

Capítulo II

Manejo y Conservación de RTAs *in situ* en fincas de agricultores y *ex situ* en el Banco de Germoplasma de INIAP

César Tapia, Jaime Estrella, Alvaro Monteros, Franklin Valverde, Margoth Nieto, Juan Córdova (†)

Introducción

La conservación *in situ* de recursos genéticos de plantas involucra el continuo manejo de cultivos por parte de los agricultores en el agroecosistema donde éstos han evolucionado. Esta metodología de conservación se complementa con la conservación *ex situ*, en la cual materiales de estos agroecosistemas son llevados hacia los bancos de genes. Esta complementariedad se debe a que, aunque la conservación *in situ* en fincas de agricultores permite mantener los procesos de adaptación y evolución de diferentes cultivos e integra a los agricultores en el sistema nacional de conservación de recursos fitogenéticos, presenta riesgos de pérdida de la diversidad existente en sus chacras o erosión genética. Este proceso se debe a un constante cambio en los hábitos alimenticios, simplificación de la agricultura a pocos cultivos, poco auspicio a los cultivos autóctonos por prejuicios sociales y susceptibilidad a plagas y enfermedades, entre otras causas. Entonces, se evidencia que los dos sistemas de conservación permitirán que valiosos recursos genéticos, como las RTAs, subsistan para el bienestar de las futuras generaciones.

En este contexto general, el Departamento Nacional de Recursos Fitogenéticos y Biotecnología (DENAREF), mediante los subproyectos “Conservación *in situ* de la Biodiversidad de RTAs en Ecuador” y “Conservación *ex situ* de la Biodiversidad de RTAs en Ecuador”, ha logrado integrar estas dos metodologías al utilizar como base de estudio estas importantes especies. Mediante este proyecto, se ha estudiado la dinámica en condiciones *in situ* en la región interandina en el Ecuador, con apoyo en información y materiales conservados y estudiados *ex situ* durante veinte años por el DENAREF.

Además, si se comprende que los agricultores tradicionales tienen una visión integral del manejo de su agroecosistema, era preciso incluir estudios complementarios de manejo y conservación de suelos en el área de influencia del proyecto. Es por esto que el Departamento de Suelos y Aguas de INIAP incluyó, a través de la Línea de Acción “Conservación y manejo de suelos”, valiosa información en este campo. El suelo se constituye en un componente importante del agroecosistema, puesto que es el medio físico donde se cultivan y conservan las RTAs. En vista de que las condiciones topográficas de Las Huaconas presentan riesgos de erosión de suelos, se implementaron técnicas apropiadas de manejo de suelos al establecerse los jardines de conservación. Estudios aplicados de sistemas agroforestales incluyeron las RTAs para determinar efectos de sombra y competencia en su productividad a mediano plazo.

En este capítulo se resumen los logros y experiencias de los esfuerzos combinados de estas tres Líneas de Acción, encaminados hacia la conservación y el manejo integral de las RTAs. Se espera que el conocimiento que se ha generado, tanto en el banco de germoplasma *ex situ* como mediante el trabajo compartido con las comunidades campesinas del sector de Las Huaconas, haya incentivado a los agricultores de la zona a seguir manteniendo su diversidad local de una manera sostenible en el futuro y sentir orgullo del trabajo realizado por ellos, mucho antes de haber iniciado este proyecto.

Conservación *in situ* de la Biodiversidad de RTAs

La conservación *in situ* de recursos genéticos de plantas domesticadas se enfoca en los agroecosistemas

existentes a nivel de campo de agricultores (Jarvis *et al.*, 2000). Mediante este proyecto, se ha estudiado la dinámica de la conservación de tubérculos andinos (TAs) en condiciones *in situ* en comunidades campesinas del sector Las Huaconas, en la región interandina del Ecuador. En un inicio, mediante una encuesta a nivel de la región interandina, se determinó que los agricultores de esta zona conservan una importante diversidad de TAs, como mashua, oca, melloco y papa. Es importante recalcar que estos agricultores han realizado esta actividad durante siglos con esfuerzos propios; por lo tanto, consideramos importante estudiar la dinámica que ha envuelto la sostenibilidad de la conservación de estos recursos a través del tiempo. Los resultados que se reportan a continuación se apoyaron también en información y materiales conservados y estudiados *ex situ* durante 20 años por el DENAREF. Entonces, se enfatiza que la complementariedad de los sistemas *in situ* y *ex situ* descritos por Engels (1995) ha sido puesta de manifiesto en las siguientes páginas. La primera parte de este capítulo resume el trabajo del DENAREF por el lapso de los cuatro años de duración del proyecto de conservación *in situ* en fincas de agricultores de Las Huaconas. Para los lectores interesados, una definición complementaria sobre conservación en fincas de agricultores y la importancia que este sistema presenta para el mantenimiento de la diversidad agrícola se han incluido en los recuadros adjuntos.

Definición de “conservación en fincas de agricultores” :

“El continuo cultivo y manejo de un grupo diverso de poblaciones, por agricultores en el agroecosistema donde un cultivo ha evolucionado” (Bellon *et al.*, 1997, citado por Jarvis *et al.*, 2000).

Como se ha mencionado en el capítulo anterior, Las Huaconas se localizan en la parte central de la región interandina. Es una de las zonas más densamente pobladas y empobrecidas del país. En esta región, las comunidades indígenas han desarrollado, a través de varias generaciones, un conocimiento científico tradicional de sus tierras, recursos naturales y, en general, el medio ambiente. Sin embargo, su completa participación en el contexto nacional ha sido limitada, como resultado de diversos factores históricos, sociales y económicos. Sus valores tradicionales, conocimientos y prácticas de manejo armónicas con el medio ambiente deberían ser reconocidos y promocionados como contribuciones valiosas hacia el desarrollo sustentable y la preservación de los recursos fitogenéticos.

¿Por qué se hace conservación en fincas de agricultores?

Los siguientes factores hacen que la conservación en fincas sea un mecanismo adecuado para la sostenibilidad de la diversidad agrícola:

- Conserva los procesos de adaptación y evolución de los cultivos.
- Conserva la diversidad a varios niveles, ecosistemas, especies e intra-específico.
- Se integra a los agricultores en el sistema nacional de conservación de recursos fitogenéticos.
- Conserva los ecosistemas de una manera sostenible.
- Mejora las alternativas económicas de los agricultores pobres.
- Mantiene e incrementa el control y el acceso de los agricultores a los recursos genéticos.
- En general, presenta beneficios socioeconómicos, ecológicos y genéticos. (Jarvis *et al.*, 2000).

Actualmente, la conservación de la agrobiodiversidad en Ecuador es ejecutada básicamente por las comunidades indígenas, con esfuerzos reducidos y quizás dispersos por parte de otros actores. Entonces, el objetivo de este proyecto fue reforzar la capacidad de los agricultores y de las organizaciones locales, para incrementar la conservación de los recursos fitogenéticos, y mejorar así los medios de vida de los agricultores y fortalecer la seguridad alimentaria de las futuras generaciones. Es innegable que la conservación de la agrobiodiversidad debe ejecutarse a través de las actividades participativas en la comunidad agrícola, al tomar en cuenta los grandes ejes de la sostenibilidad, tales como la rentabilidad económica, la funcionalidad ambiental y la equidad social.

Se ha seguido el principio de que la conservación debe basarse en la participación activa de la familia del agricultor, que involucre el mantenimiento de variedades tradicionales o sistemas de cultivos dentro de sistemas agrícolas tradicionales. Entonces, los agricultores deben involucrarse en una serie de actividades por realizarse, como son: estudio de la biología de poblaciones, estudios socioeconómicos, estudio de mercado, mejoramiento participativo de fincas, etc. Como otras actividades que aportan a la conservación de cultivares tradicionales se puede también mencionar los inventarios locales y, por ende, la identificación de “microcentros de diversidad” y de agricultores conservacionistas. La sistematización aquí

Características de los sistemas tradicionales de producción de TAs

Los sistemas agrícolas tradicionales donde están inmersos los TAs se caracterizan por la diversidad de las plantas, generalmente en forma de policultivos y patrones agroforestales. Cuando se siembran varias especies y variedades de cultivos como estrategia para minimizar el riesgo, los rendimientos se estabilizan con el tiempo, se asegura una variabilidad en la dieta y se maximizan los réditos.

A través del uso de policultivos, o cultivos asociados, agroforestería, conocimiento de variedades locales, etc., es posible desarrollar sistemas productivos de alta diversidad biológica, conscientes del importante rol ecológico que ésta cumple en el sistema agropecuario (Altieri, 1993). Estos sistemas altamente diversificados son, entonces, fuentes de genes que constituyen, junto con las plantas silvestres, un reservorio de diversidad biológica. Estas fuentes de genes encierran enormes potenciales de uso en actividades agroproductivas, farmacéuticas, industriales, etc., aunque también están expuestas a desaparición por efecto de la erosión genética.

presentada involucra algunas de estas metodologías, encaminadas al beneficio directo en la economía del productor y de la conservación de la agrobiodiversidad de los TAs.

Identificación de microcentros

Se entiende por microcentro de la biodiversidad “el área geográfica contigua cuyos condiciones ecológicas, sistemas de producción agropecuarios y patrones culturales posibilitan la supervivencia y el uso de la biodiversidad”.

En Ecuador se identificó a Las Huaconas como microcentro, en base a la información procedente de diagnósticos participativos, de las ferias de conservación de semillas, y, en base a datos pasaporte de colectas de RTAs que permitieron determinar la localización geográfica de variabilidad genética de las mismas. A continuación se describen los estudios realizados en este microcentro.

Inventario local

Un vez identificado el microcentro, se realizaron inventarios locales en comunidades de Las Huaconas, desde 1999 al 2001. En el 2001 se observa un considerable aumento de la variabilidad de TAs, con incrementos que van de 25 % a 342 % en tres comunidades seleccionadas (Cuadro 2.1).

El incremento de la variabilidad se debe al intercambio de materiales en las *ferias de conservación de semillas* (se detalla a continuación) entre comunidades del sector y de la provincia de Chimborazo, además de la intervención realizada por el banco *ex situ* de TAs (Figura 2.1). En el caso de papa nativa, el incremento sustancial en Rayoloma es resultado de la recuperación de los propios agricultores sin intervención del banco de germoplasma.

Ferias de conservación de semillas

Las ferias de conservación de semillas contribuyeron a identificar las especies y variedades cultivadas por los campesinos participantes, a fin de caracterizar cualitativa y cuantitativamente la diversidad agrícola de un año específico. Se realizaron cuatro *Ferias de Conservación de Semillas* en 1999, 2000, 2001 y 2002. En estos eventos se evaluó la diversidad agrícola de TAs a nivel comunal, y se invitó a participar en el evento a comunidades y otros actores del sector agroproductivo de Chimborazo. Las ferias constituyeron, entonces, un evento de convocatoria cuyos resultados son el “termómetro” de la variabilidad genética para el microcentro especificado.

Cuadro 2.1. Número de cultivares de melloco, oca, mashua y papa nativa en tres comunidades del sector de Las Huaconas

Comunidades	Melloco		Oca		Mashua		Papa Nativa		Total	Total	%
	1999	2001	1999	2001	1999	2001	1999	2001	1999	2001	Incremento
Santa Rosa de Cullcutús	7	9	6	9	1	3	3	4	17	25	47
San Pedro de Rayoloma	1	5	2	9	1	3	2	14	7	31	342
Virgen de las Nieves	5	10	7	6	2	2	2	2	16	20	25

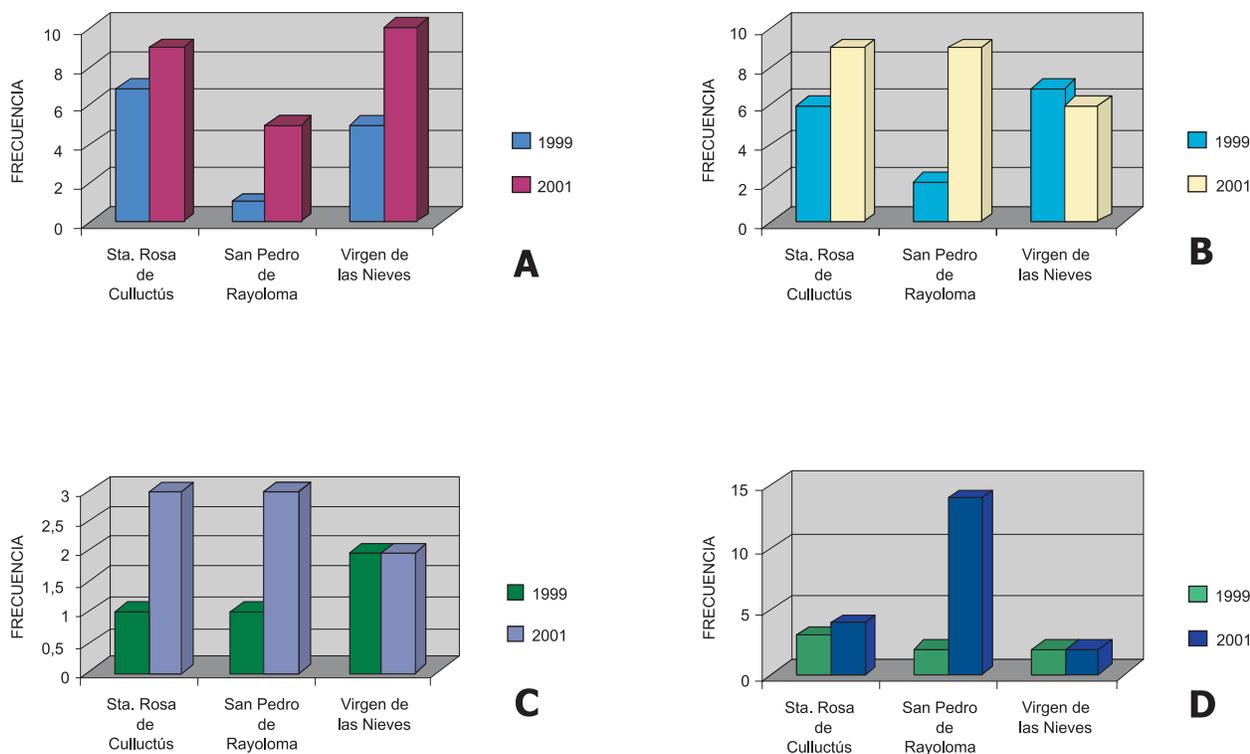


Figura 2.1. Cultivares de **A)** melloco, **B)** oca, **C)** mashua y **D)** papa nativa presentes en 1999 y en 2001, después de la ejecución del proyecto en tres comunidades del sector de Las Huaconas.

Para la cuantificación y la sistematización de la información se utilizaron formatos de registro, mientras que, para la evaluación, se nominaron jueces encargados del análisis de la información y la respectiva premiación (simbólica) de los participantes que presentaron mayor variabilidad, como un incentivo al esfuerzo de conservación realizado durante décadas.

La *I Feria de Conservación de Semillas - 1999* se realizó el 29 de julio en la ciudad de Cajabamba. En este evento participaron 23 comunidades, distribuidas de la siguiente forma: 19 de la provincia de Chimborazo (siete del sector de Las Huaconas); tres de la provincia de Cañar y una de la provincia de Bolívar. Un total de 115 indígenas y agricultores expusieron su variabilidad, y se observó, en cuanto a participación por género, un 54 % de hombres y un 46 % de mujeres. En la *II Feria de Conservación de semillas*, realizada el 23 de abril de 2000, la participación de 281 campesinos de 44 comunidades (ocho del sector de Las Huaconas) fue más entusiasta y activa; se presentó un 56 % de hombres y un 44% de mujeres. Hasta aquí, se notó una activa participación de hombres y mujeres. En la *III Feria de Conservación de Semillas - 2001*, realizada el 19 de julio de 2001, participaron 307 agricultores de 38 comunidades de la provincia (nueve del sector de Las Huaconas), 60 % hombres y 40 % mujeres. Para la *IV feria*, la participación sobrepasó las

expectativas, ya que hubo 529 expositores de 29 comunidades (seis del sector de Las Huaconas); esta vez las mujeres demostraron ser la piedra angular de la conservación, con una participación del 65 % de mujeres y el 35 % de hombres (Cuadro 2.2). Además, se observó que, en las cuatro ferias, participó un grupo común de agricultores.

Pese a que la participación de hombres y mujeres en las ferias de conservación ha variado en cada uno de los eventos, en los viajes a campo y reuniones comunitarias con los campesinos se ha notado que la selección de semillas es realizada por las mujeres como una actividad continua, y comienza en el momento en que el cultivo florece; mientras trabajan en los campos, ellas observan las plantas y deciden qué semillas seleccionar, identifican plantas de buena calidad al basarse en su tamaño, en la formación de tubérculo y en su resistencia a plagas y enfermedades. Para cubrir el riesgo de heladas, las mujeres seleccionan suficiente semilla y realizan la siembra en diferentes épocas agrícolas; también deciden qué método de conservación debe ser usado. Igualmente, en las comunidades se ha identificado (no cuantificado) que, en ciertos casos, los hombres emigran a las ciudades en busca de trabajos, incluso no relacionados con la agricultura.

Cuadro 2.2. Participación de comunidades agrícolas en las Ferias de Conservación de Semillas de 1999, 2000, 2001 y 2002

Rubro	I Feria 1999	II Feria 2000	III Feria 2001	IV Feria 2002
Número de participantes	115	281	307	529
Número de comunidades	23	44	29	70
Número de comunidades del sector Las Huaconas	7	8	9	6
Participación de género	54 % hombres 46 % mujeres	56 % hombres 44 % mujeres	60 % hombres 40 % mujeres	35 % hombres 65 % mujeres

Es importante recalcar que, en la cuarta feria, se evidenció un incremento en la concentración de variabilidad, el desarrollo de mayor experiencia entre los agricultores y la confianza para exponer la agrobiodiversidad que tenían en sus chacras, así como la voluntad para intercambiar sus semillas con otros campesinos (lo cual genera nuevos flujos de semillas hacia otras áreas agroecológicas). La Figura 2.2 incluye fotografías de la *IV Feria de Conservación de Semillas* desarrollada en Cajabamba.

A partir de las ferias se logró identificar un grupo de agricultores con mayor aptitud para mantener la variabilidad nativa. A estos campesinos se los denominó *agricultores conservacionistas*, cuyas características y perfiles destacables son: tradición (herencia de los padres o abuelos); interés marcado por mantener la diversidad mediante el intercambio o la búsqueda de los cultivares perdidos; dominio de ciertas estrategias de conservación, como la siembra en varios pisos altitudinales o el uso de mezclas de semillas, y generosidad, talento y liderazgo (Cuadro 2.3).

En el primer evento, la mayor variabilidad de cultivares la presentaron Francisco Guaspa, de la comunidad de Aguspamba, con 17 cultivares (nueve de papa nativa y ocho de melloco), y Juan Morocho, de la comunidad de Huacona San Isidro, con 16 cultivares. En general, se

presentaron niveles máximos de nueve cultivares de papa nativa, ocho de melloco, seis de oca y dos de mashua. En la segunda feria, la variabilidad en los cuatro tubérculos fue mucho mayor. Los potenciales agricultores conservacionistas pertenecen, en un 50 %, al sector de Las Huaconas, y el restante, a varias comunidades de la provincia de Chimborazo; se incluyen Juan Pilco y José Ñamiña, con 26 cultivares, como los ganadores de esta feria.

En la tercera feria, se observó que la influencia del proyecto en las comunidades del sector de Las Huaconas fue positiva, ya que hubo más variabilidad de los cuatro tubérculos; además, los agricultores conservacionistas identificados fueron todos del sector Las Huaconas. En esta tercera feria se detectó que, con relación a la segunda, se duplicaron los cultivares exhibidos. Es así que el Sr. Patajalo, de la comunidad de San Pedro de Rayoloma, presentó 53 ecotipos. Finalmente, la variabilidad observada por los agricultores conservacionistas en la cuarta feria fue impresionante, ya que se incrementó a 57 ecotipos, que fueron expuestos por Segundo Guamán, de la comunidad de Huacona Santa Isabel. Este fenómeno del aumento de agrobiodiversidad año tras año demuestra el gran potencial de los TAs, así como la voluntad de los agricultores de seguir conservando este importante germoplasma.



Figura 2.2. Imágenes de la *IV Feria de Conservación de Semillas*. **A.** Vista General de la Feria. **B.** Evaluación de los participantes. **C.** Mujeres indígenas participantes con variabilidad de TAs.

Cuadro 2.3. Agricultores que exhibieron la mayor variabilidad de TAs en las cuatro Ferias de Conservación de Semillas

Feria de Conservación	Agricultor	Comunidad	Cultivares	Total
I Feria	Francisco Guaspa	Aguspamba	Papa nativa: 9 Melloco: 8	17
II Feria	Juan Pilco	Rayoloma	Papa nativa: 11 Melloco: 5 Oca: 7 Mashua: 3	26
	José Ñamiña	Llagllay	Papa nativa: 13 Melloco: 7 Oca: 4 Mashua: 2	26
III Feria	Juan Alberto Patajalo	Rayoloma	Papa nativa: 23 Melloco: 10 Oca: 9 Mashua: 11	53
IV Feria	Segundo Rubén Guamán	Huacona Santa Isabel	Papa nativa: 24 Melloco: 17 Oca: 10 Mashua: 6	57

En la cuarta feria se ratificó que los campesinos manejan una considerable diversidad de los cuatro tubérculos, donde el número de participantes por cultivo se duplicó, triplicó y hasta sextuplicó para los rubros melloco, oca y mashua, con porcentajes de participación superiores al 50 % (Cuadro 2.4). Del análisis realizado en el contexto, se observó, además, una gran riqueza etnobotánica en relación a diferentes nombres y usos que los agricultores asignan a sus cultivares para los cuatro cultivos, y se notó un incremento sustancial en melloco, oca y mashua durante la cuarta feria (Cuadro 2.5).

Cabe indicar que, frente a la riqueza de la agrobiodiversidad en los campos de agricultores, se encuentra un

elemento socioeconómico que la amenaza: la influencia del mercado. El mercado, por su propia naturaleza, es selectivo y reductor de diversidad, y ha evolucionado en la peligrosa dirección de eliminar estos cultivos altoandinos infrautilizados, pero con enormes potenciales de uso en actividades agroproductivas, de control biológico, farmacéuticas, etc. Así, por ejemplo, en el sector de Las Huaconas, la mashua –tal como lo demuestran estudios de cuantificación de erosión genética– está desapareciendo, ya que su uso está confinado a pocos campesinos (viejos) para autoconsumo y sin proyecciones económicas actuales en el mercado. De allí se desprende la necesidad de explorar y promocionar usos alternativos para estos

Cuadro 2.4. Expositores por cultivo en las cuatro Ferias de Conservación de Semillas

Cultivo	No. de expositores				Aumento en participación (%)
	1999	2000	2001	2002	
Papa nativa	56	242	242	377	55
Melloco	58	190	237	412	73
Oca	67	78	264	440	66
Mashua	57	171	186	332	78

Cuadro 2.7. Presencia o ausencia de ecotipos de TAs en tres años (1999-2001) en la cosecha en la comunidad de San Pedro de Rayoloma

AÑO	MELLOCO			OCA										MASHUA		PAPA NATIVA																																	
	MF	F	R	MF	F					R					MF	F	MF	F							R																								
	Rosado	Quillu	Caramelo	Gallo lulo	Puca	Bronce	Blanca	Ronches	Algodón	Zapallo	Puca	Ojito rojo	Quirquina	Amarilla	Pintado rojo	Amarillo rojo	Andrea	Monada	Ambrosia	Muro	Amarilla	Zapallo	Muro ronchis	Quillu zapallo	Chilca	Ayamarco	Cacho	Norteña	Huagrasinga	Uvilla	Huancalá	Marco	Jubaleña	Tunca	Soltera	Puña	Rosa María	Chola	Cuchicaca	Huampuña	Pepino	Pulla	Ucta						
1999	X					X	X									X					X			X	X																								
2000	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
2001	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

 = Presencia
 = Ausencia
 MF = Muy frecuentes
 F = Frecuentes
 R = Rara

uno raro. La variabilidad de oca es apreciable, con dos genotipos muy frecuentes (blanca y ronches), siete frecuentes y cinco raros; en mashua, existe una muy frecuente (amarilla), dos frecuentes y una rara. San Pedro de Rayoloma es la comunidad del sector Las Huaconas que tiene más variabilidad de papas nativas, con un ecotipo muy frecuente (chilca), 13 frecuentes y cinco raros (Cuadro 2.7).

existen dos ecotipos muy frecuentes de melloco (caramelo rosado y rosado redondo), cuatro frecuentes y seis raros; en oca, tres muy frecuentes (ronches, amarilla y blanca), una frecuente y cinco raras. En mashua, existen dos ecotipos, amarilla y amarilla zapallo, como muy frecuente y frecuente, respectivamente; para papa, existen tres ecotipos, chilca, santa rosa y tunca, con las tres categorías, respectivamente (Cuadro 2.8).

