



PARTE D

# Mejoramiento y Tecnificación



## CAPÍTULO 17

# Recursos Genéticos de *Manihot* en el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT)

Gustavo Jaramilo O.\*

### Introducción

La yuca (*Manihot esculenta* Crantz) es la única especie cultivada entre las docenas de especies que comprende el género *Manihot*. Su modo reproductivo alógamo y su constitución genética altamente heterocigótica constituyen la principal razón para propagarla por estacas, y no por semilla sexual. Para preservar los caracteres fenotípicos observados, la especie ha sido cultivada y preservada a través de los años por propagación vegetativa continua. Teniendo como centro primario de origen y diversidad el occidente de la Amazonia, ya en tiempos precolombinos la yuca migró hacia el occidente (Perú). Luego pasó al norte (Colombia) y desde allí hacia América Central. Al sur migró hasta Paraguay y Argentina, pero no se sabe con precisión la época (Daniel Debouck, 2001, comunicación personal). Después de los años 1500, la yuca fue llevada por españoles y portugueses a centros secundarios de diversidad en Africa y Asia (Hershey y Amaya, 1979).

Dentro del sistema del Grupo Consultivo para la Investigación Agrícola Internacional (GCAI), el CIAT tiene la responsabilidad global de conservar los recursos genéticos de *M. esculenta*. Actualmente, las colecciones mantenidas en los centros GCAI están bajo el auspicio de la FAO, por ser patrimonio de la humanidad.

Tal como ocurre en otros cultivos, la justificación para la conservación del germoplasma de yuca se basa en los siguientes puntos:

1. Evitar la pérdida de especies silvestres y cultivadas por problemas de **erosión genética**, la cual es causada por factores de presión tales como la adopción de variedades modernas, el desmonte de tierras para el urbanismo y la alteración del hábitat natural.
2. Mantener un alto grado de **variabilidad genética** para utilizar en los programas de mejoramiento del cultivo.

Mientras se perfeccionan las técnicas de criopreservación, actualmente en el CIAT la conservación en el Banco de Germoplasma se basa en dos sistemas: en campo e in vitro. Estas dos modalidades de conservación ex situ mantienen exitosamente la combinación de genes, sin cambios comprobados en la estabilidad genética de los clones. Aportan también elementos importantes para la conservación, caracterización y uso del germoplasma (Debouck y Guevara, 1995).

En este capítulo se compilan varios artículos científicos relacionados con todas las actividades del manejo del germoplasma de yuca: colección, conservación, caracterización, documentación y distribución.

### Codificación y Nomenclatura de Clones

Según Jaramillo (1993), se sigue el siguiente esquema:

#### **Variedades de *Manihot esculenta***

Para las variedades (landraces) colectadas dentro y fuera de Colombia, el CIAT asigna un código compuesto de tres partes:

\* Proyecto Mejoramiento de Yuca, CIAT, Cali, Colombia.

### M + país + número consecutivo

- La letra M corresponde a la inicial del género *Manihot*.
- Después se colocan las 2 ó 3 primeras letras del país de origen, según código FAO.
- Finalmente, un número arábigo consecutivo, que indica el orden de entrada del material al CIAT.

A manera de ejemplo: MBRA 383 indica el clon de yuca de origen brasileño que ingresó en el puesto 383 a la colección del CIAT.

### **Híbridos obtenidos**

A los híbridos provenientes del Proyecto Mejoramiento de Yuca del CIAT se les conserva su identificación original, la cual se basa en la asignación de un código compuesto de cuatro partes:

Tipo de cruzamiento + registro del cruzamiento + guión + genotipo seleccionado

Por ejemplo: CM 340-55 indica un híbrido de polinización controlada (CM), cuyos padres cruzados fueron MCOL 22 x MCOL 645 (registro 340), en el cual se seleccionó la planta 55.

Es necesario señalar que el código de un clon nunca cambia y, en caso de que desaparezca o muera, su código nunca será asignado a otro clon.

En la nomenclatura para los clones de yuca también son importantes los nombres vulgares, regionales o comunes. Usualmente, los agricultores designan las variedades con nombres muy sencillos que guardan relación con alguna característica de la planta o con su procedencia. Por ejemplo:

- Algodonas: Variedades de fácil cocción
- Rojitas: Variedades de pecíolos rojos
- Llaneras: Variedades procedentes de los Llanos
- Negritas: Variedades de tallo o cogollo oscuro

El uso del nombre vulgar tiene muchas limitaciones y se puede prestar para confusiones, ya que un mismo nombre vulgar puede darse a genotipos muy diferentes o contrastantes.

