.- conveniente obtención de semilla vegetal; 6.- altos rendimientos de rizomas por hectárea, en condiciones normales (40t/ha). Las desventajas, 1.- su largo período de

cultivo y cosecha para obtener la producción total de almidón (un año) y 2.- la cocción del rizoma demanda mucho tiempo y energía, por lo que es recomendable sólo la extracción del almidón. Entre otras ventajas están: 1.- facilidad de extracción del almidón con herramientas o equipos sencillos, debido al tamaño grande del gránulo que le permite sedimentar rápidamente; 2.- buena probabilidad de aumentar el contenido de almidón genéticamente; 3.- variabilidad genética disponible en los Andes principalmente y en Asia, en zonas bajas y montañosas; 4.- Potencial uso del almidón para la elaboración de fideos como lo hacen en Asia.

Con la característica de una alta eficiencia en el uso del nitrógeno, el cultivo de la achira se lo podría recomendar para plantar en campos o regar con agua que tienen exceso de nitratos. También es recomendable como cultivo alternativo para rotar los suelos. Al ser tolerable a la sequía y eficiente en la toma del agua, es recomendable para zonas semi-áridas como en los valles andinos. La tolerancia a la sombra y la ausencia de pestes y enfermedades le hace apto para cultivar entre árboles u otros cultivos. Finalmente, la producción de almidón permite al agricultor almacenar éste para épocas de dificultades agrícolas o económicas.

10. El cultivo de yacón en los Andes está restringido a un uso doméstico, en áreas donde tradicionalmente la población indígena tiene la costumbre de consumir las raíces como un fruto y como un alimento esporádico. El yacón se ha desarrollado fuera de la región andina, principalmente en Brasil y Japón, por el tipo de carbohidrato, que contienen las raíces, que no es

digerible, y por lo tanto, puede ser utilizado como un compuesto dietético, prebiótico y con algunos beneficios para la salud humana.

En general, hay poca diversidad genética de yacón (*Smallantus* spp.); no existe una relación entre la diferenciación de la composición química y la ubicación geográfica. La diversidad en la composición química de las accesiones de yacón se debe a factores fisiológicos, como la edad de la planta, y condiciones de post-cosecha (tiempo de almacenaje) más que a las diferencias genéticas. El cultivo es productivo con rendimientos que exceden las 10 t/ha entre 6-8 meses.

El principal carbohidrato de las raíces de yacón es el fructo-oligosacáridos (FOS) que se lo considera indigerible y apto como edulcorante dietético; entre los beneficios están: 1.- estimula el crecimiento de bifidobacteria en el colon humano, suprimiendo a bacterias putrefactas patógenas; 2.- reduce las concentraciones de colesterol en el plasma sanguíneo, y 3.- es un edulcorante o alimento bajo en calorías. Por todo esto, se está añadiendo a algunos productos de pastelería, confitería y lácteos. En Brasil y Japón se encuentran a la venta rodajas deshidratadas de las raíces.

Al igual que achira, el yacón no ha sido mejorado genéticamente, y existe una alta probabilidad de seleccionar clones con mayores rendimientos y con altos contenidos de FOS; el alto contenido de materia seca (FOS mayoritariamente) de la accesión ASL 136, está relacionado con la dodecaploidía (87 cromosomas) en comparación con las otras accesiones octoploides (58

cromosomas). Yacón tiene poca probabilidad para convertirse en una fuente de edulcorante purificado dietético; sin embargo, como alimento natural o procesado (rodajas deshidratadas) aumentaría el consumo como lo es en Brasil y Japón.