A pesar de que la Cooperativa Virgen de las Nieves está conformada por un gran número de familias (680), se observa que existe poca variabilidad de genotipos, principalmente en oca, mashua y papa nativa, debido al uso de nuevas variedades mejoradas de papa, lo cual ha llevado a dejar de sembrar cultivares primitivos de TAs, al privilegiar los rendimientos y no la sostenibilidad. En las seis comunidades que conforman dicha cooperativa

La información sobre la presencia y ausencia de la variabilidad de TAs en el tiempo nos ha permitido seguir en el proceso de cuantificación de la erosión genética, así como formular estrategias de conservación, tales como la intervención en estas comunidades mediante ferias de conservación de semillas (intercambio y recuperación de variabilidad), reintroducción de cultivares del banco *ex situ* al sector, bancos comunales, etc.

Cuadro 2.8. Presencia o ausencia de ecotipos de TAs en tres años (1999-2001) en la cosecha en la Cooperativa Virgen de las Nieves

AÑO	MELLOCO						OCA						MASHUA		PAPA NATIVA											
	MF	F		R			MF	F	R			MF	F	MF	F	R										
	Caramelo rosado	Rosado redondo	Colorado rojo	Blanco	Gallo lulo	Chaucha	Jaspeado	Quita	Caramelo	Gallo pintón	Gallo malva	Rojo	Blanca	Ronches	Amarilla	Negra	Amarillo zapallo	Blanca jaspeada	Roja	Amarilla pintada	Colorada	Amarilla	Amarillo zapallo	Chilca	Santa Rosa	Tunca
1999	X	X	X	X			X						X	X	X	X	X	X	X			X	X	X	X	X
2000	X	X			X	X		X					X	X	X							X	X		X	X
2001	X	X	X	X	X	X			X	X	X	X	X	X	X	X				X	X	X	X	X	X	X

 = Presencia
 = Ausencia
 MF = Muy frecuentes
 F = Frecuentes
 R = Rara

Durante varios años de propender a la conservación de TAs en las comunidades indígenas de la región andina, se ha ido tratando de probar la hipótesis “a más uso, más conservación”, ya que se ha notado que, en las comunidades, sólo conservan de forma sostenible los cultivares que verdaderamente usan como para medicamento, alimento, condimento, etc. Para probar la hipótesis, se realizó en Ecuador, al igual que en Perú y Bolivia, un seguimiento de la variabilidad de los diferentes TAs desde la siembra, la cosecha, el almacenamiento, el procesamiento, la venta y las ferias locales. Esta información permitió, después de varios años, corroborar que sólo el uso que se hace de los materiales da la sostenibilidad necesaria para la conservación de TAs *in situ* en el tiempo.

Destino de la producción. En las comunidades en estudio, se observó que, de la producción de melloco, un 20 % es para consumo familiar, 10 % se usa para semilla sin un escogitamiento adecuado, 60 % se destina para la venta el día domingo en la feria local de Cajabamba. Allí, la producción tiene dos vías: la primera es la compra de los consumidores finales, y la segunda, la compra por parte de intermediarios para la venta en los mercados urbanos (San Alfonso y La Condamine), de la ciudad de Riobamba. Por último, el restante 10 % se utiliza principalmente para la transformación en mermeladas, que se venden en las ferias locales (Ver capítulo VI). Existen varios ecotipos que se utilizan para el autoconsumo, como el rojo, el colorado, el quita, y otros para la venta y el procesamiento, como el rosado, el caramelo, los gallos y el quillu. La expectativa en un futuro es capacitar a las comunidades para que utilicen semilla de calidad, lo cual implica una mayor producción; seguir fomentando el consumo y darle mayor valor agregado a este tubérculo, mediante elaborados artesanales como las mermeladas (Figura 2.3). En la misma figura se observa que, para oca, el destino de la producción es similar al del melloco, con la diferencia que se utiliza más para autoconsumo y en procesados y, en menor grado, en fresco para el mercado, debido a que este tubérculo necesita de un previo endulzamiento, lo cual es un inconveniente para el consumidor que quiere productos fáciles de cocer y de uso inmediato. Los cultivares que se autoconsumen son las ocas blancas y pucas, y las que se comercializan son la zapallo y ronches. La expectativa es similar a la del melloco, con el fin de conservar la variabilidad de estos tubérculos mediante los diferentes usos.

Uso por destino

Para entender el destino de los cultivares tradicionales de TAs en el agroecosistema “chacra del agricultor”, se realizó un seguimiento de la variabilidad que conserva

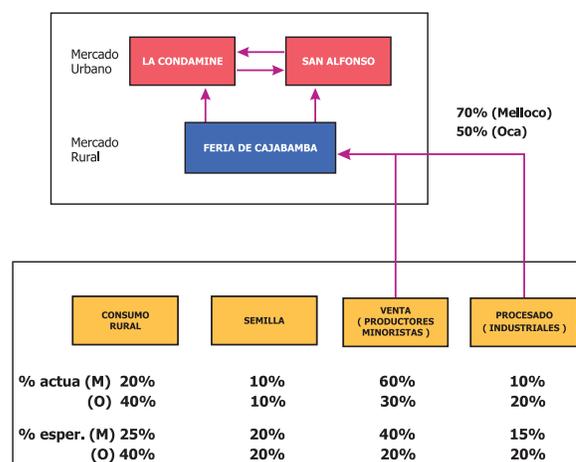


Figura 2.3. Destino de la producción de melloco y oca de tres comunidades del sector de Las Huaconas.

una familia campesina (familia Cuji) y, para ello, se realizaron encuestas en las diferentes épocas de movimiento de semilla, como son la siembra, la cosecha, la clasificación, el almacenamiento, el procesamiento, el consumo y la venta. El seguimiento de los cultivares primitivos en estas fases permite visualizar el uso que tienen éstos en la chacra del agricultor.

Para oca, se observó, durante el ciclo agrícola 2000, que la familia Cuji siembra en octubre 90 kg de cuatro tipos (zapallo, amarilla, blanca y colorada), además de otros cultivos como melloco, papa, cebada y cebolla colorada. La cosecha se realiza en julio, con rendimientos promedios de 1 600 kg, los cuales se destinan al consumo directo, a la venta y al procesamiento. La clasificación de los tubérculos cosechados consiste en separar los sanos y los no sanos (partidos y podridos); el 30% de sanos va directamente a la venta en las ferias locales; los no sanos se utilizan para dar de comer a animales menores, y los sanos ingresan a los silos verdeadores (construcciones utilizadas para brotación y endulzamiento de la oca); el 60% (amarilla, blanca y colorada) del tubérculo almacenado permanece endulzándose desde julio hasta agosto, y el 10% (zapallo), que se usa para semilla, de julio a octubre. En septiembre, una vez endulzado, se utiliza el 40% para el consumo en forma de sopas, frito y cariucho (oca cocinada y estofada), y el 20% se lo procesa como mermeladas o pasteles para la venta en comunidades vecinas, miembros de la comunidad y ferias locales (Figura 2.4).

El seguimiento de los cultivares de melloco en la misma chacra es muy similar a oca, con la diferencia que se siembra 45 kg de cuatro ecotipos (amarillo, caramelo,

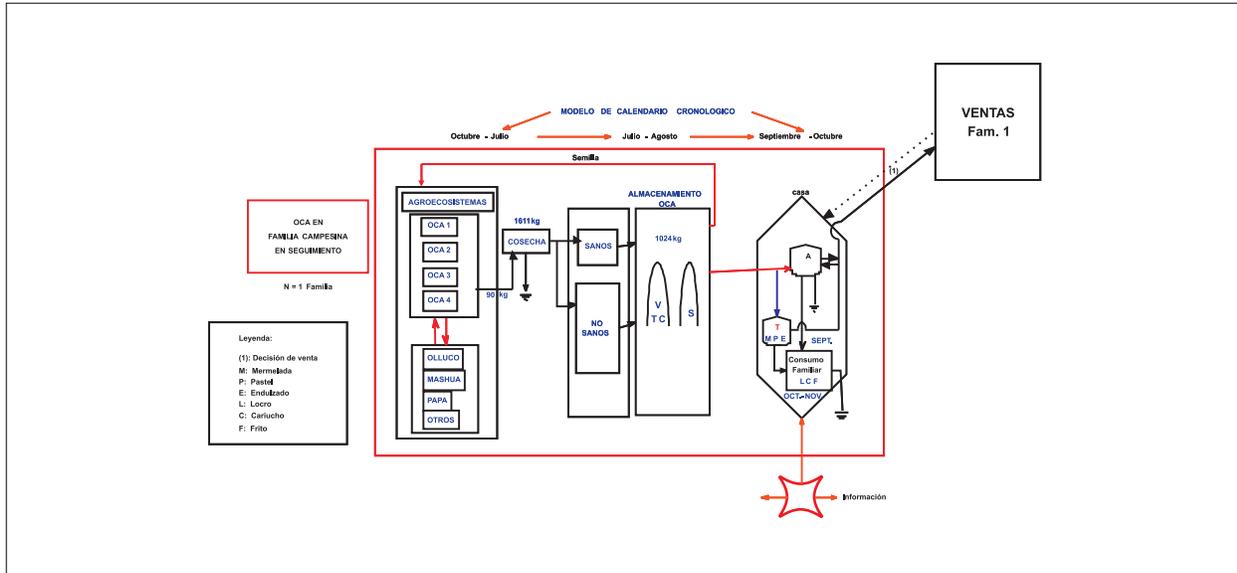


Figura 2.4. Destino de la variabilidad genética de oca en la chacra de agricultor en la Cooperativa Virgen de las Nieves durante el ciclo agrícola 2000.

gallo lulu y rosado), se cosecha un promedio de 750 kg, de los cuales el 10 % se utiliza para semilla y se lo almacena en silos verdeadores; del restante 90 %, el 60 % (caramelo, rosado y gallo lulu) se vende directamente entre julio y agosto en las ferias locales; 20 % (amarillo) se consume en sopas, ensaladas y cariucho, y el 10 % se procesa como espumilla y mermelada, que igualmente se vende entre los miembros de la comunidad, las comunidades vecinas y las ferias locales (Figura 2.5).

En la Figura 2.6 se observa los niveles de seguimiento en oca, desde el agroecosistema hasta el mercado. Esta metodología puede permitir la sostenibilidad mediante el uso de los cultivares primitivos conservados en las chacras de los campesinos, lo cual sería un importante paso hacia la preservación continua de los recursos fitogenéticos a nivel de comunidad, de cantón y de sociedad en general, lo que conlleva la recuperación de hábitos alimenticios que permitirán mejorar la calidad

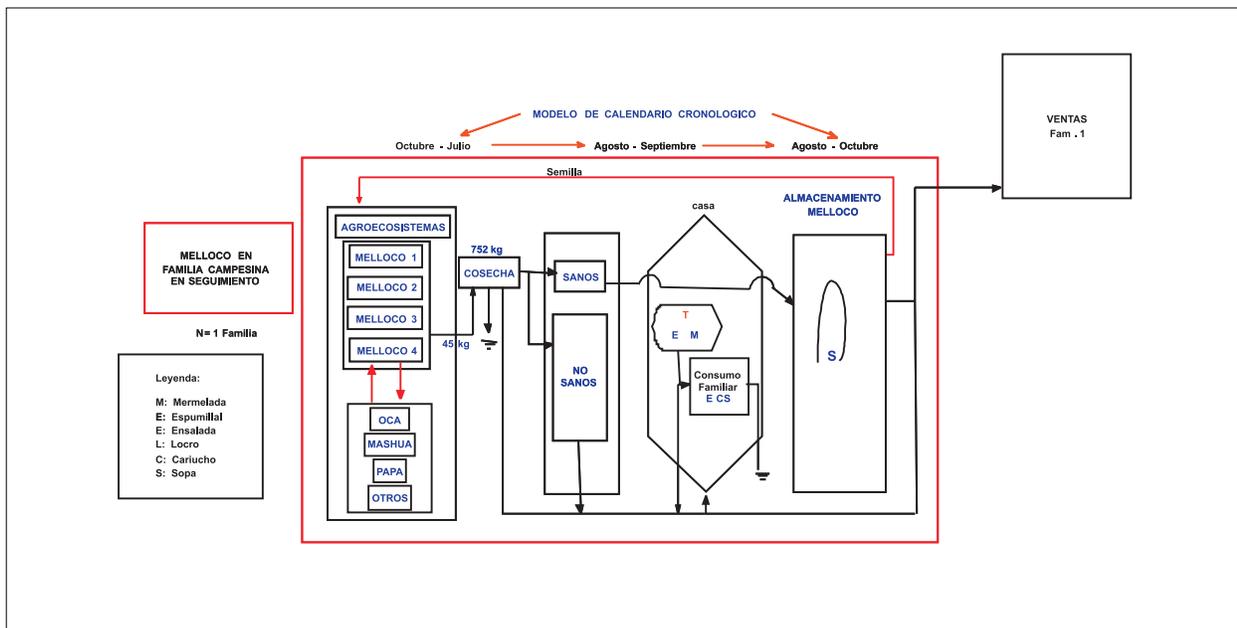


Figura 2.5. Destino de la variabilidad genética de melloco en la chacra de agricultor en la Cooperativa Virgen de las Nieves durante el ciclo agrícola 2000.

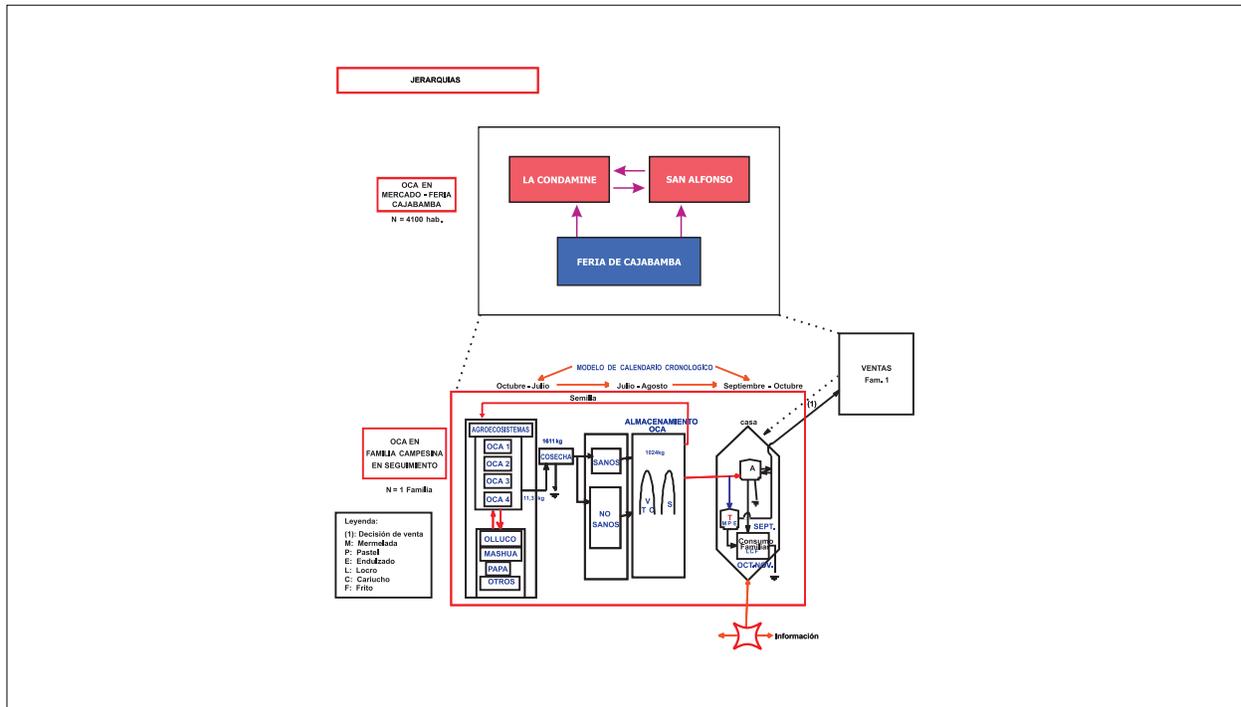


Figura 2.6. Jerarquía del destino de los cultivos tradicionales de oca, desde la chacra de agricultor hacia el mercado.

de vida del campesino con una adecuada dieta nutricional (Tapia, 2002).

Cuantificación de la erosión genética

Como se ha mencionado brevemente en párrafos anteriores, la erosión genética es la pérdida gradual de la diversidad entre o dentro de poblaciones de plantas (Castillo *et al.*, 1991). En el Ecuador, como en otros países de la región andina, el proceso de erosión genética o pérdida de la diversidad es intenso, debido a factores socioeconómicos como precios bajos de los productos, cambios en los hábitos alimenticios, simplificación de la producción agrícola a pocos cultivos, uso de cultivos con estrecha base genética susceptibles a plagas y enfermedades, vías de acceso inadecuadas, políticas desfavorables de comercialización, etc., lo que, con el paso de los años, causa un deterioro en el desarrollo artesanal de los cultivos. Este ha sido el esquema de cultivos autóctonos como oca, melloco, mashua, jícama, achira, miso y zanahoria blanca, los cuales, pese a que tienen demanda actual y potencial, se han convertido en cultivos secundarios y se observa una progresiva disminución del área cultivada. En la actualidad, no existen estudios sobre cuantificación de la erosión genética, y hay sólo aseveraciones de una acelerada erosión genética, pero sin datos cuantificados. A continuación se detalla un estudio realizado con TAs en tres provincias del Ecuador.

Cuantificación de la erosión genética en comunidades de las provincias de Chimborazo, Tungurahua y Cañar. Ante la evidencia de pérdida de variabilidad en tres TAs –melloco, oca y mashua–, se desarrolló un estudio piloto que tuvo como objetivo determinar, cualitativa y cuantitativamente, el grado de erosión genética en dichos cultivos. Para ello, se desarrolló una caracterización morfológica y molecular de estas especies, y paralelamente se aplicaron encuestas agro-socioeconómicas en comunidades de las provincias de Cañar, Chimborazo y Tungurahua.

El estudio incluyó una fase de campo y otra de laboratorio. Para la fase de campo, se recolectaron tubérculos de melloco, oca y mashua, que se identificaron con el código CEG (cuantificación de erosión genética) y se analizaron comparativamente con accesiones con código ECU, conservadas *ex situ* desde 1978 por el DENAREF, y que tenían, como parámetros comparativos, los descriptores de color principal, color secundario y forma del tubérculo. Para ello, se empleó la información disponible en la base de datos electrónica *ECUCOL* (Base de datos del DENAREF, que contiene información pasaporte de cada una de las accesiones) y el Catálogo de Recursos Genéticos de Raíces y Tubérculos Andinos (Tapia *et al.*, 1996). Se aplicaron, además, encuestas agro-socioeconómicas a 64 agricultores (30 de Cañar, 24 de Chimborazo y 10 de Tungurahua), con el fin de confirmar o no la hipótesis de que en las comunidades en estudio, durante los últimos

años, se ha perdido variabilidad en los tres tubérculos por efecto de diversos procesos de erosión genética.

Para el análisis estadístico de las encuestas, se tomaron en cuenta cuatro parámetros: agricultores que han dejado de sembrar sus cultivares, causas para el abandono del cultivo (falta de semillas en las zonas de

producción, factores ambientales, etc.), morfotipos que se han dejado de sembrar y morfotipos que se han perdido de los sitios de recolección, comparados con los que se encuentran descritos en la base de datos *ECUCOL*. Los factores por los cuales se han dejado de sembrar los TAs en tres provincias de la sierra ecuatoriana son presentados en la Figura 2.7.

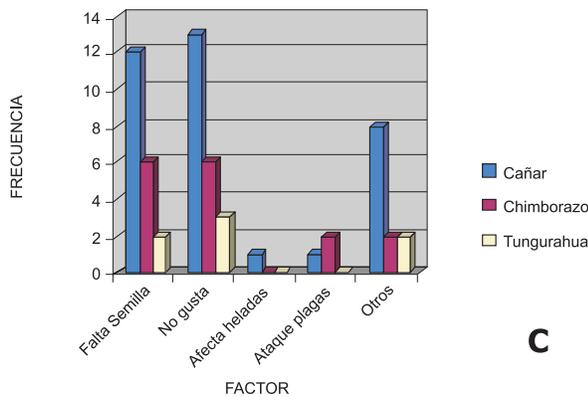
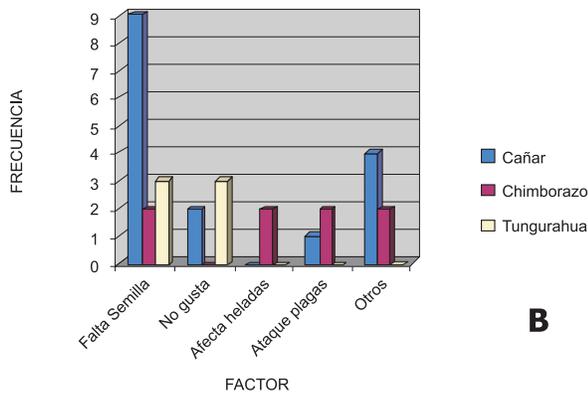
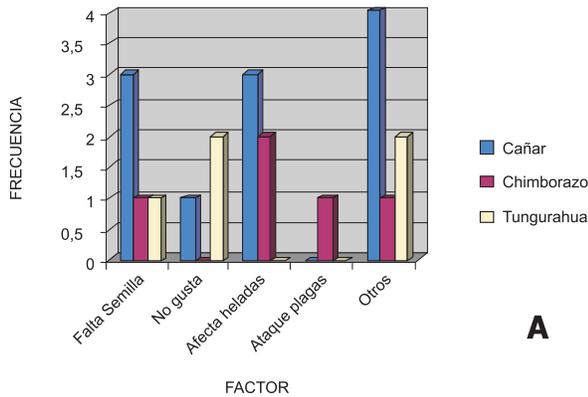


Figura 2.7. Frecuencia para factores por los que se ha dejado de cultivar **A.** melloco, **B.** oca, y **C.** mashua, en tres provincias de la sierra ecuatoriana. Los factores incluyen: 1. falta de semilla, 2. no gusta, 3. afectan las heladas, 4. ataque de plagas y 5. otros.