Otro aspecto de la nomenclatura es el de los materiales liberados. Es común que los institutos o agencias liberen los materiales de yuca con nombres comunes que guardan relación con detalles particulares del clon o del sitio de liberación. Ejemplo: Catumare, Costeña, Caribeña, Rojita, etc.

En el Cuadro 17-1 se detallan las variedades regionales de yuca más comunes en Colombia y los materiales liberados hasta el presente en el país.

### **Especies silvestres de Manihot**

Las especies recolectadas son introducidas en el CIAT. Con su semilla se obtienen variedades y para éstas se ha propuesto un código compuesto por las siguientes partes:

M + abreviación + población de semilla + genotipo seleccionado

- La letra M corresponde a la inicial del género *Manihot*.
- La abreviación consta de tres letras que hacen referencia a la especie; fue propuesta por Chávez et al. (1987) y se puede apreciar en el Cuadro 17-2.
- La población de semillas es un número consecutivo de acuerdo con el orden de introducción al CIAT.
- El genotipo seleccionado es un número consecutivo que hace referencia al número de la planta que fue seleccionada.

Ejemplos: M ESC 001-001  
M ALT 003-004  
M FMT 001-001

### **Híbridos obtenidos**

Se ha propuesto un código con las siguientes partes:

Tipo de cruzamiento + registro del cruzamiento + guión + genotipo seleccionado

Cuadro 17-1. Nombres regionales, códigos asignados, año de liberación en Colombia y lugar de siembra de algunos clones de yuca importantes.

Código CIAT	Nombre regional	Otros códigos asignados por ICA/CIAT	Año de liberación en Colombia	Lugar de siembra
MBRA 356	Ornamental	MCOL 2264		Brasil
MCOL 113	Valluna			Laderas Valle y Cauca
MCOL 1438	Llanera	CMC 9		Llanos Orientales
MCOL 1468	Mantiqueira	Manihot ICA P-11; CMC 40	1984	Valles interandinos
MCOL 1505	Verdecita	Manihot ICA P-12; CMC 76	1984	Valles interandinos
MCOL 1522	Algodona			Laderas caucanas
MCOL 1684	Matasuegra			Quilichao
MCOL 2058	Popayán			Laderas caucanas
MCOL 2059	Sata Dovia			Laderas caucanas
MCOL 2060	Regional amarilla			Laderas caucanas
MCOL 2061	Regional morada			Laderas caucanas
MCOL 2063	Secundina			Costa norte
MCOL 2066	Chiroza gallinaza			Quindío
MCOL 2215	Venezolana 1; coñito			Costa norte
MCOL 2216	Venezolana 2; Ven. negra			Costa norte
MCOL 2253	Blanca mona			Costa norte
MCOL 2257	Americana			Mondomo
MCOL 2258	Batata			Mondomo
MCOL 2259	Selección 40			Mondomo
MCOL 2260	Negrita			Mondomo
MCOL 2261	Panameña			La Cumbre/Cajibío
MCOL 2478	Chiroza llanera			San Martín, Meta
MCOL 2479	Vajuna negra			Laderas caucanas
MCOL 2625	Vivas			Cajibío
MCOL 2627	Chiroza morada			La Libertad, Meta
MCOL 2628	Chiroza blanca			La Libertad, Meta
MCOL 2733	Falsa Chiroza			Mondomo
MCOL 2737	Brasilera			Meta
MCOL 2740	Sata			Laderas caucanas
MCOL 2752	Cogolloiroja			Flandes, Tolima
MCOL 2753	Aroma			Flandes, Tolima
MCOL 2756	Costeña			Supatá, Cundinam.
MCOL 2758	Parrita			Quilichao/Jamundí
MCOL 2759	Chiroza manzana			Alcalá, Valle
MCUB 74	Falsa señorita			Cuba
MPAN 139	Dayana			Panamá
MTAI 1	Rayong 1			Tailandia
HMC 1	ICA Armenia	Manihotica P-13	1986	Valles interandinos
CG 1141-1	ICA Costeña		1991	Costa norte
CM 523-7	ICA Catumare (Raya 7)		1990	Llanos Orientales
CM 2177-2	ICA Cebucán		1990	Llanos Orientales
CM 3306-4	ICA Negrita		1993	Costa norte
CM 3306-19	CORPOICA Colombia		2000-B	Costa norte
CM 3555-6	CORPOICA Sucreña		2000-B	Costa norte
SGB 765-2	CORPOICA Caribeña		2000-B	Costa norte
SGB 765-4	CORPOICA Rojita		2000-B	Costa norte
CM 6740-7	Reina		2000-B	Llanos Orientales
CM 6438-14	Juan V			Llanos Orientales

Cuadro 17-2. Especies de *Manihot* silvestre ordenadas alfabéticamente y sus respectivas abreviaturas.