8. REFERENCIAS

- Asfaw, S., Lipper, L. **Economics of plant genetic resource management for adaptation to climate change. A review of selected literature.** Food and Agriculture Organization of the United Nations. ESA Working paper No. 12-02 April 2012. Disponible en: www.fao.org/economic/esa.
- Castillo, R., Estrella, J., Tapia C. **Técnicas para el Manejo y Uso de Recursos Genéticos Vegetales.** Editorial Porvenir. Quito-Ecuador. 1991.
- Debouck, D., Ebert, A., Peralta, E., Barandiarán, M.A., Ramírez, M. **La importancia de la utilización de la diversidad genética vegetal en los programas de investigación agrícola en América Latina.** Recursos Naturales y Ambiente. s/f.Vol. 53. Pág: 46-53.
- Freire, I. **Investigación genética para el mejoramiento de la producción de almidón en *Canna edulis*.** Tesis doctoral en Ciencias Biológicas. Pontificia Universidad Católica del Ecuador –PUCE- Quito. 2009.
- Food Agriculture Organization –FAO- **Los precios altos de los alimentos y la crisis alimentaria: experiencias y lecciones aprendidas.** El Estado de los mercados de productos básicos agrícolas. 2009. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-i0854s.pdf>.
- Food Agriculture Organization –FAO- **Conservación de la biodiversidad: Colecciones in situ y ex situ.** Rome. 2015. Disponible en: <http://www.fao.org/focus/s/96/06/04-s.htm>
- Grau, A., Rea, J. **Yacon *Smallanthus sonchifolius* (Poepp. & Endl.) H. Robinson.** Andean roots and tubers: Ahipa, arracacha, maca and yacon. M. Hermann and J. Heller, editors. IPGRI. Rome. p. 199-242. 1997.
- Hermann, M., Cecil, J. **Starch extraction from achera (*Canna edulis*) in Patate, Province of Tungurahua, Ecuador.** Survey. 1992.
- Hermann, M., Freire, I., Pazos C. **Compositional Diversity of the Yacon Storage Root.** CIP Program Report. CIP, Lima, Perú. 1997. p. 425-432.
- Hermann, M., Uptmoor, R., Freire, I., Montalvo, J.L. **Crop Growth and Starch Productivity of Edible *Canna*.** CIP Program Report. CIP, Lima, Perú. 1997. p. 295-301.
- Hermann, M., Quynh, N.K., Peters, D. **Reappraisal of Edible *Canna* as a High-Value Starch Crop in Vietnam.** CIP Program Report. CIP, Lima, Perú. 1998. p. 415-424.

- Hermann, M. **Characterization and classification of Andean root and tuber crop variability**. Subproject Annual Progress Report. CIP, Lima, Perú. 1999. 14 p.
- Jiménez, R. **CANNACEAE. Flora de Veracruz**. Instituto Nacional de Investigaciones sobre Recursos Bióticos pp. 1-8. Xalapa, Veracruz, México. 1980.
- Kearns, C.A., Inouye, D.W. **Techniques for pollination biologist**. University Press of Colorado. Niwot. Colorado. 1993.
- Liu, B.H. **Statistical Genomics: Linkage, Mapping and QTL Analysis**. CRC Press LLC. USA. 1998.
- Matthew, R. A., Barnett, J., McDonald, B., O'Brien, K., Dabelko, G. **Global Environmental Change and Human Security**. New York. 2009.
- Montalvo, J.L. **Evaluación del Germoplasma Andino de Achira (*Canna edulis* Ker.)** Cutuglagua. Pichincha. Ing. Agr. Tesis. Universidad Central Quito, Ecuador. 1997.
- Monteros, C., Yumisaca, F., Andrade-Piedra, J., Reinoso, I. **Papas Nativas de la Sierra Centro y Norte del Ecuador: catálogo etnobotánico, morfológico, atronómico y de calidad**. Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias –INIAP- Quito, Ecuador. 2011. 144p.
- Mukherjee, I., and Khoshoo, T.N. **Genetic-Evolutionary Studies of Cultivated Cannas V. Intraspecific Polyploidy in Starch Yielding *Canna edulis***. *Genética Iberica* (Spain) 1971. 23 (1-2): 35-42.
- Segeren, W. Maas, P.J.M. **The genus *Canna* in northern South America**. Map. Illus. Tabs. *Acta Botánica Neerlandica*. SIN 0044-5983. 1971. 20(6):663-680.
- Serratos, A. **El origen y la diversidad del maíz en el continente americano**. Greenpeace, Mexico. 2009.
- Sevilla, R., Hole, M. **Recursos Genéticos Vegetales**. Centro Internacional de la Papa -CIP- Lima, Perú. 1995.
- Stalker, H.T., Chapman, C. **IBPGR Training Courses: Lecture Series 2. Scientific Management Germplasm: Characterization, Evaluation and Enhancement**. International Board Plant Genetic Resources. Rome. 1989.
- Strickberger, M.W. **Genética**. Ediciones Omega, S.A. Barcelona. 1982.
- Tychsen, M. **Morphological and phenotypic investigations of *Canna L.* with special reference to sexual reproduction**. MSc thesis in Botany, Royal Veterinary and Agricultural University. (L 8463) 1995.