Los factores que se mencionan influenciaron la pérdida de variabilidad dentro de estos tres tubérculos. Es así que el melloco reflejó una disminución de la variabilidad, con un promedio de 37,3 %. Cañar fue la provincia con mayor erosión genética en este cultivo, con un promedio de 44,4 %. Para oca, el promedio de erosión genética que se registra en la fase de campo fue de 33,26 %, y fue Tungurahua la provincia que reportó el mayor porcentaje de pérdida de variabilidad al alcanzar un promedio de 41,7 %. Para mashua, se reportó un promedio de 46,5 % de pérdida de variabilidad, y es la provincia de Cañar (con 61,1 %) la que presentó mayor erosión en este tubérculo.

La segunda fase de este estudio se llevó a cabo en el Laboratorio de Biología Molecular del DENAREF, y se empleó la técnica del ADN Polimórfico Amplificado al Azar (RAPDs), a fin de comparar las accesiones ECU y CEG en busca de polimorfismos que determinen similitudes o diferencias genéticas entre los materiales conservados en fincas de agricultores (a nivel *in situ*) y aquellos conservados en el banco de germoplasma (a nivel *ex situ*).

En este sentido, las tres especies fueron amplificadas por medio de *primers* de secuencia arbitraria (10 bases), de los cuales siete amplificaron productos polimórficos para melloco, 10, para oca, y 12, para mashua. Estas amplificaciones dieron como resultado la generación de un mayor número de fragmentos polimórficos en las accesiones CEG (con respecto a sus homólogas ECU) en las tres especies, por lo cual es posible afirmar que se han generado nuevos alelos RAPD por eventos como sustitución de nucleótidos, eliminaciones, inserciones, inversiones, etc., durante el lapso transcurrido entre la colecta original y las realizadas para este estudio, y se pudo desechar “fallas” o efectos de PCR, como el apareamiento de bandas “fantasma” (Figura 2.8).

Las matrices binarias obtenidas del análisis molecular de melloco, oca y mashua se sometieron a un estudio de fenética por medio de las técnicas de Neighbour-Joining (NJ) y UPGMA al emplear el coeficiente de Jaccard. Además, se desarrolló un análisis filogenético mediante las técnicas de parsimonia, a fin de considerar el factor tiempo. Estas tres técnicas dieron como resultado dendrogramas que ubicaron a las accesiones

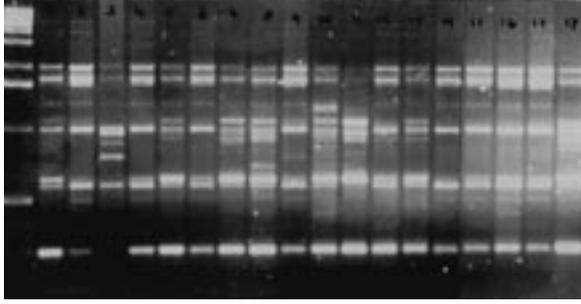


Figura 2.8. Ejemplo de un perfil RAPDs obtenido en gel de agarosa que indica los fragmentos polimorfismos (bandas) encontrados entre accesiones CEG (colectadas en campo de agricultores) con respecto a sus homólogos ECU (conservadas *ex situ* en DENAREF-INIAP).

ECU y CEG como erosionadas en la modalidad de similares, semi-distantes o distantes genética y filogenéticamente.

Para la interpretación final de la fase de laboratorio, se priorizó el trabajo con los resultados obtenidos por medio de la técnica de NJ, ya que ésta, además de establecer el análisis de distancias genéticas, incluye en su proceso el factor tiempo. En este contexto, el melloco presentó seis accesiones que han sufrido erosión genética con respecto a las 28 ECU analizadas (lo que da un 21,4 % de pérdida de variabilidad), siete entradas no erosionadas y 15 con flujo genético. En el caso de oca se reportaron 11 accesiones erosionadas de las 24 ECU analizadas (lo que dió un porcentaje de 45,8 % de pérdida de variabilidad), y 13 accesiones que han sufrido flujo genético, sin encontrarse accesiones no erosionadas. En mashua existieron 10 accesiones erosionadas de las 24 estudiadas (con un resultado de 43,4 % de pérdida de variabilidad), dos accesiones no erosionadas y dos que han sufrido flujo genético.

En términos generales, por especie, mashua alcanzó los niveles más altos de pérdida de variabilidad, con un 24,77 % como promedio de erosión en las fases de campo y de laboratorio, al tomar en cuenta la variabilidad total reportada en el Catálogo de Germoplasma de RTAs (Tapia *et al.*, 1996). La provincia de Cañar reportó el mayor porcentaje de erosión en los tres tubérculos, con un promedio de 46 % en función de los datos proporcionados por los agricultores en las encuestas, caracterización morfológica y base de datos.

Finalmente, la detección de un mayor número de polimorfismos RAPDs en las tres especies conservadas en fincas de agricultores (codificadas como CEG), en relación a los materiales conservados *ex situ* (ECU), confirma las teorías sobre la naturaleza de la conservación *in situ*. Esta metodología permite la continuación de los procesos evolutivos bajo la acción

de la selección natural y antropogénica, mecanismos responsables de crear y enriquecer la diversidad genética en los ecosistemas.

Conservación *ex situ* de la Biodiversidad de RTAs

Desde 1993 hasta 1997 (primera fase), el DENAREF ejecutó el Subproyecto “Manejo Integral de Recursos Fitogenéticos de RTAs en Ecuador”, mediante el cual se consolidó una colección de 564 entradas de germoplasma altoandino. Dicha colección se manejó a través de metodologías *ex situ*, como jardines de conservación en campo y duplicados de seguridad *in vitro*.

Conservación *ex situ* de recursos genéticos de plantas y sus ventajas.

“Conservación *ex situ* es la remoción de germoplasma de los lugares donde han desarrollado sus características para ser conservado como semillas en banco de semillas, en condiciones *in vitro*, en colecciones de campo o en jardines botánicos”

Ventajas:

- Fácil identificación y caracterización de materiales conservados en condiciones *ex situ*.
- Fácil acceso a los materiales conservados en este sistema de conservación por fitomejoradores, científicos, agricultores y demás usuarios.
- La posibilidad de pérdida de la diversidad genética mantenida es baja, si las condiciones y el manejo son adecuados. (Jarvis *et al.*, 2000)

Durante la segunda fase del Programa Colaborativo, la línea de acción ejecutada a través del DENAREF (*Conservación Ex Situ de la Biodiversidad de RTAs en Ecuador*) ha continuado con el mantenimiento de esta importante colección; ha complementado los trabajos de caracterización del germoplasma hacia la definición de morfotipos, y ha afinado las técnicas de conservación y tuberización *in vitro*. Mención especial merece la interacción con las actividades de la línea de acción *Conservación In situ de RTAs* y con las demás líneas de acción. Dichas interacciones constituyen el pilar fundamental para racionalizar las colecciones *ex situ* y canalizar su salida al campo, a fin de contribuir a mejorar las condiciones de vida de los pequeños agricultores y enfrentar las problemas de la ecoregión andina.

Igualmente, la promoción de RTAs y la sociabilización de los resultados ha sido un proceso permanente a través de publicaciones, la participación en exposiciones, seminarios, talleres y congresos, entre otros eventos.

A continuación se describen los logros obtenidos durante estos dos períodos, en las áreas de conservación, caracterización y documentación del germoplasma de RTAs.

Actividades para la conservación *ex situ* de RTAs

Exploración y recolección de germoplasma

Como hemos analizado anteriormente, existe el peligro de pérdida de diversidad de especies cultivadas en campo de agricultores, o también la pérdida de especies silvestres relacionadas a las mismas en ecosistemas frágiles o desprotegidos. Es por esto que se realizan los procesos de colecta de germoplasma como una etapa inicial para constituir los bancos de genes en condiciones *ex situ*. Bajo este principio, los esfuerzos fueron canalizados hacia la exploración y la recolección de raíces y tubérculos andinos, y se concentraron en áreas no cubiertas por misiones anteriores previas al inicio del proyecto en la región interandina del Ecuador. Los datos pasaporte y la fotodocumentación de las colecciones preexistentes permitieron definir las nuevas zonas de vida y nichos ecológicos para este propósito. Gracias a estos esfuerzos suplementarios, se lograron coleccionar un total de 271 nuevas entradas de RTAs durante el período desde 1993 hasta 1997 (Cuadro 2.9).

Este germoplasma coleccionado completó un número de 564 entradas de RTAs, las cuales se constituyeron en la

Cuadro 2.9. Número de entradas de diferentes especies de RTAs obtenidas en recolecciones suplementarias, en el período 1993-1997

Nombre común	Cultivadas	Silvestres	Total
Melloco	95		95
Oca	69	13	82
Mashua	20	6	26
Zanahoria blanca	18	21	39
Jícama	8	1	9
Achira	17		17
Miso	1		1
Papa	2		2
Total	230	41	271

fueron fuente de genes para estudios de todas las Líneas de Acción.

En vista de que las RTAs han sido propagadas vegetativamente por los agricultores a través del tiempo, la conservación *ex situ* a través de semilla sexual presenta algunas limitaciones. Por lo tanto, los materiales de RTAs coleccionados en este proyecto han sido conservados mediante colecciones de campo y mediante cultivo de tejidos *in vitro*.

Colecciones de campo. Las colecciones de campo con 421 entradas de melloco, oca, mashua, zanahoria blanca, jícama, achira y miso se manejaron en la Estación Experimental Santa Catalina (EESC) de INIAP (provincia de Pichincha, cantón Mejía, parroquia Cutuglahua), ubicada en el límite fitogeográfico Ceja Andina. Las condiciones agroclimáticas del sitio experimental para conservación fueron: temperatura media anual: 11,6 °C; humedad relativa: 79 %; precipitación anual: 1 908,7 mm; latitud: 00° 22' S; longitud: 78° 33' W; altitud: 3 050 msnm. Es importante mencionar que el resto de material, hasta completar 564 entradas, se encuentra en invernadero en la misma EE, pues son materiales con escaso material reproductivo y que necesitan cuidado especial para evitar su pérdida.

Para el mantenimiento de las colecciones de RTAs se realizaron rotaciones de cultivos año tras año. Previas a las siembras, se realizaron dos labores del suelo (cruza y surcado). Las distancias de siembra para las diversas especies fueron similares en todos los ciclos para facilitar el manejo agronómico y el registro de descriptores morfológicos (Ver Caracterización y Evaluación de RTAs). La longitud del surco fue de 5,0 m, y el espaciamiento entre surcos, de 1,1 m, con distancias entre plantas de 0,4 m para tubérculos y 0,5 m para zanahoria blanca, jícama, miso y achira. Bajo estas condiciones, el número de plantas por entrada fue de 12 plantas por surco, en el caso de las especies tuberosas, y de 10 plantas para el manejo de las entradas correspondientes a raíces. Las labores culturales se realizaron de acuerdo a las necesidades del cultivo; generalmente se efectuaron tres deshierbes, un medio aporque y un aporque. Los problemas fitopatológicos limitantes que se detectaron durante varios de los ciclos de conservación fueron "cutzo" (*Barotheus* sp.) y roya (*Puccinia oxalidis*) en oca. Inmediatamente después de la cosecha, en el caso de melloco, oca y mashua, se seleccionaron al azar aproximadamente 2 kg de tubérculos-semilla con alta sanidad y se almacenaron en cuarto frío (11 °C, luz difusa) hasta la siembra del siguiente ciclo agrícola a nivel de campo experimental. En el caso de las raíces, después de la cosecha se prepararon propágulos (colinos) para su establecimiento en campo.

Cuadro 2.10. Número de entradas de RTAs conservadas en campo (hasta enero del 2003)

Especie	Accesiones
Melloco	137
Ocas	101
Mashua	58
Zanahoria blanca	53
Jícama	31
Achira	33
Miso	8
Total	421

El Cuadro 2.10 presenta el número de entradas conservadas en condiciones *ex situ* como colecciones de campo. El mantenimiento de las colecciones de campo de RTAs es un proceso permanente y que debe continuarse para fomentar la utilización de los mismos.

Las colecciones de campo de RTAs conservadas *ex situ* por el DENAREF se han constituido en fuente de promoción de los RTAs mediante innumerables visitas por parte de estudiantes secundarios, universitarios, científicos y agricultores, en general.

La Figura 2.9, presenta la visita realizada por agricultores de las Huaconas a las colecciones de RTAs, en marzo del 2002.

Colecciones *in vitro*. La estrategia de conservación *in vitro* de RTAs apuntó al establecimiento de duplicados



Figura 2.9. Visita de los agricultores del sector Las Huaconas en Chimborazo, Ecuador, a las colecciones de RTAs conservadas *ex situ* en el DENAREF, Estación Experimental Santa Catalina de INIAP.

de seguridad representativos de las colecciones, ante la posibilidad de pérdidas en el campo por factores bióticos y abióticos. Durante las dos fases del proyecto, se establecieron protocolos para introducción, micropropagación y conservación de RTAs. En el recuadro adjunto se detallan los protocolos establecidos en el DENAREF para la introducción, la propagación y la conservación *in vitro* de las raíces y los tubérculos andinos incluidos en el proyecto.

El DENAREF dispone actualmente de 564 entradas en condiciones *in vitro*, que corresponden a un duplicado de seguridad de las colecciones de RTAs conservadas en campo. Estos materiales se encuentran tanto en

Protocolos para introducción, propagación y conservación *in vitro* de RTAs

- Para tubérculos andinos:** La *colección satélite* (grupo de muestras representativas) de **melloco** y **oca** se conservó en cuarto frío a una temperatura de 8 ± 2 °C y 16 h de fotoperíodo, en el siguiente medio de cultivo: MS (4,3 g/l) + sorbitol (20 g/l) + sucrosa (20 g/l) + agar (7,5 g/l). En el caso de **mashua**, se empleó un medio de conservación que comprendió sales de MS, manitol (40 g/l), sucrosa (30 g/l) y agar (7,5 g/l).
- Para raíces andinas:** El medio de cultivo para **jícama** fue MS (4,3 g/l) + ácido giberélico (2 mg/l) + pantotenato de calcio (2 mg/l) + ANA (0,5 mg/l) + sucrosa (30 g/l) + agar (7 g/l). El medio de cultivo para el manejo de **miso** a corto plazo incluyó sales de MS (4,3 g/l), a las que se añadió ácido giberélico (0,25 g/l), putrescina (10 mg/l), sucrosa (20 g/l) y agar (7 g/l). Para **zanahoria blanca**, los meristemas se aislaron y se sembraron en un balance de sales de MS (4,3 g/l) + ácido giberélico (0,25 mg/l) + sucrosa (30 g/l) + agar (6 g/l). Posteriormente, se incubaron a 18 ± 2 °C con 2 000 lux y una humedad relativa aproximada del 70 %. El medio de cultivo en esta fase fue MS o Gamborg B5 + sucrosa (30 g/l) + agar (6 g/l) + BAP (5,6 mg/l) + ANA (0,05 mg/l). Los tubos de ensayo (18 x 150 mm) se colocaron bajo las mismas condiciones ambientales empleadas para el desarrollo de meristemas. Para la micropropagación de zanahoria blanca, se probaron dos medios de cultivo, cuya formulación fue: *Medio 1* (MS + sucrosa 30 g/l + agar 6 g/l + BAP 5,6 mg/l + ANA 0,05 mg/l), y *Medio 2* (sales de Gamborg B5 + sucrosa 30 g/l + agar 7 g/l + ANA 0,1 mg/l + BAP 0,2 mg/l; pH final 5,5).

cuarto de cultivo (18 ± 2 °C) como en cuarto de conservación (7 ± 2 °C). El detalle de accesiones por especie se aprecia en el Cuadro 2.11; en la Figura 2.10 se presentan fotografías del cuarto de conservación *in vitro* y de las especies zanahoria blanca, melloco y mashua conservados en tubos de ensayo.

Tuberización *in vitro*. Las pruebas de tuberización *in vitro* en melloco, oca y mashua se realizaron con el fin

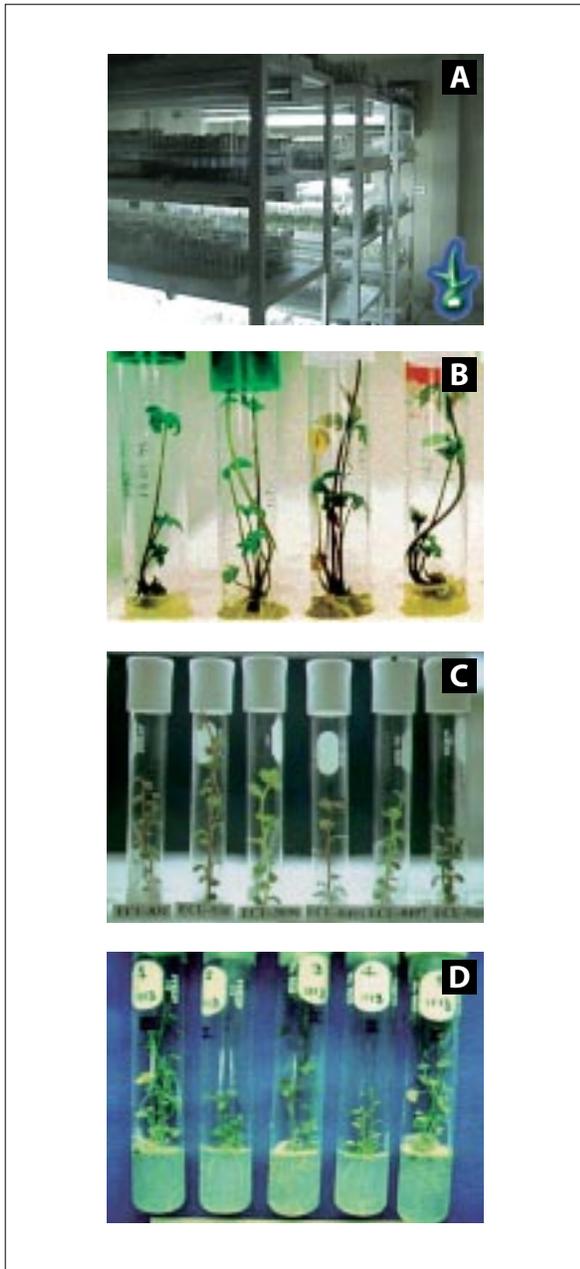


Figura 2.10 Conservación *in vitro* de RTAs en el DENAREF, Estación Experimental Santa Catalina de INIAP. **A.** Cuarto de conservación de RTAs (7 ± 2 °C). **B.** Zanahoria blanca *in vitro*. **C.** Melloco *in vitro*. **D.** Mashua *in vitro*.

de contar con una metodología eficiente para el intercambio de germoplasma y la conservación del mismo. Mediante este sistema se obtuvieron materiales de RTAs disponibles durante meses, a más de economía de espacio y peso para conservación e intercambio de germoplasma, como mencionan Schilde-Rentschler y Schmiediche (1984). Los protocolos establecidos para tuberización *in vitro* en RTAs se incluyen en el recuadro adjunto. Las Figuras 2.11 y 2.12 presentan resultados de tuberización *in vitro* para varias accesiones de la colección nacional de melloco.

Caracterización de las colecciones de RTAs del INIAP

La caracterización de germoplasma es un proceso importante para conocer las características del material conservado. Este conocimiento permite fomentar el uso de estos materiales por los diferentes usuarios, sean agricultores, mejoradores o científicos, entre otros. El concepto de caracterización de germoplasma, una de las actividades fundamentales en el manejo de los recursos fitogenéticos.

Cuadro 2.11. Duplicados *in vitro* de las diferentes especies de RTAs (hasta enero de 2003)

Especie	Número de entradas
Melloco	238
Oca	135
Mashua	69
Jícama	41
Miso	10
Achira	22
Zanahoria blanca	49
Total	564



Figura 2.11. Tuberización *in vitro* de varias accesiones de melloco conservadas en condiciones *ex situ*.

Concepto de caracterización de germoplasma

La caracterización es la toma de datos mayormente cualitativos, altamente heredables para describir y así diferenciar las muestras o entradas de una colección de germoplasma; se toman durante la multiplicación o refrescamiento de las accesiones (Castillo *et al.*, 1991).

Para la caracterización de germoplasma de RTAs, el DENAREF ha empleado diferentes metodologías para este propósito durante todo el período de ejecución del proyecto.

Caracterización morfo-agronómica en campo. Los ensayos de caracterización de RTAs se instalaron en la Estación Experimental Santa Catalina de INIAP. El número de descriptores varió para cada especie; en algunos casos, se utilizaron descriptores previamente definidos a nivel internacional, o se elaboraron listas preliminares



Figura 2.12. Tuberización *in vitro* de melloco entrada ECU-909. Esta entrada corresponde al morfotipo amarillo alargado con manchas rosadas (provincia de Loja), en el que se obtuvo un rendimiento de 6 g por unidad experimental.

de descriptores que fueron posteriormente afinadas durante el proceso de toma de datos. Para el registro de datos, durante un ciclo del cultivo, cada descriptor fue aplicado en 10 plantas por entrada.

Caracterización isoenzimática. La detección de isoenzimas mediante electroforesis comprende la preparación y el almacenamiento de extractos, preparación de geles de almidón, la corrida electroforética, el proceso mismo de detección de isoenzimas mediante técnicas de tinción histoquímicas y el análisis isoenzimático, en el cual se definen los patrones observados para cada isoenzima. Finalmente, se identifica el patrón que presenta cada accesión y se codifica en una base de datos.

Caracterización molecular. Se empleó la técnica RAPDs (*Random Amplified Polymorphism DNA* - Polimorfismo de ADN amplificado al azar), que es una variante de la técnica de amplificación de ADN (PCR), debido a que no requiere un conocimiento previo del genoma de estudio y es de relativamente fácil implementación, en comparación con otras técnicas moleculares. Comprende una etapa de extracción de ADN genómico, para lo cual es necesario determinar el protocolo más eficiente respecto a calidad y cantidad de ADN obtenido. Posteriormente, se realiza un *screening* con fines de detectar *primers* (secuencias de nucleótidos cortas sintetizadas artificialmente y disponibles en el mercado), útiles para la detección de polimorfismo en cada una de las colecciones. Una vez identificados estos *primers*, se amplifican en toda la colección. Finalmente, cada polimorfismo constituye una variable que es registrada por ausencia o presencia en cada entrada y se construye una base de datos.

Análisis estadístico. Datos morfológicos: Los datos se ingresaron en una matriz con formato *EXCEL* y la estimación del parecido taxonómico de los caracteres morfológicos se realizó mediante el coeficiente de distancia de Gower (1967), del software *SAS*, versión 6.12 (*SAS Institute*, 1990). La estructura taxonómica de las accesiones se analizó por medio del agrupamiento jerárquico de Ward (1963). La elección del número de grupos de accesiones se hizo con los criterios de Pseudo F y Pseudo t₂, y se utilizó el procedimiento *CLUSTER*. La determinación del valor discriminante entre grupos para caracteres cuantitativos se determinó a través del índice "D" de Engels (1983), al utilizar las medias de los grupos en las comparaciones múltiples de Duncan (1975). Para los caracteres cualitativos, el valor discriminante para separar grupos se estimó con base en el análisis de frecuencias y las estadísticas de Cramer (V) (Kendall y Stuart, 1979), contingencia (P) y Chi cuadrado (X²) (Cochran, 1954).