No. de serie	Especie	Abrev.	No. de serie	Especie	Abrev.
1	<i>M. acuminatissima</i> Mueller von Argau	acu	51	<i>M. michaelis</i> McVaugh	mic
2	<i>M. aesculifolia</i> Pohl	aes	52	<i>M. mirabilis</i> Pax	mb1
3	<i>M. affinis</i> Pax	alf	53	<i>M. mossamedensis</i> Taubert	mos
4	<i>M. alutacea</i> Rogers y Appan	alt	54	<i>M. nana</i> Mueller von Argau	nan
5	<i>M. angustiloba</i> Mueller von Argau	ang	55	<i>M. neusana</i> Nassar	neu
6	<i>M. anisophylla</i> Mueller von Argau	aph	56	<i>M. oaxacana</i> Rogers y Appan	oax
7	<i>M. anomala</i> Polh	anm	57	<i>M. oligantha</i> Pax	oli
8	<i>M. attenuata</i> Mueller von Argau	att	58	<i>M. orbicularis</i> Polh	orb
9	<i>M. auriculata</i> McVaugh	aur	59	<i>M. paviaeifolia</i> Pohl	pav
10	<i>M. brachyandra</i> Pax y K. Hoffmann	bnd	60	<i>M. peltata</i> Pohl	pel
11	<i>M. brachyloba</i> Mueller von Argau	blo	61	<i>M. pentaphylla</i> Pohl	pnt
12	<i>M. caerulescens</i> Pohl	cae	62	<i>M. peruwiana</i> Mueller von Argau	per
13	<i>M. carthaginensis</i> Mueller von Argau	cth	63	<i>M. pilosa</i> Pohl	pil
14	<i>M. catinga</i> Ule	cng	64	<i>M. pohli</i> Wawra	poh
15	<i>M. caudata</i> Greenman	cdt	65	<i>M. populifolia</i> Pax	plf
16	<i>M. cecropiaefolia</i> Pohl	cec	66	<i>M. pringlei</i> Watson	pri
17	<i>M. chorosticta</i> Standley y Golman	chl	67	<i>M. procumbens</i> Mueller von Argau	pcb
18	<i>M. condensata</i> Rogers y Appan	con	68	<i>M. pruinosa</i> Pohl	pru
19	<i>M. corymbiflora</i> Pax	cmf	69	<i>M. pseudoglaziovii</i> Pax y K. Hoffm.	pse
20	<i>M. crassisejala</i> Pax y K. Hoffman	cra	70	<i>M. purpureo-costata</i> Pohl	pur
21	<i>M. crotalariaeformis</i> Pohl	ctl	71	<i>M. pusilla</i> Pohl	psa
22	<i>M. davisiae</i> Croizat	dav	72	<i>M. quinquefolia</i> Pohl	qfl
23	<i>M. dichotoma</i> Ule	dch	73	<i>M. quinqueloba</i> Pohl	qba
24	<i>M. divergens</i> Pohl	dve	74	<i>M. quinquepartita</i> Rogers y Appan	qpt
25	<i>M. epruinosa</i> Pax y K. hoffmann	epr	75	<i>M. reniformis</i> Pohl	ren
26	<i>M. esculenta</i> Crantz	esc	76	<i>M. reptans</i> Pax	rpt
27	<i>M. falcata</i> Rogers y Appan	fal	77	<i>M. rhomboidea</i> Mueller von Argau	rho
28	<i>M. filamentosa</i> Pittier	fnt	78	<i>M. rubricaulis</i> I. M. Johnson	rub
29	<i>M. flamingiana</i> Rogers y Appan	fgn	79	<i>M. sagittato-partita</i> Pohl	sag
30	<i>M. foetida</i> Pohl	foe	80	<i>M. salicifolia</i> Pohl	slc
31	<i>M. fruticulosa</i> Rogers y Appan	fru	81	<i>M. sparsifolia</i> Pohl	spr
32	<i>M. glaziovii</i> Mueller von Argau	gla	82	<i>M. stipularis</i> Pax	sti
33	<i>M. gracilis</i> Pohl	gcl	83	<i>M. stricta</i> Baillon	str
34	<i>M. grahami</i> Hooker	grh	84	<i>M. subspicata</i> Rogers y Appan	sub
35	<i>M. guaranitica</i> Chodat y Hassler	gut	85	<i>M. surinamensis</i> Rogers y Appan	sur
36	<i>M. handroana</i> N. D. Cruz	han	86	<i>M. tenella</i> Mueller von Argau	ten
37	<i>M. hassleriana</i> Chodat	hsl	87	<i>M. tomatophylla</i> Standley	til
38	<i>M. heptaphylla</i> Ule	hph	88	<i>M. tomentosa</i> Pohl	tsa
39	<i>M. hunzikeriana</i> Martinez-Crovetto	huk	89	<i>M. tripartita</i> Mueller von Argau	tpa
40	<i>M. inrawinii</i> Rogers y Appan	irw	90	<i>M. triphylla</i> Pohl	tph
41	<i>M. inflata</i> Mueller von Argau	inf	91	<i>M. tristis</i> Mueller von Argau	tst
42	<i>M. jacobinensis</i> Mueller von Argau	jac	92	<i>M. varifolia</i> Pax	var
43	<i>M. janiphoides</i> Muller von Argau	jnp	93	<i>M. violacea</i> Pohl	vio
44	<i>M. jolyana</i> N. D. Cruz	jol	94	<i>M. walquerae</i> Croizat	wlk
45	<i>M. leptophylla</i> Pax	lph	95	<i>M. warmingii</i> Mueller von Argau	wrm
46	<i>M. leptopoda</i> Roger y Appan	da	96	<i>M. websterae</i> Rogers y Appan	web
47	<i>M. longipetiolata</i> Rogers y Appan	lon	97	<i>M. weddelliana</i> Baillon	wdd
48	<i>M. maguireiana</i> Rogers y Appan	mag	98	<i>M. xavantinensis</i> Rogers y Appan	xav
49	<i>M. maracasensis</i> Ule	mcn	99	<i>M. zehntneri</i> Ule	zeh
50	<i>M. marajoara</i> Chermonte de Miran	mjr			