9. TABLAS

Tabla 1. Principales cultivos en el mundo y sus centros de dispersión (Castillo *et. al.* 1991)

Centro de Dispersión	Cultivos Principales
Méjico y Guatemala	Amarantos, aguacate, frijoles, maíz, cacao, algodón, guaba, pepino rojo, zapallos, camote, tabaco, tomate, vainilla, palmar o guayule, zapote, agave.
Zona Andina	Maíz, cacao, frijoles, algodón, guaba (Ecuador y Perú) papaya, ajíes, papa, quinina, quinua (Bolivia) cucúrbitas (zambos y zapallos) tabaco, tomate, begonia, achira, pepino dulce, tomate de árbol, marigol, coca, palmar, capuli, tubérculos andinos, jícama o yacón, zanahoria blanca, chocho (lupinus) Lucuma, amaranto, achogcha, frutales entre otros.
Sur de Chile y Chiloé	Papa, cereza, y otros.
Brasil y Paraguay	Nuez de Brasil, cacao, yuca, maní, caucho, piña, mate, maracuyá.
Norte América	Girasol y algunos tipos de nueces.
Etiopía, Kenia, Somalia	Banano, cebada, café, taro, cebolla, saúco, sorgo, mijos, trigo, caupí, sandía, papa china, algodón, uva, lino, cáñamo, mostaza, avellana, arveja, peras, pistacho, rábano, centeno, ajonjolí, ajo, espinaca, entre otros.
Mediterráneo	Espárragos, remolacha, brócoli, col, coliflor, culantro, habas, remolacha azucarera, menta, hinojo, lechuga, avena, olivo, ruibarbo, trigo, lino, entre otros.
Indo-Burma	Algodones, caupí, pepino, achicoria, limón, mango, millet, naranja, arroz, caña de azúcar, taro, papa china, lima, coco, crotalaria, cardamomo, bambú, entre otros.
Asia Menor	Alfalfa, durazno, cebada, remolacha, col, zanahoria, lino, uva, lenteja, lupino, avena, pera, pistacho, rosas, ajonjolí, algunos tipos de trigo, entre otros.
Malasia, Jaba y El Siam	Banano, frutipan, coco, gengibre, caña de azúcar, frijol, naranja, pomelo, tipos de nueces, cardamomo, entre otros.
China	Duraznos, col china, caupí, té, sorgo, millet, avena, naranja dulce, rábano, ruibarbo, soya, caña de azúcar, bambú, sintámonos chino, entre otros.

Tabla 2. Centros núcleos y regiones de diversidad de las plantas domesticadas (Hawkes, 1983) citado por Castillo *et. al.* (1991)

Centros Núcleos Menores o Remotos	Región de Diversidad		Centros
A Norte de China	I	China	1 Japón
	II	India	2 Nueva Guinea
	III	Sureste de Asia	3 Islas Salomón Fidji y Pacífico Sur
B Cercano Oriente	IV	Asia Central	4 Norte de Europa
	V	Cercano Oriente	
	VI	Mediterráneo	
	VII	Etiopía	
	VIII	África Occidental	
C Sur de Méjico Canadá	IX	Meso-América	5 Estados Unidos,
			6 El Caribe
D Centro y Sur de Perú	X	Andes del Norte (de Venezuela a Bolivia)	7 Sur de Chile
			8 Brasil (Amazonía)

Tabla 3. Centros Internacionales y sus Colecciones de Germoplasma FAO (2015)