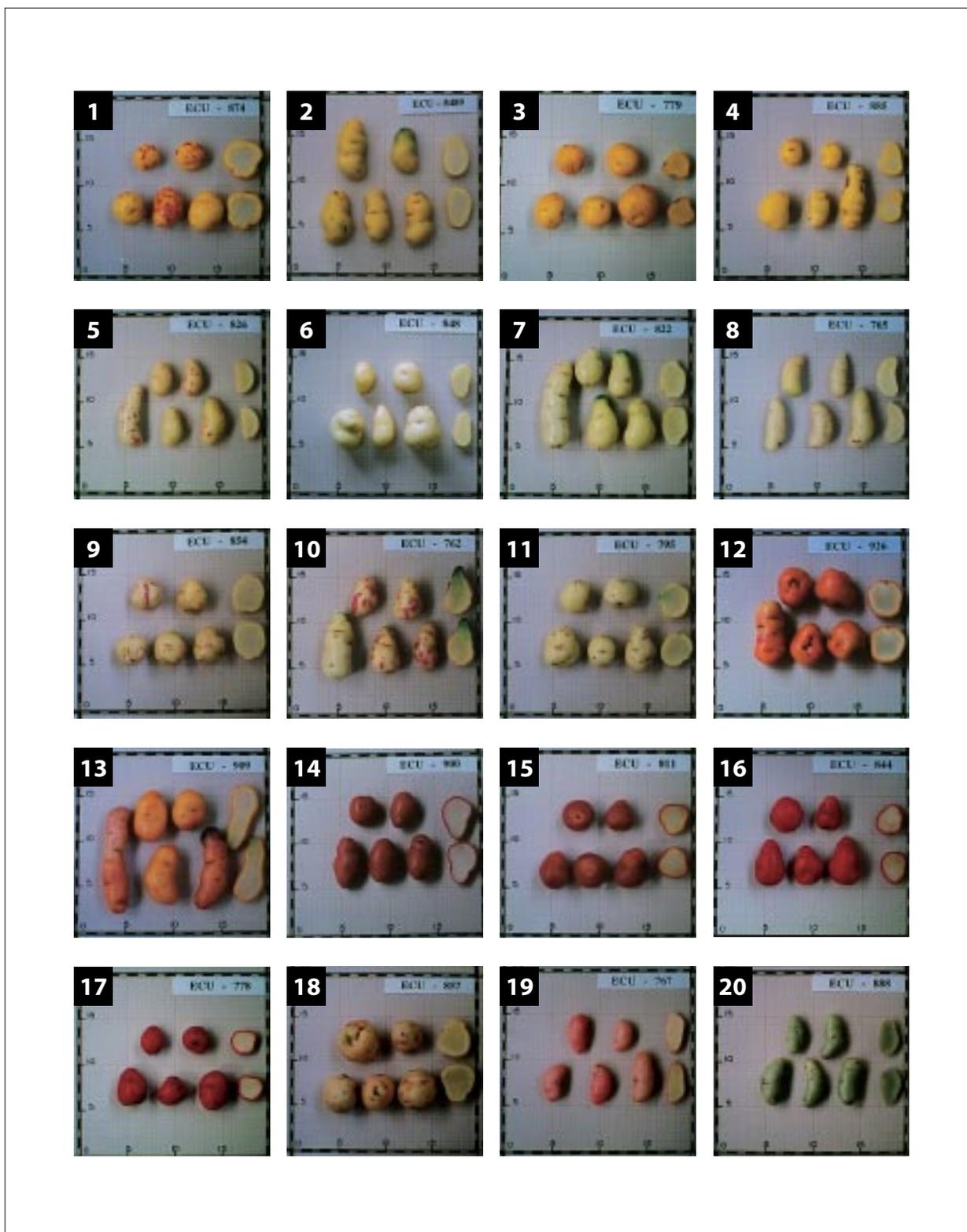


Figura 2.13. Morfotipos representativos de la colección nacional de melloco en función de color principal, color secundario y forma del tubérculo (Mazón y Castillo, 1997). En el recuadro superior izquierdo de cada fotografía, se incluye el número del morfotipo identificado. **1.** Amarillo-rojo-redondo; **2.** Amarillo-rojo-alargado; **3.** Amarillo-redondo; **4.** Amarillo-alargado; **5.** Blanco-rojo-alargado; **6.** Blanco-redondo; **7.** Blanco-alargado; **8.** Crema-alargado; **9.** Crema-rojo-redondo; **10.** Crema-rojo-alargado; **11.** Crema-redondo; **12.** Naranja-redondo; **13.** Naranja-alargado; **14.** Rojo-alargado; **15.** Rojo-amarillo-redondo; **16.** Rojo-amarillo-alargado; **17.** Rojo-redondo; **18.** Rosado-redondo; **19.** Rosado-alargado; **20.** Verde alargado.

Datos bioquímicos y moleculares: La presencia y ausencia de cada polimorfismo fue determinada por inspección y se registró en una matriz de datos binarios. Mediante el programa estadístico NTSYS-PC ver. 1.8 (*Applied Biostatistics Inc.*, 1994), se calculó la similitud genética entre cada par de entradas, mediante el coeficiente SMC (Simple Match Coefficient) o de Jaccard (J), de acuerdo a la naturaleza genética del marcador. Mediante el método de ligamiento promedio (UPGMA), se visualizó un fenograma que es un diagrama arborescente que muestra las relaciones genéticas entre el material analizado. Además, a partir de la misma matriz de similitud se realizó un análisis multivariado de Coordenadas Principales (PCO), que es un método que posibilita la representación de variables e individuos en un mismo campo de proyección y permite estructurar la diversidad genética. Finalmente, se calculó la correlación entre datos morfológicos y moleculares o isoenzimáticos.

Descripción de las colecciones conservadas *ex situ*. Durante estos años del proyecto, se ha logrado caracterizar y evaluar la totalidad de las colecciones de oca, melloco, mashua, jícama, zanahoria blanca, miso y achira mantenidas en el DENAREF. El objetivo ha sido formar colecciones nucleares con alta representatividad genética, para potenciar el uso de RTAs por mejoradores y agricultores (Ver Conservación *in situ* de RTAs).

Caracterización de la colección de melloco. A partir de los trabajos de Hermann y Del Río (1989), se estudió la variabilidad de la colección nacional de melloco y la identificación de duplicados. Se utilizó el sistema de electroforesis de isoenzimas. Se probaron cinco sistemas de corrida (tampón de electrodo y de gel), cuatro tampones de extracción y 16 sistemas enzimáticos (DENAREF, 1997). Para el estudio, se utilizaron 239 entradas de la colección nacional de melloco. Se efectuaron tinciones para Malato Dehidrogenasa (MDH), Fosfogluoisomerasa (PGI) y Fosfoglucomutasa (PGM), pero, debido a la poca definición de bandas en PGI y PGM, los análisis se efectuaron con MDH, que presentó seis patrones isoenzimáticos. En función de los descriptores color principal del tubérculo y forma del tubérculo, la colección de melloco se agrupó en 20 morfotipos (Figura 2.13). Al correlacionar los morfotipos de cada una de las colecciones con los patrones de MDH, se obtuvieron 55 grupos, lo que significaría el 23% de la variabilidad.

Caracterización de la colección de mashua. En el estudio desarrollado por Monteros (1996), se identificó la variabilidad genética existente en las 78 entradas de mashua del Banco de Germoplasma de INIAP, y se utilizaron descriptores morfológicos, agronómicos y el

método de patrones electroforéticos de isoenzimas. Para las características morfológicas y agronómicas, los análisis estadísticos abarcaron dos fases: la primera, sobre la base de rangos, frecuencias y porcentajes, y la segunda, al utilizar análisis multivariados: análisis de agrupamiento y componentes principales. Para la información isoenzimática, se utilizó el análisis de agrupamiento. En la evaluación en campo, se utilizaron 44 descriptores, tanto agronómicos como morfológicos, y la colección presentó una amplia variabilidad para los mismos. En laboratorio, el sistema de corrida Histidina - citrato, pH 7,0 fue adecuado para revelar los sistemas isoenzimáticos PGM (Fosfoglucomatasa) y MDH (Malato dehidrogenasa). Se encontró polimorfismo isoenzimático para las enzimas MDH (en la cual se identificaron tres zimotipos) y PGM (nueve zimotipos), con los cuales se discriminó a cada una de las 78 entradas de mashua.

En función de la información obtenida, la colección fue agrupada en seis grupos principales y 15 subgrupos, definidos por caracteres morfológicos y agronómicos particulares (Figura 2.14). La información isoenzimática determinó 10 grupos principales dentro de la colección de mashua.

A continuación se incluye la descripción de los grupos y subgrupos de esta colección:

Grupo A. Es un grupo que se integra por 19 entradas, las cuales se caracterizan, principalmente, por presentar el menor promedio para longitud del pecíolo (8,1 cm) y la menor relación largo/diámetro del tubérculo (2,9) dentro de los seis grupos.

Subgrupo A1: conformado por las entradas ECU-1 084, ECU-1 096 y ECU-1 113, las cuales se caracterizan por tener la menor longitud de hoja (3,0 cm), al igual que el ancho de la hoja (4,1 cm) de todos los subgrupos.

Subgrupo A2: contiene a las entradas ECU-1 101, ECU-8 567, ECU-1 128, ECU-1 102, ECU-1 105 y ECU-1 135, caracterizadas por poseer un tipo de planta semierecta y grado de floración abundante.

Subgrupo A3: con las entradas ECU-1 086, ECU-1 130, ECU-8 558, ECU-1 087, ECU-1 089 y ECU-1 095, cuya característica es poseer color amarillo claro como primario de la pulpa del tubérculo.

Subgrupo A4: este subgrupo abarca a las entradas ECU-1 085 y ECU-1 099, las cuales presentan escasa floración, además del menor promedio entre subgrupos para longitud del pecíolo (6,0 cm).

Subgrupo A5: conformado por las entradas ECU-1 106 y ECU-1 107, cuyas características son menor número de tubérculos por planta (24,5) y el

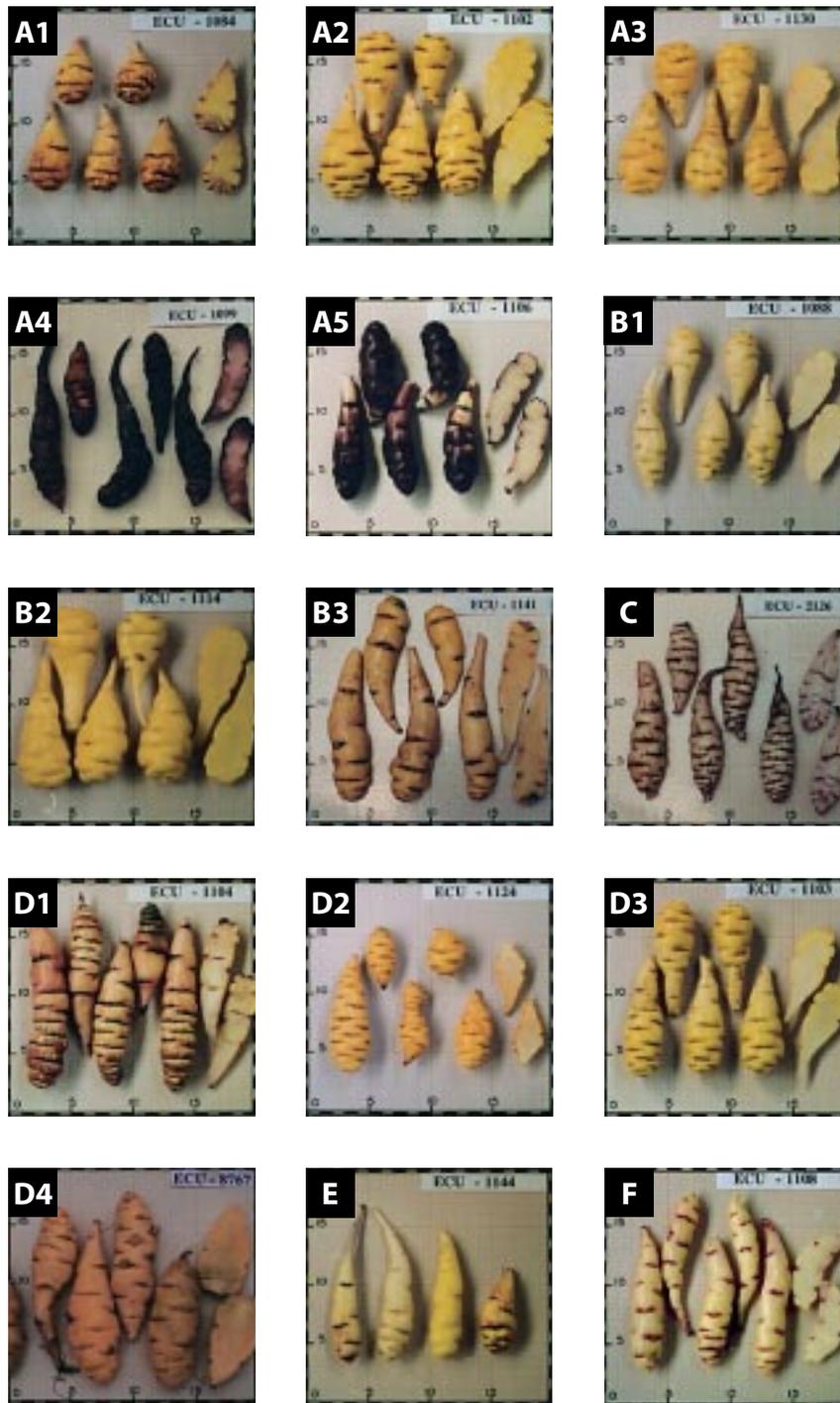


Figura 2.14. Morfotipos representativos de la colección nacional de mashua sobre la base de los datos morfoagronómicos de 44 descriptores tomados en campo (Monteros, 1996). En el recuadro superior izquierdo de cada fotografía, se incluye el número de grupo o subgrupo identificado.

menor rendimiento en kg/planta (0,65) dentro de todos los subgrupos.

Grupo B. Formado por 25 entradas, las cuales presentan el menor promedio para número de ojos por tubérculo (12,6), mayor número de días a la emergencia (31 días) y el mayor número de días a la tuberización (156 días) dentro de los grupos.

Subgrupo B1: con las entradas ECU-1 088, ECU-1 092, ECU-8 769, ECU-1 090, ECU-1 138, ECU-1 091, ECU-1 093, ECU-1 094 y ECU-1 116, que presenta, en general, valores intermedios para los descriptores cuantitativos entre subgrupos.

Subgrupo B2: agrupa a ECU-1 098, ECU-1 114, ECU-1 122, ECU-1 133, ECU-8 556, ECU-1 140, ECU-8 766, ECU-8 566 y ECU-8 770, las cuales presentan el mayor número de días a la floración (176 días) dentro de los subgrupos.

Subgrupo B3: contiene a las entradas ECU-1 115, ECU-1 141, ECU-1 145, ECU-1 139, ECU-1 147, ECU-8 557 y ECU-8 561, las cuales presentan el mayor promedio para el descriptor número de días a la tuberización (163 días) entre los subgrupos.

Grupo C. Está representado por las entradas ECU-1 100 y ECU-2 126. Estas entradas se caracterizaron por la ausencia de floración; además, presentan los menores promedios entre grupos para longitud de planta (45,2 cm), longitud de hoja (3,2 cm) y ancho de la hoja (4,2 cm). También se determinaron los menores promedios para los descriptores: número de días a la tuberización (121), número de tubérculos por planta (30) y rendimiento en kg/planta (0,95).

Grupo D. Contiene 26 entradas, que se caracterizan porque presentan el mayor promedio entre grupos para rendimiento (2,04 kg/planta).

Subgrupo D1: con las entradas ECU-1 097, ECU-1 137, ECU-1 104, ECU-8 562, ECU-8 555 y ECU-8 563, cuyas características son color oliva en la nervadura del haz y color amarillo claro como primario de la pulpa del tubérculo.

Subgrupo D2: contiene a ECU-1 124, ECU-1 129 y ECU-8 565, las cuales presentaron el mayor valor para el ancho de la hoja (5,9 cm) y el menor número de días a la tuberización (119 días) entre subgrupos.

Subgrupo D3: con las entradas ECU-1 103, ECU-1 127, ECU-1 132, ECU-8 564, ECU-8 771, ECU-8 773, ECU-1 120, ECU-8 560, ECU-8 568 y ECU-1 131, las que presentan alta cobertura del suelo.

Subgrupo D4: concentra a ECU-8 767, ECU-8 768 y ECU-8 772, cuyas características son mediana cobertura del suelo, mayores valores para longitud

del pecíolo (12,67 cm), número de días a la emergencia (48 días), número de días a la madurez fisiológica (275 días), rendimiento en kg/planta (2,6 kg) y bajo daño de granizo entre subgrupos.

Grupo E. Representado por ECU-1 144, única entrada de color secundario en el envés de la hoja; además, presenta los mayores valores para longitud de la hoja (4,7 cm), ancho de la hoja (5,8 cm), longitud del pecíolo (12,2 cm), y los menores valores entre grupos para número de días a la emergencia (818 días), número de días a la floración (129 días) y número de días a la madurez (200 días), así como el mayor número de tubérculos por planta (114).

Grupo F. Con las entradas ECU-1 108, ECU-1 109, ECU-8 552, ECU-8 553 y ECU-8 554, las cuales presentan una alta cobertura del suelo, abundante floración, color primario del la piel del tubérculo (amarillo pálido) y manchas en los ojos, salvo ECU-8 552, cuyas formas de color secundario son puntos y manchas en los ojos. Además, este grupo se caracteriza porque presenta los mayores promedios entre grupos para longitud de planta (165 cm), relación L/D del tubérculo (7,7) y número de ojos por tubérculo (18,2).

En un estudio complementario realizado por Morillo en 2002, se incluyó una caracterización molecular mediante la utilización de RAPDs. En ésta, se evaluaron 55 polimorfismos, que representan un 35 % de los productos obtenidos, con 11 *primers* o partidores identificados como polimórficos del *screening* de 180 *primers*. La cantidad de polimorfismos obtenidos refleja una amplia variabilidad genética dentro de la colección de mashua, lo que concuerda con los resultados obtenidos por las isoenzimas. El fenograma obtenido mostró dos grupos divergentes de germoplasma, con sólo un 25 % de similitud genética. El primer gran grupo comprende siete subgrupos, mientras que un segundo grupo comprende cinco accesiones de tubérculo amarillo provenientes del centro del país y una accesión boliviana. Los análisis de agrupamiento y multivariado mostraron una variación continua en el germoplasma estudiado, lo que demuestra una débil estructuración genética de la colección. La inexistencia de duplicados en la colección de mashua corroboran que la mashua, a pesar de propagarse vegetativamente, presenta una amplia base genética.

Caracterización de la colección de oca. El estudio presentado por Piedra (2002), permitió ampliar los conocimientos de la variabilidad genética de la oca en el Ecuador, lo que facilitó de esta manera la identificación de materiales con características deseables, tales como alta producción, precocidad y resistencia a patógenos;

además, de otras características taxonómicas útiles para los programas de mejoramiento, como el tipo de heterostilia y el hábito de crecimiento, entre otras.

A partir de la caracterización morfológica, se lograron definir tres diferentes grupos genéticos. El grupo 1 está conformado por accesiones de poca altura de planta, que mostraron precocidad y los mejores rendimientos reportados para este estudio, así como la menor incidencia de enfermedades. El grupo más distante y con el que menor número de caracteres comparte es el grupo 3. Así, por ejemplo, el grupo 3 está conformado por plantas de mayor altura; es el más tardío y presenta el menor rendimiento observado. Por su parte, el grupo 2 está constituido por materiales con características morfológicas intermedias en relación con los dos grupos anteriores, lo cual fue verificado, incluso, por el análisis canónico, en que se ubicó como un grupo intermedio, y mostró la menor distancia con respecto al grupo 1 y al grupo 3. Dentro de los tres grupos observados, se identificaron, dentro de la colección, 20 morfotipos con caracteres distintivos para cada uno (Figura 2.15, 2.16). Los caracteres cualitativos que mostraron mayor valor discriminante, y que por lo tanto aportaron significativamente en la diferenciación entre grupos, fueron color secundario de la piel y su distribución, color secundario de la pulpa y color de los tallos. Estas variables determinan a los tubérculos como la estructura más importante de la planta para una descripción sistemática del germoplasma de oca. En lo que respecta a los caracteres cuantitativos, el análisis definió como discriminantes al largo del tallo principal, días a la madurez fisiológica y número de tubérculos por planta. Estos descriptores mostraron altos valores de desviación estándar, y evidenciaron así una alta variación de estos caracteres entre las accesiones de un mismo grupo. Los coeficientes de variación obtenidos, que fueron menores a 30 % en la mayoría de los casos, indican que estas variables, a pesar de estar muy influenciadas por el ambiente, pueden ser útiles en futuros estudios de evaluación y mejoramiento.

A continuación se describen las características de los grupos enunciados:

Grupo 1. Cuenta con 36 accesiones provenientes del norte y del centro de la serranía ecuatoriana, y se observa el mayor número de accesiones en la provincia de Carchi (15), cinco en Chimborazo, tres en Cotopaxi y Pichincha, dos en Azuay y Bolívar, y una accesión en Cañar, Sucumbíos, Tungurahua y Perú, respectivamente. En cuanto a los caracteres cualitativos discriminantes, este grupo muestra, principalmente, tallos verde amarillentos y verde predominante con rojo grisáceo. Para el carácter de color secundario de la piel, un gran porcentaje de

entradas presenta color rosado y rojo pálido, distribuidos principalmente en los ojos, mientras que el color de la pulpa es principalmente amarillo. Para los descriptores cuantitativos discriminantes, el largo del tallo principal tuvo un promedio de 41,6 mm, que corresponde al menor valor observado en los tres grupos. El valor promedio para días a la madurez fisiológica es de 249,8 y es así el grupo más precoz. Por otra parte, en cuanto al número de tubérculos por planta, presenta una media de 59,5 tubérculos, que es el menor rendimiento observado; sin embargo, para el peso de tubérculo por planta, el valor medio observado es de 1 065,5 g, que corresponde al valor más alto dentro de los tres agrupamientos. Al tomar en cuenta el porcentaje de incidencia de enfermedades para este grupo, se observa que presenta menor valor dentro de la colección (5,6 %), y se puede afirmar que corresponde a accesiones que presentan mayor resistencia a las enfermedades observadas (estrangulamiento por *Cylindrocarpon*, lanosa y roya), durante el ciclo agronómico en el que se realizó la caracterización.

Dentro de este grupo se definieron cuatro morfotipos (M1, M2, M3 y M4). Algunos aspectos sobresalientes de los morfotipos se señalan a continuación:

M1: En este morfotipo se agrupan 18 accesiones provenientes, principalmente, de la provincia de Carchi. También se agrupan accesiones de Cañar, Chimborazo, Sucumbíos y Azuay. Dentro del morfotipo 1, se encontró una variante en el color secundario de la pulpa, la cual consiste en que dicho color está ausente y puede presentar tubérculos claviforme cortos como una alternativa en la forma del tubérculo. Las accesiones que muestran esta variante son: ECU-8 893, ECU-8 900, ECU-8 901, ECU-8 902 y ECU-8 904.

M2: Constituido únicamente por la accesión ECU-1 037 proveniente del Perú. El color de la piel dentro de M2 difiere del resto de morfotipos del grupo, puesto que muestra color púrpura grisáceo oscuro, mientras que los restantes presentan color blanco amarillento y amarillo.

M3: Agrupa accesiones correspondientes a las provincias de Bolívar y Cotopaxi, y una accesión cuyo origen de colecta no está identificado. Cabe indicar, sin embargo, que en M3 se ubica la accesión ECU-1 013, que morfológicamente no concuerda con las características generales del morfotipo, sobre todo en lo relacionado con los caracteres que describen al tubérculo.

Dentro del mismo morfotipo se encuentra la accesión ECU-1 063, que, en la fotodocumentación realizada por el DENAREF, muestra tubérculos púrpura grisáceos, mientras que los tubérculos evaluados para

el presente estudio fueron amarillos. En este caso, la incongruencia observada puede deberse a una mutación de etiqueta, que corresponde a un error de etiquetado durante el manejo y la conservación del germoplasma.

M4: Dentro de este morfotipo están agrupadas 14 accesiones provenientes de Carchi, Pichincha, Cotopaxi, Tungurahua, Chimborazo, Cañar y Azuay, y una accesión cuyo sitio de colecta no está identificado.

Grupo 2. Agrupa el mayor número de entradas (60). Se observan accesiones colectadas en el centro y el sur del país, además de un pequeño número de entradas localizadas en Pichincha (3), Carchi (2) e Imbabura (5), al norte del Ecuador, las cuales pueden haber sido introducidas a estas provincias por intercambio entre comunidades indígenas. Las accesiones de este grupo se localizan, principalmente, en Chimborazo (25), Cañar (10) y Azuay (6). También se observaron entradas en las provincias de El Oro (2), Loja (3) y Bolívar (2). Las frecuencias de los descriptores cualitativos discriminantes muestran que, para el color de los tallos, este grupo presenta tallos mayoritariamente verde predominante con rojo grisáceo, y un reducido porcentaje de entradas presenta tallos verde amarillentos. Por otra parte, para el color secundario de la piel, la mayoría de las accesiones de este grupo no presentan color secundario de la piel y, en cuanto al color secundario de la pulpa, predomina el color blanco amarillento, o bien la ausencia de coloración.

Para caracteres cuantitativos discriminantes, el valor promedio observado es 50,7 mm para la longitud del tallo principal y 263 mm para días a la madurez fisiológica; estos valores observados son intermedios dentro de la colección. Para el número de tubérculos por planta, este grupo presenta un valor promedio de 90,6 con un rendimiento de 1 016,3 g/planta. En este grupo se observa que la incidencia de enfermedades es de 10,6 % (el valor más alto observado para la colección), por lo que este agrupamiento fue el más susceptible al estrangulamiento por *Cylindrocarpon*, lanosa y roya durante el ciclo de cultivo.

Dentro de este grupo se definieron diez morfotipos (M5 a M14). Además, algunos aspectos sobresalientes de los morfotipos se señalan a continuación:

M5: Conformado por tres accesiones (ECU-1 031, ECU-8 542 y ECU-8 544), cuya distribución geográfica está restringida al sur del país, en las provincias de Loja y El Oro.

M6: Igualmente restringido al sur del país y constituido por dos accesiones provenientes de Loja y El Oro (ECU-1 022 y ECU-1 030).

M7: Está conformado por dos accesiones: una proveniente de la provincia de Pichincha y una accesión que no tiene datos de colecta disponibles.

M8: Consta de cuatro accesiones colectadas en Chimborazo, Tungurahua y Bolívar, es decir, materiales correspondientes geográficamente al centro del país.

M9: Constituido por una única accesión (ECU-1 017), proveniente de la provincia de Chimborazo.

M10: Este morfotipo, al igual que M9, está integrado por una sola accesión (ECU-8 889), proveniente de Chimborazo.

M11: Agrupa tres accesiones colectadas en Carchi y Azuay (ECU-998, ECU-1 004 y ECU-8 868).

M12: Conformado por nueve accesiones, provenientes de Carchi, Imbabura, Pichincha, Chimborazo y Azuay. Dentro de M12, se encuentra la accesión ECU-1 006, que difiere del resto de entradas del morfotipo por presentar tubérculos con piel roja y color secundario blanco distribuido en los ojos, mientras que, para el resto de accesiones, el color es blanco o blanco amarillento sin color secundario. Por otro lado, las accesiones ECU-962, ECU-1 040 y ECU-1 041, que forman un pequeño subgrupo dentro de este morfotipo, presentan una variante en el color secundario de la pulpa, que en este caso es blanco amarillento y está distribuido en el anillo vascular y la corteza del tubérculo.

M13: Constituido por 18 accesiones cuya mayoría fue colectada en el centro del país (Chimborazo y Cañar), más dos accesiones provenientes de Pichincha e Imbabura, al norte del país. En M13, las accesiones ECU-991, ECU-967, ECU-995 y ECU-8 877 presentan, a diferencia de las demás entradas del morfotipo, estípulas blancas en el peciolo y corola rotada con flores amarillas.

M14: Este morfotipo agrupa 17 accesiones, cuya distribución geográfica se circunscribe al sur del país, en las provincias de Bolívar, Chimborazo, Cañar y Azuay.

Grupo 3. Este grupo es el que menor número de accesiones presenta (27), las cuales están distribuidas a lo largo del Callejón Interandino, con una alta densidad de entradas en Chimborazo (6) y Cañar (6). Se observaron también accesiones en las provincias de Carchi (2), Imbabura (1), Pichincha (2), Cotopaxi (2), Tungurahua (1), Bolívar (3), Azuay (1), Loja (1) y El Oro (2). Con relación a los caracteres cualitativos de mayor poder discriminante, las frecuencias observadas muestran que los estados predominantes en este grupo son: para el color de los tallos, principalmente rojo grisáceo y púrpura rojizo; para el color secundario de la piel, blanco y púrpura grisáceo, que fue observado sobre todo en los ojos e irregularmente distribuido, y, para el color secundario de la pulpa, púrpura grisáceo. Por otra

parte, para los caracteres cuantitativos discriminantes, el largo del tallo principal presentó un promedio de 61,7 mm (el mayor valor entre los tres grupos). Por otro lado, este grupo de accesiones llegó a la madurez fisiológica a los 275 días (el valor promedio más alto observado en la colección). Para el carácter número de tubérculos por planta, este grupo mostró un promedio de 74,79 (rendimiento intermedio), con un peso de tubérculos por planta de 813,4 g, que, en comparación con el resto de agrupamientos, corresponde al menor valor observado. Esto demuestra que se trata de un grupo con el menor rendimiento dentro de la colección. Por otro lado, el porcentaje de susceptibilidad a plagas, para el conjunto de accesiones, es de 5,64 % (el menor valor promedio observado dentro de la colección), por lo que este grupo de accesiones resultó ser el más resistente contra las plagas que atacan a la oca, durante este ciclo de cultivo.

Dentro de este grupo, fue posible definir seis morfotipos (M15 a M20); algunos aspectos sobresalientes se señalan a continuación:

M15: Morfotipo conformado por cuatro accesiones colectadas en el centro del país, en las provincias de Cotopaxi, Bolívar y Chimborazo. En el análisis con datos morfológicos, dentro de M15 se encuentra la accesión ECU-1 021 (Saraguro, provincia de Loja), que muestra tubérculos con piel blanca, sin color secundario y con pulpa blanco amarillenta, con color secundario blanco distribuido en el anillo vascular, caracteres que difieren del resto de accesiones que corresponden a este morfotipo.

M16: Dentro de este morfotipo se encuentran cuatro accesiones provenientes de Tungurahua, Cañar y Loja.

M17: Constituido por tres accesiones provenientes de Carchi y Bolívar.

M18: Este morfotipo agrupa tres accesiones colectadas en Imbabura, Pichincha y Chimborazo.

M19: Consta de cinco entradas provenientes de Pichincha, Chimborazo, Cañar y El Oro.

M20: Conformado por ocho accesiones recolectadas en el centro-sur del país, en las provincias de Bolívar, Chimborazo, Cañar, Azuay y el norte de El Oro.



Figura 2.15. Morfotipos definidos con la caracterización morfológica de la colección de oca del INIAP. En el recuadro superior izquierdo de cada fotografía se incluye el número del morfotipo identificado.

Por otra parte, los marcadores RAPDs complementaron la caracterización morfoagronómica y constituyeron una herramienta molecular altamente eficiente para la clasificación y el agrupamiento de las accesiones de la colección de oca del INIAP, así como para la detección de duplicados y de errores en el etiquetado del material

de campo. Las relaciones genéticas identificadas a nivel molecular fueron visualizadas en un dendrograma que muestra tres ramas principales en su topología (A, B y C)(Figura 2.16). Las accesiones de los morfotipos, definidos sobre la base de datos morfoagronómicos, en general se revelan dentro de un mismo grupo, lo cual

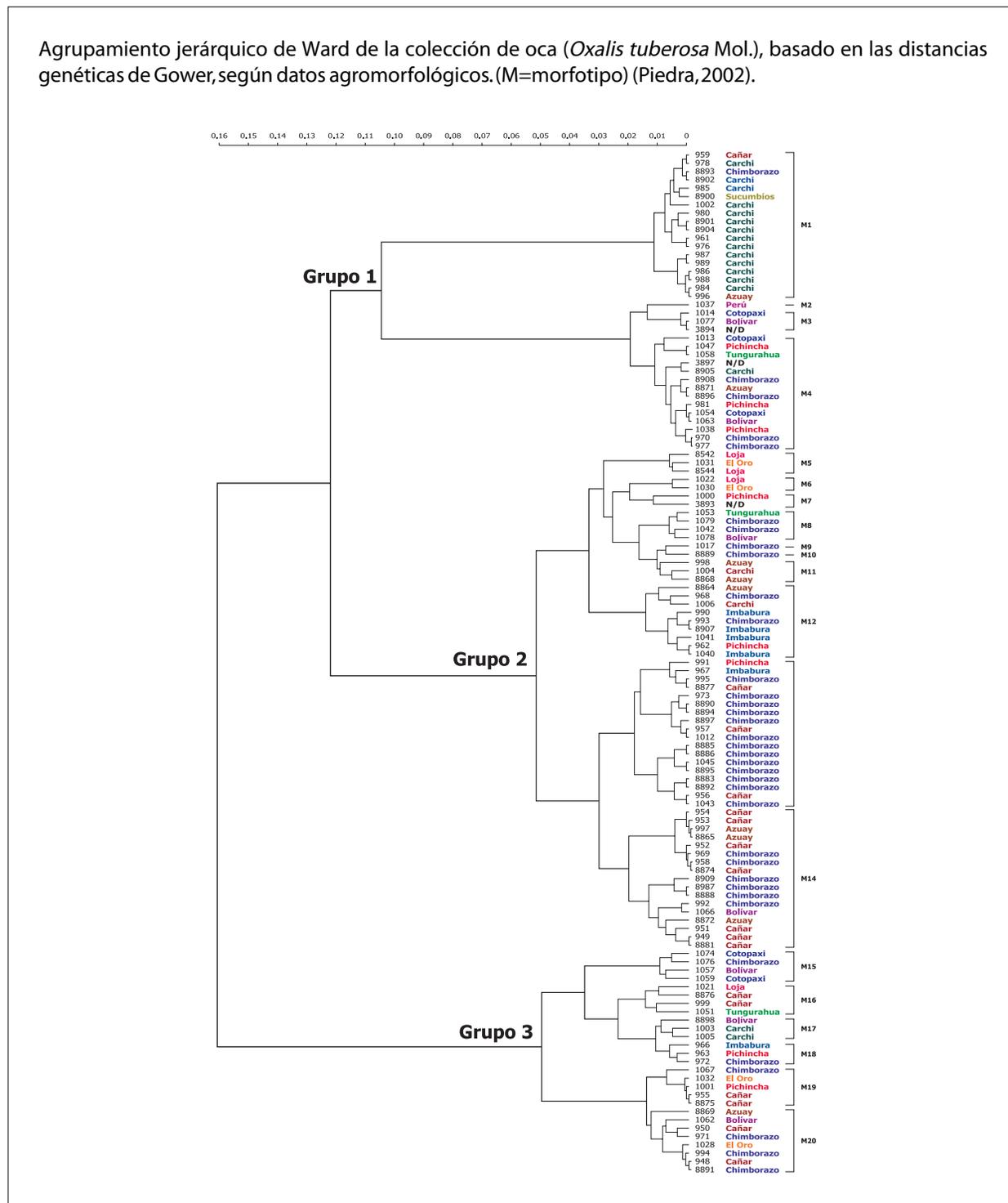


Figura 2.16. Dendrograma con los morfotipos definidos con la caracterización morfológica de la colección de oca del INIAP.

evidencia su similitud genética. Además, la técnica de PCO permitió estructurar la diversidad genética de la colección, las relaciones genéticas entre grupos y morfotipos, y puso en evidencia la existencia de híbridos que son difícilmente detectados en un gráfico arborescente.

Finalmente, en la correlación entre datos morfológicos y moleculares de la colección de oca, se observan relaciones moderadas, lo que coincide con otras investigaciones. La correlación más alta se observó al comparar todos los descriptores morfológicos con las 27 bandas RAPD discriminantes, mientras que, al analizar la correlación con los caracteres cuantitativos, se observa que estos valores son bajos; sin embargo, todas las relaciones, con excepción de una, resultaron significativas.

Al realizar un análisis paralelo de los resultados de caracterización con los datos pasaporte, es posible definir al centro del país, y en especial la provincia de Chimborazo, como la zona con mayor variabilidad del cultivo en el Ecuador, puesto que 12 de los 20 morfotipos fueron colectados en esta región, mientras que los ocho restantes fueron colectados a lo largo del Callejón Interandino, desde la provincia del Carchi, en el norte, hasta las provincias de Loja y El Oro, en el sur del país.

Esta investigación muestra que la base genética de la colección de oca en Ecuador es amplia, probablemente debido a una alta frecuencia de mutaciones somáticas, a la existencia del fenómeno de quimeras, y –según las evidencias del presente estudio– a la reproducción sexual que, posiblemente, desempeñó un rol importante en la diversificación de esta especie durante su proceso evolutivo, de domesticación y selección antrópica, a pesar de que se ha reportado que la semilla sexual es raramente observada en condiciones de campo.

Caracterización de la colección de jícama. El estudio morfológico de la colección de jícama (Morillo, 1998) permitió la identificación de tres morfotipos bien diferenciados, lo que significa un 84% de duplicación en la colección que conserva INIAP. Es así que se identificó un morfotipo morado con raíces comestibles amarillas, un segundo morfotipo verde oscuro con raíces blancas (2A) o amarillas (2B) y un tercero verde claro con raíces comestibles blancas.

Estos grupos tienen las siguientes características:

Morfotipo morado (Grupo 1). Planta semierecta. Es más alta, con entrenudos largos, tallos púrpuras gruesos, hojas y pecíolos más largos, con ramificación abundante en toda la planta. Flores amarillo anaranjada en cantidad moderada. Sus raíces tienen pulpa

amarilla, con presencia de color secundario, y poseen el más alto porcentaje de materia seca y carbohidratos. Su rendimiento es el más alto, con un promedio de 1,5 kg/planta e, igualmente, presenta el mayor número de raíces útiles por planta.

A este subgrupo corresponden 15 entradas procedentes de todas las provincias en donde se reporta esta especie: ECU-1 236, ECU-1 237, ECU-1 238, ECU-1 239, ECU-1 241, ECU-1 242, ECU-1 243, ECU-1 244, ECU-1 248, ECU-1 249, ECU-1 251, ECU-1 252, ECU-1 254, ECU-1 256 y ECU-9 110 (Figura 3.17).

Morfotipo verde oscuro (Grupo 2). Planta erecta. Presenta dos subgrupos:

2A: Se caracteriza por ser el más pequeño de los tres grupos y tener poca ramificación, pero abundante floración. Presenta tallos delgados, hojas pequeñas, de borde espinoso y pecíolo grande. Son las más precoces en florecer. Sus rendimientos y raíces son similares a las del grupo morado, pero de pulpa blanca y con menor porcentaje de materia seca y carbohidratos. A este grupo pertenecen las siguientes entradas, colectadas en cuatro provincias del centro y el sur del país. Loja, Bolívar, Cañar y Azuay: ECU-1 247, ECU-1 253, ECU-1 259, ECU-6 666 y ECU-9 109.

2B: Con similares características, pero con raíces de pulpa amarilla. A este subgrupo pertenecen ECU-1 261, ECU-2 320 y ECU-2 321, todas colectadas en la provincia de Bolívar (Figura 2.17).

Morfotipo verde claro (Grupo 3). Planta erecta, de altura mediana, con entrenudos pequeños y tallos verde claro muy gruesos. Se caracteriza por tener hojas anchas con pecíolo pequeño. Es el más tardío en florecer. Sus flores son amarillo claro en cantidad moderada. Sus raíces son las más voluminosas, de pulpa blanca y no presentan color secundario. Tienen el porcentaje más bajo de materia seca y carbohidratos. Del total de plantas caracterizadas, ECU-1 245 y ECU-1 246 pertenecen a este grupo y fueron colectadas en el sur del país, en las provincias de Azuay y Loja (Figura 2.17).

Las variables color de los tallos y color del haz de las hojas resultaron ser los caracteres discriminantes de mayor eficiencia para separar grupos y, por lo tanto, los más útiles en una descripción inicial de esta especie. Los subgrupos 2A y 2B son los más relacionados genéticamente, ya que, por su morfología, son similares en todas sus características, excepto en el color de la pulpa de raíz; del mismo modo, son los más precoces en florecer. A su vez, este material presentó el mayor

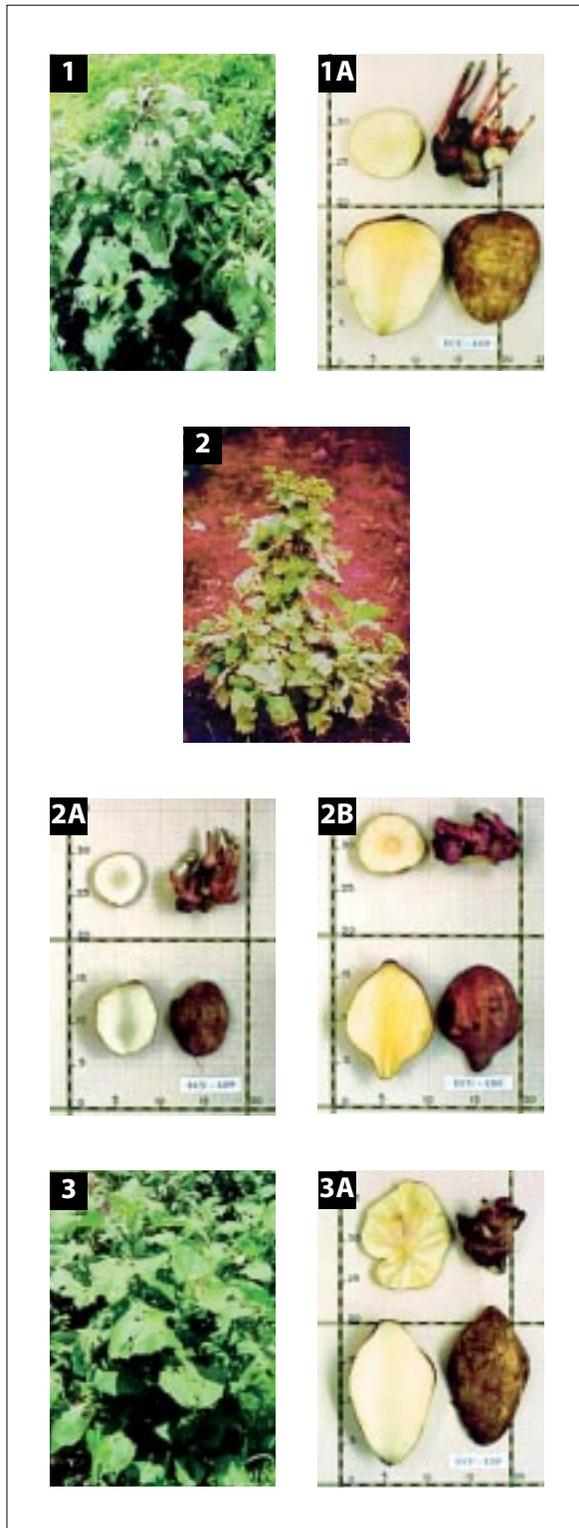


Figura 2.17. Morfotipos de jícama identificados en la colección del Banco de Germoplasma de INIAP (Morillo, 1998). **1.** Grupo 1: morfotipo morado. **2.** Grupo 2: morfotipo verde oscuro. **2A,** Subgrupo 2A. **2B,** Subgrupo 2B. **3.** Grupo 3. morfotipo verde claro. En el recuadro superior izquierdo de cada fotografía se incluye el número de morfotipo identificado.

grado de disimilitud morfológica respecto al Grupo 1 o morfotipo morado, lo que indica que el Grupo 1 y el 2 difieren entre sí en un mayor número de caracteres. El Grupo 3 o morfotipo verde claro, a pesar de que a simple vista es fácilmente distinguible (ya que es un grupo con ciertas características propias, como, por ejemplo, ancho de la hoja y diámetro del tallo), al compartir otras varias características con los dos grupos restantes se ubica en el análisis canónico como un grupo intermedio o de menor distancia respecto a los dos anteriores. Por su parte, los caracteres cuantitativos no fueron tan eficientes para discriminar entre grupos, ya que presentaron niveles altos de variabilidad intra-grupo e, incluso, intra-entrada; sin embargo, los bajos coeficientes de variación obtenidos para ciertas variables indican que las mismas podrían utilizarse para diferenciar grupos, ya que dichos caracteres, a pesar de estar muy influenciados por el ambiente, pueden ser de importancia en futuros estudios de evaluación agronómica y de mejoramiento. Así mismo, estos descriptores aportan en la identificación de materiales promisorios o con características deseables, tales como rendimiento por planta, número de raíces y contenidos de azúcares. Estos resultados, junto con los descriptores cualitativos, determinan caracteres relacionados con una relativamente pequeña porción de la planta, es decir, el tallo y la hoja, como las más adecuadas para la diferenciación de grupos de jícama. De igual forma, este estudio propone una lista de descriptores modificada de la propuesta por Seminario (1995), constituida por descriptores cualitativos, tales como color de los tallos y color del haz de las hojas, y descriptores cuantitativos, como los mencionados con anterioridad, que podrían ser aplicados en otros trabajos de caracterización y evaluación de germoplasma de jícama.

Además, los marcadores moleculares RAPDs constituyen una herramienta molecular altamente eficiente en la clasificación de jícama y en la detección de posibles duplicados, al contrario de otros tipos de marcadores, como las isoenzimas, que no permitieron detectar polimorfismos (Morillo, 1998). De igual modo, se obtuvo que, al disminuir el número de polimorfismos RAPDs de 46 a 36, con el fin de obtener aquellos que más aportan en la diferenciación de grupos, se detectaron coeficientes de correlación mayores, lo que sugiere que las diferencias entre morfotipos incluyen porciones apreciables del genoma de esta especie. Otra contribución del uso de la técnica molecular fue la identificación de ciertas bandas discriminantes entre grupos o morfotipos. De la misma forma, el análisis *bootstrap* de datos moleculares determinó una alta consistencia genética de los morfotipos, así como una correlación con su origen geográfico, como es el caso

de los Grupos 2 y 3, que están restringidos a las provincias de Loja y Bolívar, respectivamente.

Así mismo, se obtuvo una alta correlación entre datos morfológicos y moleculares, instancia que se diferencia de trabajos anteriores en otros cultivos en que se encontraron relaciones moderadas (Autrique *et al.*, 1996) y bajas (Beer *et al.*, 1993, y Schut *et al.*, 1997). La correlación más alta se reveló al comparar todos los caracteres cualitativos y las 36 bandas RAPDs discriminantes, mientras que, al analizar la correlación con los valores cuantitativos, éstos fueron significativos, aunque más bajos. Estos resultados coinciden con los dendrogramas obtenidos en la caracterización morfológica y molecular, lo que ratifica la importancia de utilizar y complementar ambos tipos de información.