Nombre	Lugar	Principales Colecciones
IRRI	Filipinas	Arroz y materiales relacionados.
CIMMYT	Méjico	Trigo, maíz, cebada.
IITA	Nigeria	Arroz, frijoles, yuca, camote y otros.
CIAT	Colombia	Frijoles, yuca, forrajes, otros.
CIP	Perú	Papa, camote y otros.
ICRISAT	India	Sorgo, frijoles, mijos, arroz.
ICARDA	Siria	Cereales, frijoles, forrajes.
AVRDC	Taiwan	Frijoles, camote, tomate, otros.
IRRI	Instituto Internacional de Investigaciones sobre el Arroz.	
CIMMYT	Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo.	
IITA	Instituto Internacional de Agricultura Tropical.	
CIAT	Centro Internacional de Agricultura Tropical.	
CIP	Centro Internacional de la Papa.	
ICRISAT	Instituto Internacional de Investigaciones de Cultivos par alas Zonas Tropicales Semiáridas.	
ICARDA	Centro Internacional de Investigación Agrícola en las Zonas Secas.	
AVRDC	Centro Asiático de Investigación y Desarrollo de Hortalizas.	

Tabla 4. Algunas especies frutales silvestres en Ecuador (Castillo *et. al.* 1991)

Nombre científico	Nombre común
<i>Acanthocereus pitajaya</i>	Pitajaya
<i>Annona purpurea</i>	Guanábano Pun
<i>Bactris gasipaes</i>	Chontaduro
<i>Bellucia grossularioides</i>	Guayaba de Pava
<i>Bertholletia excelsa</i>	Nueces del Brasil
<i>Bromelia trianae</i>	Piñuela
<i>Bunchosia armeniaca</i>	Ciruelo
<i>Campomanesia lineatifolia</i>	Guayabo de Mono
<i>Carica pentagona</i>	Babaco
<i>Carica goudotiana</i>	Papayuela
<i>Caryodendron orinocense</i>	Maní de árbol
<i>Cavanillesia platanifolia</i>	Macondo
<i>Crysophyllum caimito</i>	Caimito
<i>Coccoloba uvifera</i>	Uvita de playa
<i>Cucumis anguria</i>	Pepino de monte
<i>Cyphomandra betacea</i>	Tomate de árbol
<i>Eugenia stipitata</i>	Arazá
<i>Ficus dulciaria</i>	Breva de monte
<i>Grias haughtii</i>	s.n.
<i>Gustavia superba</i>	Membrillo
<i>Hieronyma colombiana</i>	Motilón
<i>Hymenaea candolleana</i>	Algarrobo
<i>Inga edulis</i>	Guamo
<i>Inga spuria</i>	Guamo macho
<i>Lacmellea floribunda</i>	Tachuelo
<i>Macleania rupestris</i>	Gualicón
<i>Malpighia puniceifolia</i>	Cerezo
<i>Matisia cordata</i>	Zapote
<i>Melicocca bijuga</i>	Mamón
<i>Opuntia wentiana</i>	Tuna
<i>Passiflora quadrangularis</i>	Badea
<i>Passiflora ligularis</i>	Granadilla
<i>Passiflora mollissima</i>	Curuba
<i>Physalis peruviana</i>	Uvilla, Uchuvo
<i>Pourouma cecropiaefolia</i>	Uva de monte
<i>Pouteria caimito</i>	Lucuma caimito
<i>Pouteria lúcuma</i>	Lucuma
<i>Prunus serótina</i>	Capulí
<i>Psidium guajaba</i>	Guayaba
<i>Rubus glaucus</i>	Mora
<i>Solanum muricatum</i>	Pepino dulce
<i>Solanum quitoense</i>	Naranjilla
<i>Solanum quitoense var. Septentrionale</i>	Lulo morado
<i>Solanum caripense</i>	Tzimbalo
<i>Spondias mombin</i>	Jobo
<i>Theobroma bicolor</i>	Cacao
<i>Thibaudia floribunda</i>	Sagalito
<i>Uribea tamarindoides</i>	Tamarindo
<i>Vaccinium floribundum</i>	Mortiño

Tabla 5. Principales colecciones del NPGS

Estaciones Regionales de Introducción de Plantas.