Al complementar los resultados de caracterización con los datos pasaporte, se determina que la mayor variabilidad del cultivo de jícama en Ecuador está en el sur del país, ya que en Azuay y Loja se han colectado accesiones de los cuatro morfotipos definidos en este estudio, debido, probablemente, a su cercanía geográfica con la provincia de Cajamarca-Perú, definida por Hermann *et al.*, (1997) como un centro de diversidad. Se puede postular también que las entradas que tienen diversidad geográfica distinta, pero que se agrupan por su similitud fenotípica y molecular, podrían ser muestras duplicadas de un mismo cultivar resultado de la introducción de un material de origen incierto (probablemente procedente del sur) y que pudo ser propagado de manera vegetativa por los agricultores hacia otras comunidades. En este estudio, esto es aplicable, sobre todo, en lo que se refiere al Grupo 1 o morfotipo morado, que es el de mayor cobertura geográfica y que se colectó en todas las provincias reportadas. Este morfotipo comprende entradas de mayor rendimiento y de pulpa amarilla, por lo que los agricultores tendrían un mayor interés de propagarlo. Al contrario, los morfotipos restantes, que presentan características menos deseables por los agricultores, se encuentran geográficamente más restringidos y en un mayor peligro de erosión genética.

Este estudio muestra, además, que la base genética de jícama en Ecuador es estrecha, debido probablemente a que, al tratarse de una especie de propagación asexual, no existe recombinación genética como fuente de variabilidad. Sin embargo, la base genética del cultivo podría incrementarse con material de otros países – Perú o Bolivia, por ejemplo– o con especies silvestres estrechamente emparentadas, como *S. riparius*, *S. siegesbeckius* o *S. macrocaphus* que, según Hermann

et al. (1997), han contribuido a la constitución del genoma actual de la jícama.

Caracterización de la colección de miso. La colección de miso comprende 10 accesiones ecuatorianas y una proveniente del departamento de Cajamarca, Perú. En el trabajo realizado por Morillo (1998) se determinó que el rendimiento promedio de raíces útiles de la colección fue de 0,75 kg/planta, y se determinaron, como entradas promisorias, a la ECU-1 262 y ECU-1 265 con 1,6 kg/planta, lo que significaría 40 000 kg/ha. Estos rendimientos, y su valor nutritivo, convierten a este cultivo en una especie con condiciones para su promoción y expansión, siempre que se valore a este recurso como una alternativa alimentaria o industrial. Del análisis de agrupamiento morfológico se determinaron dos morfotipos principales: morfotipo blanco y morfotipo morado.

Morfotipo blanco. Corresponde a plantas con hábito de crecimiento decumbente, tallos verde amarillentos o verde oscuros, hojas verde grisáceas y flor blanca. Sus raíces son de color crema o crema amarillento y presentan pulpa amarilla o blanca. Este morfotipo presenta un rendimiento promedio de 0,8 kg/planta. A este tipo corresponden: ECU-1 262, ECU-1 264, ECU-1 265, ECU-1 267, ECU-1 268, ECU-1 270 y ECU-8 922.

Morfotipo morado. Corresponde a plantas con hábito de crecimiento muy decumbente, tallos de color violeta, hojas verdes oscuras con pigmentación púrpura y flor de color violeta. Las raíces de este morfotipo son de color crema con pulpa blanca y alcanza un rendimiento de 0,5 kg/planta. A este tipo corresponden: ECU-1 263, ECU-1 266, ECU-1 269 y ECU-2 502.

De la caracterización molecular, el bajo número de bandas polimórficas obtenidas (33) con relación al gran número de partidores probados (120) sugiere que la colección de miso presenta una estrecha variabilidad genética, debido seguramente a que las entradas estudiadas provienen sólo de dos provincias del país (Cotopaxi y Pichincha). Esta hipótesis se ve reforzada por la divergencia genética observada de éstos materiales respecto a la entrada de origen peruano. En función de estos resultados, se recomendó continuar con colectas y exploraciones de esta especie en provincias donde se ha reportado su presencia, como Imbabura y Cañar, y continuar con la caracterización fisiológica, fenológica y bromatológica, con fines de seleccionar materiales promisorios para promoción del cultivo. Todo esto permitiría proseguir con estudios agronómicos y de condiciones de almacenamiento, los cuales necesitan ser incentivados (Figura 2.18).



Figura 2.18. Morfotipos de miso identificados en la colección del Banco de Germoplasma de INIAP (Morillo, 1998). **1.** Grupo 1: morfotipo blanco. **1A:** subgrupo A. **1B:** subgrupo B. **2.** Grupo 2, morfotipo violeta.

Caracterización de la colección de zanahoria blanca

blanca. La zanahoria blanca es originaria de la zona andina, quizá la única umbelífera domesticada en esta región. Es recomendada para dietas de niños, ancianos y enfermos, pues posee cantidades adecuadas de calcio, hierro, fósforo, vitaminas y almidón de fácil digestibilidad.

Mazón estudió, en 1993, la variabilidad genética de la colección de zanahoria blanca mediante la utilización de descriptores morfológicos, agronómicos e isoenzimáticos. En la evaluación de campo se utilizaron 72 entradas de la colección nacional de zanahoria blanca de INIAP y, para el estudio isoenzimático, 95 entradas (77 de la colección ecuatoriana y 18 del Centro Internacional de la Papa).

Se evaluaron ocho descriptores morfológicos y 10 agronómicos para realizar análisis de frecuencias, medias, rangos, coeficientes de variación, definición de morfotipos y análisis de agrupamiento (*Average Linkage Cluster Analysis*).

Para el estudio electroforético, se utilizó el sistema de corrida Hisitidina-Citrato, pH 7.0, con geles de almidón al 12,5% para los sistemas isoenzimáticos EST, PGI y PGM.

En función de los caracteres morfológicos color del haz, borde rojo de la hoja, color del pecíolo, color de la base del pecíolo, color de la corteza de la raíz, color principal y secundario de la pulpa, se definieron 17 morfotipos. Como resultado del análisis de agrupamiento, se obtuvieron 21 grupos diferentes, contenidos en 5 grandes grupos. Cada uno de los grupos incluyó accesiones correspondientes a las tres formas hortícolas identificadas para zanahoria blanca: blanca, amarilla y morada (Figura 2.19); se determinó que existe un 129% de variabilidad dentro de la colección.

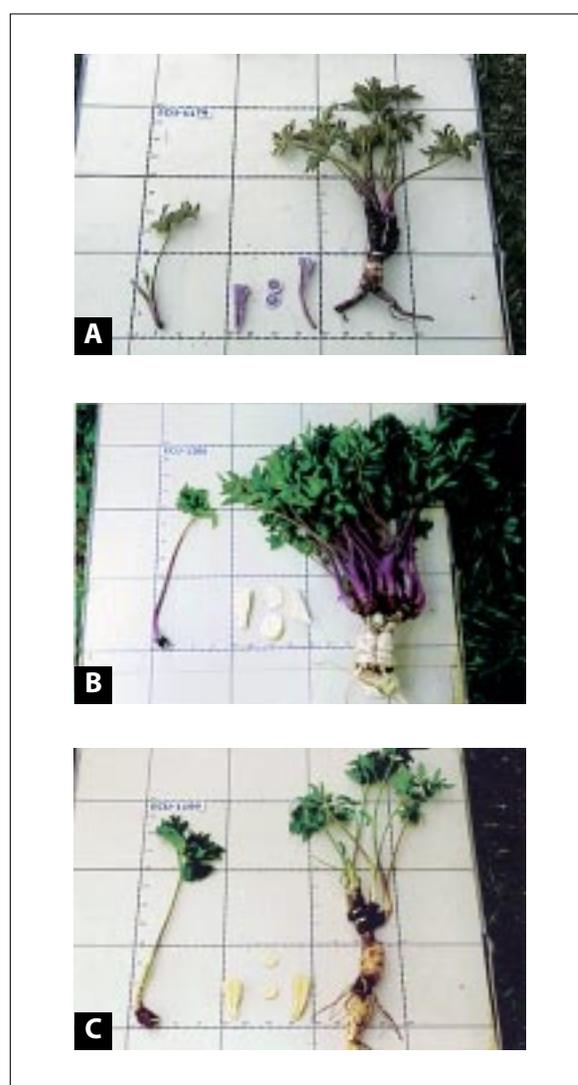


Figura 2.19. Formas hortícolas de zanahoria blanca identificadas en la colección del Banco de Germoplasma de INIAP (Mazón, 1993). **A.** Forma hortícola morada. **B.** Forma hortícola blanca, y **C.** Forma hortícola amarilla.

Grupo 1. Conformado por la entrada ECU-1 179, que corresponde al morfotipo (MT) 16 de forma hortícola morada y definido como M1.

Grupo 2. Contiene las entradas ECU-2 315 y ECU-1 180, pertenecientes al MT 1 y forma hortícola “blanca”, B1.

Grupo 3. La mayoría de las entradas pertenecen a la forma hortícola morada y está subdividida en cuatro subgrupos: M2: ECU-1 129, ECU-1 225 (MT 17). M3: ECU-3 295, ECU-1 200, ECU-1 217, ECU-1 218 (M15), ECU-1 201 (MT 16). M4: ECU-1 178, ECU-1 173 (MT 15). M5: ECU-1 222, ECU-1 216, ECU-1 193 (MT 13).

Grupo 4. En este grupo se encuentran tres entradas de la forma hortícola amarilla, dividida en dos subgrupos: A1: ECU-1 187 (MT 11). A2: ECU-1 227, ECU-1 188 (MT 11).

Grupo 5. Se conglomeran 54 entradas, correspondientes a las formas hortícolas blanca y amarilla. Las amarillas se dividen en los tres siguientes subgrupos: A3: ECU-1 153, ECU-1 208 (MT 8), ECU-1 207 (MT 9). A4: ECU-1 221, ECU-1 220 (MT 12), ECU-1 154 (MT 10). A5: ECU-1 183, ECU-1 181, ECU-1 155, ECU-1 189, ECU-2 319, ECU-1 167, ECU-1 199, ECU-1 231, ECU-1 192, ECU-1 230, ECU-1 228, ECU-1 207 (MT 10).

Las blancas se dividen en dos subgrupos: desde B2 hasta B6, pertenecen al primer subgrupo, y de B7 a B11, al segundo: B2: ECU-1 219 (MT 4), ECU-1 195 (MT 8). B3: ECU-1 169 (MT 4), ECU-1 186 (MT 8), ECU-1 182 (MT 3). B4: ECU-1 171, ECU-1 164 (MT 2). B5: ECU-1 184 (MT 3). B6: ECU-1 196 (MT 2), ECU-1 176, ECU-1 159, ECU-1 214, ECU-1 160, ECU-1 158 (MT 3). B7: ECU-1 172 (MT 6), ECU-1 168, ECU-1 185, ECU-2 361, ECU-1 176, ECU-1 175 (MT 5). B8: ECU-1 223 (MT 7), ECU-1 209, (MT6) ECU-1 163 (MT 7). B9: ECU-1 226 (MT 5), ECU-2 484, ECU-1 157 (MT 6). B10: ECU-1 210, ECU-1 174, ECU-1 197, ECU-1 224, ECU-1 194, ECU-1 161 (MT 7). B11: ECU-1 162, ECU-1 234, ECU-1 232, ECU-1 206 (MT 5).

Para EST se identificaron tres zimotipos, en tanto que, para PGI y PGM, se detectaron dos zimotipos. Uno de los zimotipos para PGM se presentó, invariablemente, en las entradas colectadas en estado “cultivar tradicional”, y el restante se identificó en una entrada colectada en estado “silvestre”. Se determinó que existe muy baja variabilidad isoenzimática (4%) dentro del material “cultivado” de zanahoria banca, debido, quizá, a que es una especie que se propaga vegetativamente (rara floración y escasa producción de semilla sexual) y que su variabilidad fenotípica

podría ser el resultado de la adaptación del genotipo a diversos medioambientes o a mutaciones somáticas.

Caracterización de la colección de achira. La caracterización morfológica, la evaluación agronómica y la molecular de la colección nacional de achira incluyó 32 entradas. En el campo, se registraron datos para 32 descriptores morfológicos y agronómicos. Con respecto a la fase molecular, se realizó un *screening* con 120 *primers* o partidores y se seleccionaron 17 de ellos. Las amplificaciones se hicieron con 11 partidores que presentaban polimorfismos, y se utilizaron las 32 entradas de campo, de las cuales se seleccionaron nueve partidores por ser altamente polimórficos, un número de bandas promedio por partidador de cinco y un número total de bandas polimórficas de 48. Con estos resultados, se construyó una matriz de similitud y se elaboró un dendrograma (NTSYS) (Figura 2.20) en el cual se determinaron tres grupos principales. La Figura 2.21 muestra parte de la diversidad existente dentro de la colección de achira.

Relación de la conservación *ex situ* con la conservación en fincas de agricultores

Hasta aquí hemos descrito las actividades de conservación *ex situ* y en fincas, de manera que pueden parecer dos tipos de conservación alternativas. Pero en realidad estas metodologías son complementarias, puesto que ninguna de las dos es perfecta. Como ejemplos, podemos mencionar que los procesos coevolutivos con plagas y enfermedades que tiene un cultivo en el campo es detenido en un banco de germoplasma; por otro lado, existe mayor peligro de pérdida de materiales en el campo de agricultores que en un banco de germoplasma, pues es un proceso dinámico, influenciado por diferentes factores bióticos y abióticos. Por lo tanto, a continuación describimos las actividades dentro del proyecto integral, en las que se evidencia la complementariedad de los dos sistemas de conservación.

Jardines de conservación

Como se mencionó con anterioridad, para la restitución de germoplasma desde el banco *ex situ* ubicado en el INIAP-DENAREF, se identificaron los sitios o comunidades mediante un diagnóstico de la región (recopilación y análisis de diagnósticos previos y levantamiento de información complementaria a través de encuestas y técnicas participativas (UVTT, 1998).

Se empleó un enfoque de fitomejoramiento participativo mediante el uso de variedades locales,

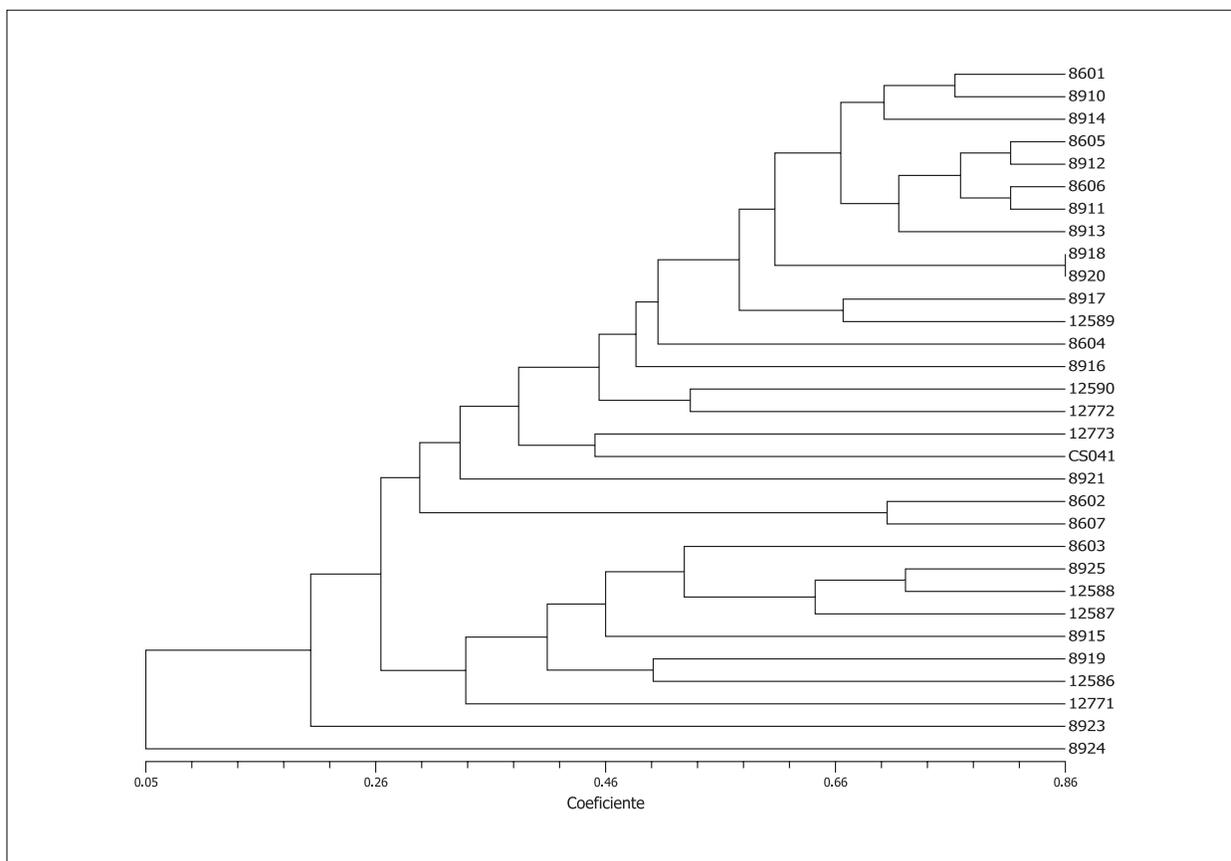


Figura 2.20. Dendrograma basado en datos RAPDs de la colección nacional de achira (*Canna edulis* Ker).

como la fuente de material genético; esto simbolizó un equilibrio entre dos objetivos: el de mantener diversidad genética *in situ* y el de seleccionar variedades según las necesidades de los agricultores. Por lo general, los fitomejoradores han subestimado o ignorado la habilidad de los agricultores y su conocimiento sobre el



Figura 2.21. Colección nacional de achira del Banco de Germoplasma de INIAP.

mejoramiento. Sin embargo, los agricultores, al igual que los fitomejoradores, tienen sus propios y muy válidos criterios de selección para evaluar nuevos cultivares. Precisamente, este conjunto de criterios llevó a establecer lotes experimentales (jardines), en donde primó el criterio de los agricultores de Las Huaconas, en conjunción con el de los investigadores, y se estableció el vínculo *in situ-ex situ* (Tapia, 2000). La Figura 2.22 muestra el establecimiento de los jardines de conservación en Santa Rosa de Culluctús y Virgen de Las Nieves.

Es así que, mediante la caracterización y la evaluación participativa con los campesinos de las dos comunidades, en Santa Rosa de Culluctús y Huacona San Isidro se sembraron 27 morfotipos de oca, 17 de mashua, 6 de jícama y 11 de zanahoria blanca. Cada morfotipo se sembró en un área de 10 m de largo por 1 m de ancho. Se definió una lista mínima de descriptores (variables por tomar) para la caracterización y la evaluación participativa con agricultores (Tapia, 2000). Los caracteres discriminantes usados para identificar la variabilidad de TAs fue: para melloco: color del tubérculo (principal, secundario y distribución), color de la pulpa,



Figura 2.22. A. Establecimiento de jardines de conservación en lotes comunales en Santa Rosa de Culluctús, con la participación de agricultores. B. Jardín establecido en Virgen de las Nieves.

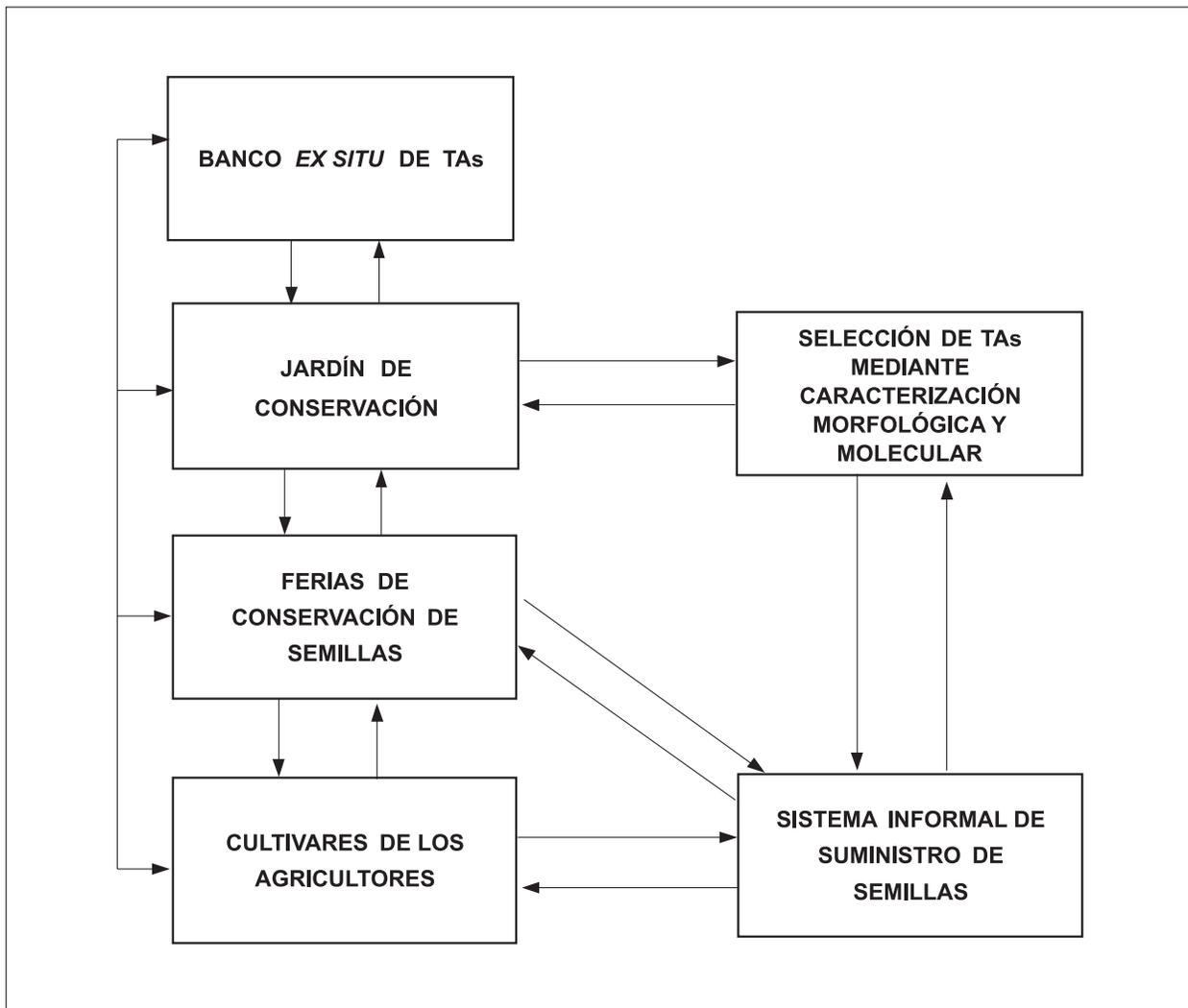


Figura 2.23. Flujo y manejo de germoplasma, selección participativa de agrobiodiversidad de TAs y sus vínculos con la conservación *in situ* y *ex situ*.

forma del tubérculo; para oca: color del tubérculo (principal y secundario), color de la pulpa (principal, secundario y distribución), y mashua: color del tubérculo (principal y secundario) y color de la pulpa (principal y secundario).

En la Figura 2.23 se ilustra el flujo y el manejo de germoplasma de TAs, los roles de los agricultores y fitomejoradores en el proceso de caracterización y evaluación participativo de morfotipos realizado en las tres comunidades. Producto de esta relación entre los bancos de genes *ex situ* e *in situ* (materiales que conservan los campesinos), se pudo reintroducir varios morfotipos de melloco, oca y mashua a 16 agricultores de Santa Rosa de Culluctús; oca y mashua, a 15 agricultores de San Pedro de Rayoloma, y 20 agricultores de Virgen de las Nieves, de acuerdo a los resultados de la caracterización participativa realizada en los jardines de conservación. Cabe también indicar que algunos de estos materiales existían previamente en el sector, pero se habían perdido por efecto de diversos factores de erosión genética (Tapia y Estrella, 2001).

Monitoreo de la variabilidad

El monitoreo de la variabilidad de TAs consiste en darle un seguimiento a los materiales reintroducidos a las comunidades, para tener una idea del flujo que rige su conservación. Esta operación se realizó al año de haber entregado los diferentes morfotipos, y se realizó a través del conteo y el registro en las chacras de las variedades existentes (tanto las propias como las reintroducidas), así como también de aquéllas que van apareciendo y desapareciendo (producto de flujos de semillas).

Como resultado de este estudio, se registró que, de un promedio de 24 morfotipos reintroducidos en Santa Rosa de Culluctús en el ciclo agrícola 1998-1999 (10 morfotipos de melloco, siete de oca y siete de mashua), se habían conservado 10 morfotipos (cuatro de melloco, tres de oca y tres de mashua) durante el ciclo agrícola 2000-2001 (Figura 2.24).

Igualmente, al estudiar otras dos comunidades, se observó que en Huacona Santa Isabel existió una disminución dramática, y se conservó un promedio de dos ecotipos (de 24 entregados) durante el ciclo 2000-2001, y en Huacona San Isidro, de 45 ecotipos (30 oca y 15 de mashua) entregados a los agricultores, sólo se conservaron 10 (cinco de oca y cinco de mashua) (Figura 2.24). Estos resultados evidencian que los campesinos son selectivos por naturaleza; cuando ellos encuentran un uso a un material, sea por sus cualidades culinarias, su resistencia a plagas y enfermedades o el mercado,

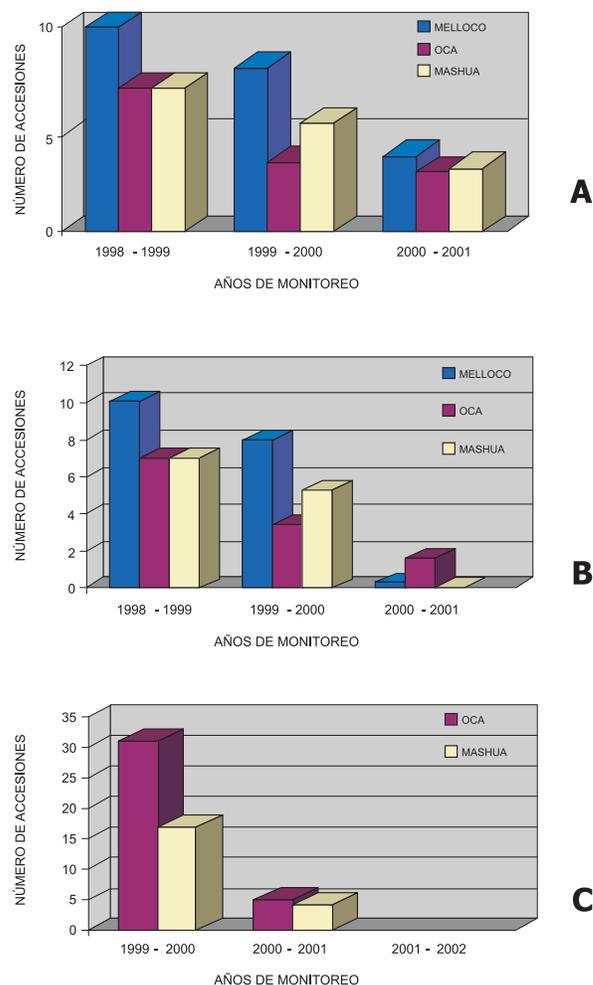


Figura 2.24. Monitoreo de morfotipos reintroducidos desde el banco *ex situ* durante tres ciclos de cultivo a las comunidades. **A.** Santa Rosa de Culluctús (15 agricultores), **B.** Huacona Santa Isabel (15 agricultores), y **C.** Huacona San Isidro (25 agricultores).

ellos conservan estos materiales. Como estos datos pueden crear confusión, es importante aclarar que los materiales que ellos descartaron no es que se perdieron, sino que existe un movimiento de materiales entre agricultores e, incluso, entre comunidades; por lo tanto, sería necesario continuar el monitoreo durante los años subsiguientes, a fin de analizar la(s) tendencia(s) conservacionista(s) y su impacto con la presencia, y la posterior ausencia de materiales en los campos de agricultores. En el caso especial de los campesinos de Santa Rosa de Culluctús, se abre la posibilidad, en un futuro, de conformar una "Asociación de Campesinos Conservacionistas", lo que sería una instancia de reconocimiento a su aptitud de conservación. Ésta y otras herramientas de trabajo, como las descritas en páginas precedentes (ferias, jardines, selección participativa, bancos de germoplasma, agricultores conservacionistas, etc.), constituirían, en el futuro,

algunos de los pilares de acción para una eficiente conservación *in situ*.

Conservación y Manejo de Suelos

En los suelos de la sierra ecuatoriana, uno de los problemas más serios, en la actualidad, es la acelerada degradación de los suelos por efecto de la erosión, causada por los agentes naturales: viento y agua. Hoy día, ha tomado importancia la inducida por el hombre, debido a los sistemas de manejo utilizados en estos momentos, los cuales incluyen la remoción de los suelos de ladera, con diferentes herramientas tradicionales y sofisticadas, las que provocan erosión por labranza y favorecen la erosión hídrica. Esto ha contribuido a la pérdida gradual de la fertilidad de los suelos y, en muchos casos, ha conducido a la desertización.

Los efectos de la erosión más importantes son los siguientes:

- Ruptura de los surcos en los cultivos y apareamiento de zanjas y cárcavas.

- Destrucción de caminos y carreteras por efecto del agua de escurrimiento.
- Deslizamientos y movimientos en masas, derrumbes planares profundos, que generalmente siguen las líneas de fallas geológicas naturales.
- Contaminación de riachuelos, ríos, lagunas, canales de agua de consumo doméstico y asolvamiento de represas, por acción de las partículas de suelo, sales, residuos tóxicos de plaguicidas y restos orgánicos que el agua de escurrimiento acarrea en su recorrido.
- Pérdida de nutrientes por la erosión, lo que es diferente para cada ecosistema; es menor en bosques y pastizales y mayor en cultivos.
- Degradación y desertización de los suelos.

Soluciones para controlar la erosión

Las prácticas agronómicas son todas las actividades que consideran el desarrollo de plantas o cultivos, con la finalidad de mejorar la capacidad productiva de los terrenos y ayudar a disminuir la erosión del suelo.

Prácticas agronómicas para evitar la erosión de los suelos

Rotación de cultivos

Es la sucesión de cultivos diferentes, en ciclos continuos, sobre una área de terreno determinada; siempre es conveniente incluir una leguminosa dentro de la misma.

Cultivos en fajas

Consiste en sembrar en fajas alternas y de ancho variable, con cultivos de escarda y densos. Los cultivos densos disminuyen el impacto de las gotas de lluvia y reducen el escurrimiento del agua a las fajas siguientes.

Cultivos de cobertura

Los cultivos de cobertura cubren totalmente el suelo; son los cultivos densos; otras veces se considera que un abono verde, antes de incorporarlo al suelo o si éste queda en la superficie del suelo, desempeña la función de un cultivo de cobertura.

Abonos verdes

Es la práctica de sembrar, con la finalidad de incorporar en el suelo, durante la época propicia de su desarrollo vegetativo, generalmente al inicio de la floración. La aplicación de abonos verdes al suelo tiene la finalidad de agregar materia orgánica, lo

que permite mantener o mejorar la fertilidad de los suelos.

Abonos orgánicos

Se puede usar residuos provenientes de la finca, como estiércol de animales, restos vegetales derivados de cultivos y abonos verdes. Al ser aplicado al suelo, estos materiales se descomponen fácilmente, forman humus y liberan nutrientes para las plantas (Gallardo, 2002)

Barreras vivas

Son hileras de plantas perennes y de crecimiento denso, sembradas en curvas a nivel o en contorno de los lotes. El objetivo de dichas barreras es el de reducir la velocidad del agua que corre sobre la superficie del suelo y retener las partículas de sedimento que están siendo transportadas; disminuyen también la velocidad del viento y protegen al suelo.

Distribución adecuada de los cultivos

En suelos con pendientes que presentan mayor susceptibilidad a la erosión, los bosques y pastos constituyen las coberturas de protección del suelo más eficientes, en tanto que los cultivos de escarda y densos deben situarse en terrenos con topografía

moderada, de mejor fertilidad y menos expuestos a riesgos de erosión.

Labranza reducida y cero labranza

La labranza cero o no-labranza es el método de sembrar cultivos sin la preparación de la cama de siembra y sin disturbar el suelo, excepto lo necesario, para colocar las semillas en el suelo a la profundidad deseada, la cual permite que todos los residuos del cultivo sean retenidos en la superficie del suelo y, cuando estos están presentes en cantidades adecuadas, prevén un excelente control de la erosión.

Reforestación

En aquellos suelos que presentan limitaciones para el desarrollo de los cultivos agrícolas, debe mantenerse la cubierta vegetal, lo que constituye la forma más efectiva y económica de controlar la erosión. El dosel formado por las copas de los árboles, la cubierta inferior constituida por hierbas y arbustos, la capa de mantillo y humus constituida por residuos vegetales orgánicos en distintos grados de descomposición, protegen al suelo de la erosión.

Agroforestería

La agroforestería es un sistema de uso de la tierra que implica una integración aceptable, en términos sociales y ecológicos, de árboles con cultivos y/o

animales, simultánea o secuencialmente, de tal manera que se incremente la producción total de plantas y animales de una forma sustancial por unidad de producción o finca, especialmente en condiciones de bajos niveles de insumos tecnológicos y tierras marginales (Nair, 1997). La agroforestería es una alternativa económicamente viable y ecológicamente funcional para áreas de minifundio, donde la escasez de tierra (superficie) es la principal dificultad para impulsar programas de reforestación (Nieto, 1998a).

Los sistemas agroforestales son formas de uso y manejo de los recursos naturales, en las cuales especies leñosas (árboles, arbustos, palmas) son utilizadas en asociación deliberada con cultivos agrícolas o con animales en el mismo terreno, de manera simultánea o en una secuencia temporal (Montagnini, 1992).

El manejo de los sistemas agroforestales implica diversos aspectos, entre los cuales está la relación que existe entre las raíces de los árboles, el suelo y la interacción con microorganismos en el proceso de absorción de nutrientes, en especial de hongos formadores de micorriza, conocidos por su habilidad para mejorar la absorción de fósforo y micro nutrientes.

Agroforestería y silvicultura como soluciones del uso y manejo sostenible

Principios de sostenibilidad. Bajo el criterio de mantener una productividad a largo plazo, todo uso y manejo de los ecosistemas del bosque húmedo tropical debe ser orientado hacia la conservación o la recuperación de los siguientes factores:

- La integridad de los ciclos de agua y de nutrientes, al minimizar las pérdidas.
- La biodiversidad.
- El meso y microclima típico del bosque húmedo.
- La estructura diversificada horizontal y vertical de la capa vegetal.
- El alto contenido de biomasa y humus en el ecosistema.

Estos fines se pueden lograr al aprender del funcionamiento del ecosistema natural y de los métodos sostenibles autóctonos del uso y el manejo de los

recursos naturales renovables (Bosse, 1992). Existen tres atributos que todos los sistemas agroforestales poseen. Éstos son:

Productividad. Puede ser mejorada por la agroforestería cuando hay un aumento en los diversos productos del árbol, rendimientos mejorados de cultivos asociados, reducción de insumos y aumento en la eficiencia de mano de obra.

Sostenibilidad. La agroforestería puede lograr y mantener indefinidamente las metas de conservación y fertilidad, mediante los efectos benéficos de las especies leñosas perennes sobre los suelos.

Adaptabilidad. El hecho de que la agroforestería es una palabra relativamente nueva para un antiguo conjunto de prácticas significa que, en algunos casos, la agroforestería ya ha sido aceptada por la comunidad agrícola. Sin embargo, aquí la implicación es que las tecnologías mejoradas o nuevas que se introducen en nuevas áreas deberían también adecuarse a las prácticas agrícolas locales.

Ventajas de los sistemas agroforestales. Los cultivos se benefician de los árboles en la práctica agroforestal, debido a:

Adición de nutrimentos. Esto se logra, principalmente, por la fijación biológica del nitrógeno, causada por algunas especies leñosas que poseen esta propiedad, y por la incorporación de abono verde (hojarasca de los árboles y de las podas, las que, incorporadas, proporcionan nutrimentos y materia orgánica al suelo).

Conservación del agua

Materia orgánica. La materia orgánica que los árboles agregan al suelo (hojarasca, raíces) aumenta la habilidad del suelo para absorber y retener agua.

Rompevientos. Los árboles actúan como rompevientos y, por tanto, reducen la tasa de evaporación causada por vientos fuertes y secos.

Sombra. Las copas de los árboles, al proporcionar sombra al suelo descubierto, pueden reducir las pérdidas de evaporación entre las temporadas de cultivos.

Descomposición de la raíz. La poda periódica en sistemas agroforestales provoca que una porción de sus raíces muera. A través de la descomposición agregan materia orgánica al suelo (Young, 1997, citado por Krishnamurthy, 1999).

Conservación del suelo. Las especies arbóreas y arbustivas perennes, plantadas en los contornos, actúan como una estructura física y reducen así la erosión del suelo. Si a éstas plantamos con pasto y lo establecemos en curvas a nivel, sirven para la construcción de terrazas de formación lenta, dentro de las prácticas de conservación de suelos. La hojarasca sobre la superficie del suelo, así como también la protección por la copa del árbol, disminuye la fuerza con la cual las gotas de lluvia golpean el suelo. Una barrera compacta formada con los árboles reduce la velocidad del viento a través del campo de cultivo, y reduce así la cantidad de suelo erosionado por el viento. El control de la erosión del suelo por los sistemas agroforestales no sólo ayuda a mantener el suelo en su lugar, sino también contribuye a la fertilidad del mismo a través del mantenimiento y la utilización de nutrimentos que, de otra manera, se perderían (Krishnamurthy, 1999).

Permite recuperar suelos degradados. Al asociar estructuras mecánicas de conservación de suelos con arbustos y, a veces, con árboles, se logra recuperar suelos que se dejaron de cultivar porque se volvieron

improductivos a causa de la erosión. En Angahuana, Tungurahua, gracias a las terrazas y la protección de taludes, se cosechan importantes cantidades de hortalizas donde hace algunos años sólo había cangahuas erosionadas. En Huaraz (Perú) se han construido pircas y plantado alisos y queñuas en laderas abandonadas y sumamente erosionadas; ahora se cosechan papa, maíz, alfalfa y varios productos. Resultados semejantes se han logrado en Chinchero, Cusco (Perú), con terrazas de banco y arbustos en el área de seguridad, donde se han obtenido buenas cosechas de papa en lugares que hace poco ya no se cultivaba.

Control de malezas. La sombra de la copa de los árboles suprime el crecimiento de malezas. La ausencia de barbecho en los sistemas agroforestales previene de un incremento de la población de malezas. Los setos de los árboles actúan como barrera en contra de la diseminación de las semillas de malezas.

Secuestro de carbono. Las especies arbóreas absorben carbono y ayudan a la descontaminación ambiental. El potencial de la agroforestería para la remoción del carbono ha sido recientemente identificado. Los sistemas agroforestales que sirven como un banco vivo de carbono pueden contribuir enormemente a la estabilización del clima y, por lo tanto, para el desarrollo sostenible. Uno de los factores importantes que en la actualidad pone en peligro a la agricultura sostenible es el cambio de clima causado por los gases del efecto invernadero. El bióxido de carbono es el mayor componente de esta emisión de gases (Krishnamurthy, 1999).

Efectos adversos de los sistemas agroforestales

Competencia por nutrimentos. Éste es uno de los problemas más serios que se presenta, cuando los árboles tienen un sistema radicular que domina al de los cultivos anuales recién plantados. Los árboles, en sistemas agroforestales, deberían tener penetración profunda y una dispersión lateral limitada, ya que la poda de raíces es demasiado cara para ser práctica.

Competencia por humedad. En zonas secas, éste es uno de los grandes problemas que se ha encontrado en la agroforestería.

Producción de sustancias que inhiben la germinación o el crecimiento. Algunas especies producen toxinas que no permiten la germinación o retardan el crecimiento. Se ha sugerido, también, que la producción de sustancias alelopáticas de las raíces

de los árboles pudieran presentar un problema en la agroforestería, pero hay poca evidencia de esto (Poore y Fries, 1985, citado por Nair, 1997).

Pérdida de materia orgánica y nutrientes en la cosecha de árboles. Los árboles acumulan grandes cantidades de nutrientes en su biomasa, parte de la cual es recogida en la cosecha. Desde el punto de vista de manejo del suelo, es deseable dejar que todas las ramas y la hojarasca se pudran, incluso la corteza, lo cual entra en conflicto con las necesidades de la población, que considera a esto una práctica irracional (Nair, 1997).

Experiencias en prácticas de Conservación de Suelos y Agroforestería en Las Huaconas

Los suelos de la microcuenca del río Sicalpa se caracterizan por ser de origen volcánico, textura franca y con alta capacidad de fijación de fósforo. Alrededor del 80 % de la superficie de la microcuenca presenta pendientes fuertes (25 % a 50 %), muy fuertes (50 % a 70 %) y abruptas (más de 70 %), lo que constituye una restricción seria para el uso en agricultura, debido a su alto grado de erodabilidad.

La fragilidad de los suelos y las fuertes pendientes en las que se cultiva determinan la necesidad urgente de implementar prácticas de conservación de suelos para reducir la erosión y la degradación de suelos, que es común observar en la provincia Chimborazo (Figuras 2.25, 2.26).

Con estos antecedentes, el Departamento de Manejo de Suelos y Aguas (DMSA), de la Estación Experimental Santa Catalina (EESC), seleccionó dos lotes en las comunidades de influencia del PI Las Huaconas, con el fin de implementar obras de conservación de suelos y



Figura 2.25. Erosión del suelo causada por la remoción con la maquinaria agrícola y el arrastre por el escurrimiento superficial del agua de lluvia en Chimborazo.



Figura 2.26. Degradación y desertización de suelos por efecto de la erosión en Chimborazo.

agroforestería, que permitan un manejo sostenible de suelos. A continuación, se describen las actividades realizadas en cada comunidad.

Comunidad Huacona Santa Isabel

En esta comunidad, ubicada a 3 400 msnm, se instaló un ensayo agroforestal de validación de resultados, compuesto por tres combinaciones forestales de 75 m cada una, con alternancia de una especie arbórea con dos arbustivas en doble hileras, distanciados a 1 m entre especies y a 2 m entre hileras. Los sistemas en estudio fueron los siguientes:

- A1 = Pino + retama (*Pinus patula* + *Spartium junceum*).
- A2 = Pino + mora (*Pinus patula* + *Rubus* sp.).
- A3 = Pino + quishuar (*Pinus patula* + *Buddleja incana*)

Entre las hileras de las combinaciones forestales, se sembró Holco (*Holcus lannatus*), pasto utilizado por los agricultores como fuente de forraje para sus animales.



Figura 2.27. Lote de investigación en conservación de suelos, agroforestería y jardín de conservación de RTAs en la comunidad Huacona Santa Isabel, Chimborazo. Noviembre de 1998.

Además, en el lote de investigación se trazaron obras de conservación de suelos, como dos zanjas de desviación, las cuales fueron protegidas en la parte superior e inferior por pasto avena (*Arrhenatherum elatius*) (Figura 2.27), especie que presenta un alto potencial forrajero en zonas alto-andinas, según estudios realizados por la Facultad de Ciencias Pecuarias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Comunidad Santa Rosa de Culluctús

Ubicada a 3 700 msnm, el lote de investigación tiene aproximadamente dos has, la pendiente se encuentra entre el 40 % y el 50 %, y son suelos ligeramente ácidos, profundos y ricos en materia orgánica.

En este lote se realizaron obras mecánicas de conservación de suelos y prácticas agroforestales. Las obras de conservación de suelos constan de nueve zanjas de desviación, las que se protegieron, en la parte superior, con una doble hilera de pasto millín (*Phalaris tuberosa*), y en la parte inferior, con una triple hilera de pasto llorón (*Dactylis glomerata*), especies utilizadas por el agricultor como forraje para sus animales menores. El componente agroforestal está compuesto por tres combinaciones forestales y cuatro repeticiones, y se alterna una especie arbórea con dos arbustivas en doble hileras, distanciadas a 1 m entre especies y a 2 m entre hileras. Los sistemas en estudio son los siguientes:

A1 = Pino + retama (*Pinus patula* + *Spartium junceum*).

A2 = Pino + mora (*Pinus patula* + *Rubus* sp).

A3 = Pino + quishuar (*Pinus patula* + *Buddleja incana*)

Con estos ensayos se pretende demostrar al agricultor que existen alternativas viables para evitar la pérdida de suelo por erosión hídrica, que es el problema más grave en la zona, y dar un manejo adecuado del suelo para alcanzar una producción sostenible.

Los resultados obtenidos demuestran que, de las especies de pastos utilizadas en el ensayo, pasto millín presenta un buen potencial para retener suelo y, además, se utiliza como forraje para especies menores y mayores. El pasto avena es otra especie que está cumpliendo un papel muy importante en este sistema de producción, ya que uno de los problemas serios, a esta altitud, es la falta de forraje, y con esta especie alto-andina los agricultores obtienen rendimientos de forraje entre 25 y 30 t/ha/corte, con una materia seca de alrededor de 28 %; tiene buena palatabilidad y mayor persistencia que los pastos mejorados.

Con la construcción de las zanjas de desviación, se ha reducido la pérdida del suelo y de los cultivos por problemas de erosión hídrica, mediante lo cual se trata

de concientizar al agricultor para que implemente estas prácticas de manejo sustentable de suelos en sus lotes de producción.

En esta comunidad, se realizó capacitación informal con charlas y prácticas en campo sobre reciclaje de nutrimentos; se construyó una compostera para manejo de residuos de cosechas y deyecciones de animales de corral para la obtención de abono orgánico.

Efecto de dos sistemas agroforestales sobre el crecimiento y producción de varios cultivos de la sierra

El experimento se condujo en la Estación Experimental Santa Catalina, a 3 050 msnm, 0° 22' Latitud sur y 78° 23' de Longitud oeste, 12 °C de temperatura promedio y 1 200 mm de precipitación anual. Los suelos corresponden al orden Andisoles, compuestos de cenizas volcánicas, de textura franca y de topografía relativamente plana (5 %). Los sistemas agroforestales estudiados fueron:

AQ = Acacia (*Acacia melanoxylum* L.) + Quishuar (*Buddleja incana* Ruiz y Pavón);

AL = Aliso (*Alnus acuminata* O. Ktzeff) + Retama (*Spartium junceum* L.), y control a campo abierto, sin árboles (CA). Éstos ocuparon parcelas de 2 840 m², incluidos caminos, con dos repeticiones cada uno. Cada sistema tuvo dos hileras de árboles de 30 m de largo, con 30 árboles y 30 arbustos, separados en forma alterna a 1 m dentro de las hileras. Las hileras estuvieron orientadas de norte a sur, para permitir el estudio del efecto de la sombra: matutina, proyectada hacia el oeste, y vespertina, orientada al este. Las raíces andinas, zanahoria blanca (*Arracacia xanthorrhiza* B.), jícama (*Smallanthus sonchifolius* P. y E.) y miso (*Mirabilis expansa* R. y P.), estuvieron ubicadas en surcos a 1 m y 2 m de los sistemas agroforestales, y así recibían sombra matutina y vespertina.

Comportamiento de tres especies de raíces andinas bajo sistemas agroforestales

El rendimiento de raíces frescas de zanahoria blanca, jícama y miso presentó diferencias estadísticas significativas. Es así que, en el caso de zanahoria blanca, hubo una disminución en sombra matutina y sombra vespertina en un 90% y un 80%, respectivamente; en el caso de jícama, hubo una disminución del 80% y el 50% en los sistemas Acacia-quishuar y Aliso-retama, respectivamente. Por último, al analizar los rendimientos de miso, se encuentran diferencias muy pronunciadas, ya que existe una disminución del 90 % y el 80 % en sombra matutina y sombra vespertina, respectivamente (Figura 2.28).