Ames, IA (maíz, girasol, remolacha, melón, col)
Experiment, GA (sorgo, camote, mijo, maní, pimienta)
Genera, NY (tomate, arveja, trébol, cebolla, apio, zapallo)
Pullman, WA (haba, alfalfa, lenteja, garbanzo, pastos, cártamo)

Depositorios de Germoplasma Clonal Nacional

Brownwood, TX (pecan -nuez lisa de pacana- hickory -nuez dura de nogal americano-)
Corvallis, OR (arándano, arándano agrio, grosella, avellana, pera, frutilla)
Davis, CA (higo, uva, kiwi, olivo, pistacho, frutas de hueso, nuez de nogal)
Geneva, NY (apple, uva americana)
Hilo, HI (guayaba, papaya, maracuya, piña)
Miami, FL/Mayaguez, PR (aguacate, banano, nuez del Brasil, cacao, café, jorobado, mango, plátano, caña de azúcar)
Orlando, FL (cítricos)
Riverside, CA/Brawley, CA (cítricos y géneros relacionados)

Colecciones Especiales

Granos pequeños: Aberdeen, ID
Soya (Norte): Urbana, IL
(Sur): Stoneville, MS
Algodón: College Station, TX (Stoneville, MS/Phoenix, AZ)
Lino: Fargo, ND
Tabaco: Oxford, NC
Forraje y pastos: Logan, UT
Mijo: Tifton, GA
Bambú: Byron, GA/Mayaguez, PR
Papa: Sturgeon Bay, WI
Maní: Experiment, GA/Stillwater, OK/Stephenville, TX
Girasol silvestre: Ames, IA/Bushland, TX
Crucíferas: Madison, WI
Tripsacum (maíz silvestre): Raleigh, NC/Homestead, FL
Cebada (reserva genética): Fort Collins, CO
Maíz (reserva genética): Urbana, IL
Arveja (reserva genética): Geneva, NY
Tomate (reserva genética): Davis, CA
Trigo (reserva genética): Columbia, MO

Tabla 6. Características geográficas, materia seca y número cromosómico de 10 accesiones

Accesión*	País	Provincia	Localidad	Altitud (m)	% MS**	Cromosomas (x.n)
ASL 136	Perú	Cajamarca	Chota	2.900	13.6	87
AW 5075	Perú	Cajamarca	Cancan	2.600	9.8	58
ARB 5027	Perú	Lima	Tintín	3.200	11.4	58
ARB 5073	Perú	Cajamarca	Sucre	2.600	11.5	58
ARB 5074	Perú	Cajamarca	Sucre	2.600	10.9	58
ECU 1243	Ecuador	Azuay	Cumbe	2.560	11.1	58
HN 1013	Argentina	Jujuy	Bárcena	1.900	10.9	58
MHG 919	Bolivia	Cochabamba	Pairumani	2.600	11.8	58
MHG 923	Bolivia	Cochabamba	Paracti	2.100	12.3	58
MHG 927	Bolivia	Cochabamba	Locotal	1.800	12.0	58

* Accesión ECU 1243 se mantiene en el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Quito, Ecuador; las demás accesiones son mantenidas en el banco de germoplasma del CIP Lima, Perú.

** MS: Materia seca de las raíces

Fuente: Hermann *et al.*, 1997.

Tabla 7. Composición de carbohidratos de 10 accesiones de yacón en base seca en porcentajes (%)

Accesión	Carbohidratos	Fructanos	Azúcares libres	Glucosa	Fructosa	Sacarosa
ASL 136	93	66	14	2.0	3.4	8.5
AW 5075	91	32	43	2.3	21.6	19.5
ARB 5027	91	54	24	2.5	8.3	13.3
ARB 5073	91	53	22	3.9	6.4	12.0
ARB 5074	92	46	29	5.4	8.7	14.7
ECU 1243	91	52	23	2.1	11.1	9.4
HN 1013	92	53	22	3.8	6.1	12.1
MHG 919	94	58	19	2.6	4.9	11.3
MHG 923	93	60	16	2.7	3.2	10.1
MHG 927	93	60	15	2.3	3.6	9.1

Fuente: Hermann *et al.*, 1997.