Figura 2.28. Raíces andinas bajo el efecto de sistemas agroforestales. **A.** Zanahoria blanca; **B.** Jícama; **C.** Miso.

Se observa, en los cuadros 2.12, 2.13 y 2.14, para las tres raíces andinas, diferencias altamente significativas, al comparar los rendimientos entre sistemas, pues, para las tres raíces en estudio, el sistema a pleno sol es el que tiene un mayor rendimiento. Esto se debe a que ya existe una influencia de sombra por parte de los sistemas agroforestales; es así cómo, en el caso de zanahoria blanca (Cuadro 3.12), existe una reducción del 94 % en

el sistema Acacia-quishuar, y 90 % en el sistema Aliso-retama, en comparación con el testigo a campo abierto, y, en el caso de la jícama, tenemos una disminución del 79 % y el 67 % para los sistemas Acacia-quishuar y Aliso-retama, respectivamente (Cuadro 2.13). En el caso de miso, se tuvo una reducción del 87 % y el 83 % para Acacia-Quishuar y Aliso-Retama, respectivamente.

Cuadro 2.12. Promedios para cuatro variables agronómicas de zanahoria blanca bajo el efecto de tres sistemas agroforestales (EESC, 2001)

Tratamientos	Largo prom. cm	Diámetro prom. cm	Rendimiento t/ha	No. malezas/0,25 m ²
Acacia+quishuar	8,750	2,250	0,450	19,750
Aliso+retama	7,750	2,000	0,850	35,500
Pleno sol	11,000	3,750	7,825	40,750

Cuadro 2.13. Promedios para cuatro variables agronómicas de jícama bajo el efecto de tres sistemas agroforestales (EESC, 2001)

Tratamientos	Largo prom. cm	Diámetro prom. cm	Rendimiento t/ha	No. malezas/0,25 m ²
Acacia+quishuar	9,247	3,140	2,550	47,250
Aliso+retama	8,488	3,268	3,950	39,500
Pleno sol	11,122	4,548	12,150	30,750

Cuadro 2.14. Promedios para cuatro variables agronómicas de miso bajo el efecto de tres sistemas agroforestales (EESC, 2001)

Tratamientos	Largo prom. cm	Diámetro prom. cm	Rendimiento t/ha	No. malezas/0,25 m ²
Acacia+quishuar	14,210	2,335	3,450	10,500
Aliso+retama	15,313	1,845	4,700	36,500
Pleno sol	20,875	3,765	27,500	39,000

Lecciones Aprendidas

Conservación en fincas de agricultores de la biodiversidad de RTAs

- El accionar de las Ferias de Conservación de Semillas se está consolidando, ya que se observó una participación más activa de las comunidades de Chimborazo durante los cuatro años, con una proporción equitativa de género. Esto demuestra el interés común, tanto del padre como de la madre de familia por aportar en la conservación de los recursos genéticos de TAs y que tienen roles y responsabilidades particulares. Los porcentajes de participación de la mujer indican que ellas tienen un papel importante en la conservación de la agrobiodiversidad, y, por lo mismo, son actrices que deben ser incluidas en todos los niveles de elaboración, formulación, implementación y evaluación de políticas estatales de conservación, manejo y gestión de la agrobiodiversidad.
- Los resultados de las ferias permitieron ratificar al sector de Las Huaconas como el agroecosistema potencial para la conservación *in situ* de TAs. De igual forma, fue posible identificar a potenciales agricultores conservacionistas dentro y fuera del microcentro elegido. En el futuro, sería importante implementar nuevas estrategias para la conservación, como, por ejemplo, la consolidación de «Asociaciones de Agricultores Conservacionistas», o bien, el establecimiento de bancos comunales y núcleos de producción dirigidos a transformación (agroindustria) y mercado. Igualmente, se debe promover el apoderamiento de este tipo de actividades por parte de los gobiernos locales, como una iniciativa que permita la conservación y la valoración de las plantas autóctonas que han contribuido con la seguridad alimentaria y que son un soporte de la nutrición de las comunidades indígenas.
- El inventario local, en las tres comunidades, nos permitió observar un incremento notable en la variabilidad de TAs desde 1999 hasta 2001, debido principalmente al intercambio de germoplasma como producto de las ferias de conservación de semillas y la concientización realizada sobre la importancia de los cultivares primitivos para mantener en estabilidad la dieta alimenticia.
- El seguimiento de las semillas durante tres años nos permitió observar que ciertos cultivares siempre están presentes; en cambio, otros son frecuentes, es

decir, que, en ciertos años, desaparecen, pero vuelven a aparecer en subsiguientes ciclos agrícolas. Por otro lado, existen cultivares raros que se los encuentra en forma esporádica en algún año; éstos son los que están en mayor peligro de erosión genética.

- El destino de la producción de melloco y la oca está bien definido, y se usa, principalmente, para consumo local, venta en los mercados locales y, en menor grado, en los urbanos; últimamente, para procesamiento en forma de mermeladas, pasteles, espumilla, etc. No todos los cultivares primitivos se los utiliza para la venta directa, ya que cada uno tiene su uso en la chacra. Es así que los mellocos caramelo y rosado son destinados a la venta, y los rojos y blancos, para autoconsumo o procesamiento. Esto sucede también con la oca, y se utiliza la ronchis para el mercado y, las otras (marica, puca, etc), para procesamiento o autoconsumo.
- El reto ahora es moverse hacia la sostenibilidad de la conservación *in situ* en las chacras de los campesinos, mediante la búsqueda del aprovechamiento de la variabilidad presente en las comunidades, siempre con el criterio de que **lo que no se usa, no se conserva**. Este no es un reto fácil de cumplir y requiere la flexibilidad y la voluntad de los profesionales de las organizaciones gubernamentales, las no gubernamentales y los municipios del sector para cooperar con los agricultores y otros actores institucionales. La conservación *in situ* tampoco debe desligarse de consideraciones externas, tales como las economías de mercado y la globalización, por lo que los aspectos de revalorización, competitividad y exportación deben también considerarse de manera permanente.
- Los resultados de la cuantificación de la erosión genética en las provincias de Chimborazo, Cañar y Tungurahua evidencian una preocupante pérdida de variabilidad en los TAs, debido a las siguientes razones: una baja demanda por estos cultivos en el mercado (principalmente mashua); poca rentabilidad (se venden a precios bajos); poca disponibilidad de tierra cultivable (minifundio); la preferencia por el cultivo de otras especies; problemas abióticos (heladas, sequía) y bióticos (plagas y enfermedades) y la poca disponibilidad de semilla de calidad, entre otras razones. Si no se encuentran nuevas alternativas de usos alternativos y de nuevos mercados, no se garantiza que los materiales reintroducidos sean mantenidos en el tiempo; el monitoreo continuo y la búsqueda de usos conferirán sostenibilidad a la conservación de la biodiversidad de TAs.

- Es necesario ampliar el estudio de erosión genética para identificar si, en algunos casos, ocurrió pérdida de la diversidad existente, o si el germoplasma se desplazó a otros nichos agroecológicos fuera de estas provincias. De igual manera, se sugiere realizar un estudio con otras herramientas moleculares más sensibles (AFLPs, microsátélites), que confirmen los porcentajes de erosión obtenidos del estudio y permitan, a la vez, fomentar el mejoramiento participativo con las comunidades.

Conservación *ex situ* de la biodiversidad de RTAs en Ecuador

- La caracterización y la evaluación de germoplasma a nivel de campo aporta información muy valiosa para distinguir las entradas dentro de las colecciones conservadas *ex situ*. Datos generados durante varios ciclos de cultivo permiten obtener información más precisa para el conocimiento de estas colecciones. En el caso de melloco, por ejemplo, una adecuada aplicación de descriptores en campo permitió discernir las entradas y determinar los morfotipos representativos de la colección. Esta información fue la base para la selección de los materiales que fueron enviados a *Las Huaconas* como parte de la Línea de Acción *in situ*.
- El proceso de caracterización y evaluación de germoplasma ha evolucionado con el apareamiento de nuevas técnicas de estudio, especialmente a nivel de laboratorio. En un inicio, las diversas entradas o accesiones se distinguían al utilizar diferencias detectables a nivel de isoenzimas, las cuales son influenciadas por el ambiente. Recientemente, con el apareamiento de técnicas moleculares, se han ido añadiendo estudios de "finger-printing" o huella digital de las colecciones a nivel de ADN. La evolución, en cuanto a aplicación de diferentes técnicas de estudio de ADN por parte del DENAREF, desde marcadores RAPDs (dominantes) y últimamente el establecimiento de otros marcadores (codominantes), como son los microsátélites, permitirán generar información fácilmente utilizable por los programas de mejoramiento.
- Los resultados de caracterización y evaluación de RTAs permitió identificar colecciones nucleares o colecciones representativas de la variabilidad genética existente en las grandes colecciones de RTAs mantenidas en campo o mantenidas con duplicados *in vitro*. Sin duda, esta información promoverá la utilización de RTAs por diferentes

actores interesados, sean fitomejoradores, comunidades campesinas o científicos en general.

- El mantenimiento de un duplicado de conservación *in vitro* para RTAs fue efectivo una vez que las condiciones climáticas o demás factores abióticos y bióticos pueden poner en riesgo las colecciones de campo. Igualmente, las mutaciones de etiqueta que pudiesen ocurrir en el manejo de innumerables entradas, año tras año, tiene el respaldo seguro de materiales *in vitro* que, en último caso, son fácilmente aclimatadas a invernadero y luego devueltas a campo.
- Otras metodologías de conservación, como tuberización *in vitro*, permitirían intercambiar materiales en buenas condiciones y en poco volumen hacia los diferentes usuarios. Desafortunadamente, los protocolos para tuberización de mashua no han sido efectivos, como lo fueron, para el caso de melloco y la oca. Esfuerzos adicionales deben hacerse para estandarizar este protocolo en un futuro.
- Sin duda alguna, el conocimiento generado en el estudio de las colecciones de RTAs, basadas en procesos de caracterización y evaluación, adicionadas a estudios alternativos de conservación *ex situ*, permitieron apoyar con efectividad todos los estudios relacionados a RTAs por las otras Líneas de Acción.

Relación de la conservación *ex situ* con la conservación en fincas de agricultores

- El rescate, la recolección y la conservación *ex situ* de RTAs durante los años ochenta, por parte del DENAREF, permitió la reintroducción de germoplasma en las comunidades en estudio (conservación *in situ*); con esto, se pone en evidencia la complementariedad de los dos tipos de conservación. Este proceso ha permitido el aumento de la diversidad en las chacras de los agricultores de *Las Huaconas*, lo que contribuye a la seguridad alimentaria del sector y, por ende, al bienestar familiar.
- La activa presencia de la comunidad en la selección participativa ha conferido poder de ejecución a los agricultores. Los agricultores que participan en la selección se benefician porque tienen acceso temprano a nuevos materiales y variedades adaptados a la zona, son reconocidos por la comunidad y aprenden nuevas técnicas de selección. Es así que la selección participativa puede incrementar la participación de la comunidad en el manejo de los

recursos naturales locales, al hacer buen uso de los conocimientos y las habilidades para el mejoramiento de los cultivos.

Conservación y manejo de suelos

- Los suelos de la sierra del centro y del norte del país se caracterizan por ser de origen volcánico y presentar un alto riesgo de erosión por efecto del agua de lluvia, el viento y el hombre. El estudio de levantamiento de suelos permitió tener un mejor conocimiento de las características intrínsecas y extrínsecas de los suelos de la microcuenca del río Sicalpa, los que están, en su mayoría, bajo cultivos de ciclo corto, pastos y zonas de reserva con paja de páramo. Los resultados obtenidos indican que los suelos de la parte alta de la microcuenca son más profundos que los de la parte baja; esto explica que la frontera agrícola se amplíe hacia las zonas de los páramos, con el consiguiente problema de destrucción de las reservas de agua que constituyen estas áreas.
- Otras experiencias adquiridas es el conocimiento de los problemas potenciales de estos suelos, entre los que se mencionan el uso intensivo del suelo con cultivos, el mal uso del riego, la profundidad efectiva de los suelos es superficial y el 80% de la superficie de la microcuenca tiene pendientes muy fuertes a abruptas, todo lo cual limita la explotación agrícola y acelera la erosión.
- Para corregir los problemas de erosión de suelos, se establecieron reuniones de trabajo con los socios de las comunidades, con el fin de analizar las diferentes alternativas de conservación de suelos. Fue así como se decidió trazar zanjas de desviación, las que fueron protegidas con pasto millín; también se plantaron sistemas agroforestales en los contornos del lote con la utilización de especies arbóreas y arbustivas combinadas con pastos. Las alternativas de manejo agroforestal y conservación de suelos en los lotes de investigación redujeron la pérdida de suelo y cultivos por erosión hídrica, alternativa reconocida como viable por los agricultores al comparar con lotes vecinos.
- En altitudes de entre 3 400 m y 3 700 m, la producción de pastos es deficiente, debido a las condiciones ambientales y a la falta de adaptación de las nuevas variedades de pasto. Al evaluar el comportamiento de especies nativas y mejoradas de pasto, se determinó que el pasto avena fue el que produjo los rendimientos más altos de forraje fresco,

con 25 y 30 t/ha/corte, y que presentan, además, buena palatabilidad y mayor persistencia que los pastos mejorados, por lo cual se recomienda su difusión entre las comunidades involucradas en el Proyecto Integral *Las Huaconas*.

Investigación y validación de sistemas agroforestales para una agricultura sostenible en la sierra del Ecuador

- La evaluación realizada durante nueve años de investigación nos permite observar variabilidad en el rendimiento de raíces andinas, ya que la disminución, durante los últimos años, ha sido del 82 % para zanahoria blanca, 73% para jícama y 85 % para miso, en relación con campo abierto, lo cual se debe, principalmente, al efecto de sombra producido por las especies leñosas, las que forman una barrera que impide el paso de luz, sobre todo a los tratamientos que se ubican en sombra matutina. Por lo tanto, se podría utilizar el área de interfase árbol-cultivo durante los primeros cuatro años después de instalarse cualquier práctica agroforestal, porque en este tiempo la copa de los árboles no es lo suficientemente densa como para producir competencia por luz.
- Los resultados del seguimiento realizado a las raíces andinas nos demuestran que la disminución en el rendimiento se debe al efecto de sombra causado por las especies arbóreas y arbustivas; además, se puede añadir el efecto que producen las raíces de las especies leñosas al invadir el área de las parcelas donde están ubicadas las raíces andinas en estudio. En el caso de *Acacia melanoxylon*, es una especie que no permite un buen desarrollo de los cultivos a su alrededor. Por tanto, se debería manejar un plan de podas de raíces con el fin de lograr un mejor desarrollo de los cultivos que se elijan combinar al implementar una práctica agroforestal.
- Una ventaja que se pudo observar durante este tiempo de investigación fue el efecto positivo de la barrera de especies leñosas, en el caso de protección contra heladas, porque los tratamientos ubicados en campo abierto presentaron un daño del 60 % al 70 % del área foliar, mientras que los localizados bajo las barreras agroforestales presentaron un daño del 4 % al 5 %. Esta característica fue más visible en jícama, que es una de las tres especies de raíces andinas más susceptibles a heladas, debido a que esta especie, en campo abierto, sufrió una defoliación severa por causa de las heladas.

Agradecimientos:

Los autores expresan un sincero agradecimiento a las siguientes personas que estuvieron involucradas en la consecución de los resultados resumidos en las páginas anteriores: Lic. Laura Muñoz, Ing. Nelson Mazón, Biol. Eduardo Morillo, Lic. Gabriela Piedra, Lic. Raúl Pozo, Agr. José Barrera, Ing. Raúl Ramos, Agr. Rafael Parra, Egdo. Eddie Zambrano, Egda. Bertha Carrera y Biol. Bernarda Elizalde.

Bibliografía

- Altieri, M. 1993. El rol ecológico de la biodiversidad en agroecosistemas. *Agroecología y desarrollo* 4:2-11.
- Applied Biostatistics Inc., NTSYS-pc. 1994. Numerical Taxonomy and Multivariate Analysis System. En 1,80. EXETER Software. New York.
- Autrique, E.; M. Nachit; P. Monneveux; S. Tanksley; M. Sorrells. 1996. Genetic Diversity in Durum Wheat Based on RFLPs, Morphological Traits and Coefficients of Parentage." *Crop Science* 36:735-742.
- Beer, S.; T. Goffreda; J. Phillips; L. Murphy; M. Sorrells. 1993. Assessment of Genetic Variation in *Avena sterilis* Sing Morphological Traits, Isozymes and RFLPs. *Crop Science* 33:1386-1393.
- Bosse, 1992. Actividades agroforestales y silviculturales en la región amazónica ecuatoriana: experiencias y resultados 1985-1990 en la región de Lumbaquí Provincia de Sucumbíos. Red Agroforestal Ecuatoriana. Quito p. 15 – 30.
- Castillo, R.; J. Estrella; C. Tapia. 1991. Técnicas para el manejo y uso de los recursos fitogenéticos. Departamento Nacional de Recursos Fitogenéticos y Biotecnología, INIAP. Quito, Ecuador. 248 p.
- Cochran, W. 1954. Some Methods for Strengthening the Common χ^2 Tests. *Biometrics* 10:417-451.
- DENAREF, 1997. Informe Consolidado de la Fase 1. Subproyecto R2-004: Castillo, R. y N. Mazón (eds.). Manejo Integral de la Biodiversidad de Raíces y Tubérculos Andinos. Marzo, 1993 - Octubre 1997. 48 p.
- Duncan, D. 1975. T-test and Interval's for Comparisons Suggested by the Data. *Biometrics* 31:331-359.
- Engels, J. 1983. A Systematic Description of Cacao Clones. 1. The Discriminative Value of Quantitative Characteristics. *Euphytica* 32:387-396.
- Engels, J. 1995. Complementarity of *In Situ* and *Ex Situ* Conservation. *In: In situ* conservation and sustainable use of plant genetic resources for food and agriculture in developing countries. Report of a DSE/ATSAG/IPGRI, workshop 2-4 May 1995, Bonn-Rottgen, Germany. p. 99-100.
- Gallardo, J. 2002. Curso sobre Materia Orgánica del Suelo: Ecosistemas Terrestres, Ciclos Biogeoquímicos y Consideraciones Ambientales. Quito, Ecuador.
- Gower, J. 1967. A Comparison of Some Methods of Cluster Analysis. *Biometrics* 23: 623-637.
- Hermann, M.; A. del Río. 1989. Polimorfismo isoenzimático en *Ullucus tuberosus*, su detección e importancia en la conservación de germoplasma. *In: IX Congreso Latinoamericano de Genética y II Congreso Peruano de Genética*. Lima, Perú. 140 p.
- Hermann, M.; J. Heller. 1997. Andean roots and tubers: ahípa, arracacha, maca and yacon. Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. 21. Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research, Gatersleben/International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy. p. 224-228.
- Jarvis, D., L. Myer; H. Klemick; L. Guarino; M. Smale; A. Brown; M. Sadiki; B. Sthapit; T. Hodgkin. 2000. A Training Guide for *In Situ* Conservation *On-Farm*. Version 1. International Plant Genetic Resources Institute. Rome, Italy. 160 p.
- Kendall, M.; A. Stuart. 1979. The Advanced Theory of Statistics. Volumen 2, New York: Macmillan Publishing Company, Inc.
- Krishnamurthy, 1999. Agroforestería Básica. Red de Formación Ambiental, primera edición, D.F. México. p. 20-28.
- Mazón, N.; R. Castillo. 1997. Informe consolidado de la fase 1. Programa Colaborativo de la Biodiversidad de Raíces y Tubérculos Andinos. Subproyecto R2-004: Manejo Integral de Recursos Fitogenéticos de Raíces y Tubérculos Andinos. (marzo, 1993 - octubre 1997). 48 p.
- Mazón, N. 1993. Análisis de la variación morfológica e isoenzimática de la colección ecuatoriana de zanahoria blanca (*Arracacia xanthorrhiza* Bancroft). Tesis Ingeniero Agrónomo. Facultad de Ingeniería Agronómica, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 135 p.

- Montagnini, F. 1992. Sistemas Agroforestales, principios y aplicación en los trópicos. San José, ET/US/USAID. p 17.
- Monteros, A. 1996. Estudio de la variabilidad genética e isoenzimática de 78 entradas de mashua (*Tropaeolum tuberosum* R&P). Santa Catalina, INIAP. Tesis Ingeniero Agrónomo. Universidad Central del Ecuador. Quito, Ecuador. 155 p.
- Morillo, E. 2002. Caracterización molecular de la colección de mashua de INIAP. *In*: Informe trianual (1999-2001) del Departamento Nacional de Recursos Fitogenéticos y Biotecnología. Estación Experimental Santa Catalina, INIAP. Quito, Ecuador. p.55-56.
- Morillo L., 1998. Análisis de polimorfismo en las colecciones de jícama (*Polymnia sonchifolia* P&E) y miso (*Mirabilis expansa* R. & P.) del banco de germoplasma de INIAP. Tesis Licenciado Ciencias Biológicas. Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Quito, Ecuador. 105 p.
- Nair, P. 1997. Una introducción a la agroforestería. Universidad Autónoma. Chapingo, México. p.295-299
- Nieto, C. 1998. La agroecología y el manejo de recursos naturales como alternativa para una agricultura sostenible. Documento presentado en el seminario de profesionalización agropecuaria. Universidad Cooperativa de Colombia-AMDE Ambato, Ecuador, 32 p.
- Piedra G. 2002. Caracterización morfoagronómica y molecular de la colección nacional de oca (*Oxalis tuberosa* Mol) del INIAP. Tesis Licenciado Ciencias Biológicas. PUCE, Quito, Ecuador. 111 p.
- SAS Institute. 1990. SAS/STAT User's Guide. 6th ed. SAS Institute, Cary, NC. s.n.t.
- Schilde-Rentschler, L.; P. Schmiediche. 1984. El cultivo de tejidos: su pasado, presente y futuro. Circular CIP. Lima, Perú. 11(1): 1-6.
- Schut, J.; X. Qi; P. Stam. 1997. Association Between Relationship Measures Based on AFLP Markers, Pedigree Data and Morphological Traits in Barley. Theoretical Applied Genetics 95:1161-1168.
- Tapia, C. 2000. Informe de avance de actividades. Línea de acción: Identificación de microcentros de diversidad y conservación *in situ* de TAs. Programa Colaborativo de Conservación y Uso de Raíces y Tubérculos Andinos. DENAREF-INIAP. 25 p.
- Tapia, C. 2002. Conservación de la biodiversidad de tubérculos andinos en chacras de agricultores de Las Huaconas, Chimborazo-Ecuador. (Documento en edición).
- Tapia, C.; R. Castillo; N. Mazón. 1996. Catálogo de Recursos Genéticos de Raíces y Tubérculos Andinos en Ecuador. DENAREF-INIAP. 180 p.
- Tapia, C.; J. Estrella. 2001. Estudio de caso: Conservación *in situ* y reintroducción de germoplasma de tubérculos andinos en comunidades indígenas del sector Las Huaconas – Colta, Provincia de Chimborazo. DENAREF-INIAP. 21 p.
- UVTT. 1998. Diagnóstico rural participativo – Línea de base del Proyecto Integral Las Huaconas. Unidad de Validación y Transferencia de Tecnología. INIAP. Quito, Ecuador. p. 1 – 40.
- Ward, Jr. J. 1963. Hierarchical Grouping to Optimize an Objective Function. Journal of the American Statistical Association 58:236-244.