FUENTE: Chávez et al., 1987.

- Tipo de cruzamiento:  
De polinización abierta = OW (open wild)  
De policruza = SW  
De autopolinización = AW  
De polinización controlada = CW

- Registro de cruzamiento:  
Es un número consecutivo que hace referencia a los padres que se usaron en el cruzamiento. Un ejemplo ficticio sería:

Tipo	Registro	Madre	×	Padre
CW	1	M COL 1505		M AES-002

- Genotipo seleccionado:  
Es el número de selección que se asigna consecutivamente a partir de 1. Siguiendo el anterior ejemplo sería:

CW 1 – 001

CW 1 – 002

## Etapa de Colección o Adquisición

Las accesiones de los bancos genéticos son generalmente razas nativas o variedades tradicionales seleccionadas por los agricultores a través de los años. Muchos bancos genéticos contienen también variedades modernas, algunas en desuso, así como especies silvestres.

Para el Profesor J.G. Hawkes, de la Universidad de Birmingham, la colecta es la primera etapa y la base fundamental para iniciar una buena colección o adquisición de muestras; con ella se puede garantizar lo siguiente:

- El tamaño óptimo de la colección, que sea de costo y manejo razonables y con gran diversidad genética.
- La exploración de áreas de alta prioridad.
- La exploración de áreas con alto riesgo de erosión genética.
- La introducción del menor número posible de duplicados.

- La disminución del riesgo de introducir plagas y enfermedades; para lograrlo, se debe disponer de un pleno conocimiento de la especie que se cultivará.

Por consiguiente, para alcanzar estos objetivos es necesario poseer tanto preparación científica como logística.

### Datos de pasaporte

Es la información básica que se toma tanto de la muestra como del sitio de colección. Por consiguiente, es necesario que de cada muestra colectada o introducida se llene la respectiva información de pasaporte; para ello se dispone del formato estándar establecido por Gulick et al. (1983), que se detalla en el Anexo 1. En este formato se deben registrar también los datos de los descriptores morfológicos mínimos.

La información del pasaporte es de vital importancia ya que, además de identificar cada muestra, disminuye el riesgo de recolectar o introducir duplicados y permite también la recuperación de los materiales perdidos en la colección. En realidad, una muestra sin datos de pasaporte no tiene ningún valor.

### Estatus de la colección del CIAT

En el Cuadro 17-3 se presentan los clones de yuca que el CIAT conserva en el banco de germoplasma in vitro, el cual representa la mayor colección de yuca del mundo. A la fecha se tienen 6073 clones discriminados así: 5724 clones de *M. esculenta*, que incluyen cultivares primitivos, cultivares mejorados y stock genético (familia K para el mapeo genético); por último, 349 accesiones correspondientes a 33 especies silvestres.

Según Debouck y Guevara (1995), la colección de germoplasma de yuca del CIAT está constituida en 96% por accesiones de América Latina, región reconocida como centro primario de diversidad. La introducción de aproximadamente 800 accesiones de Brasil, mantenidas en el Centro Nacional de Mandioca y Fruticultura Tropical (CNPMPF), ha proporcionado al Centro una muestra muy representativa de diversidad genética, especialmente del NE del Brasil.

Cuadro 17-3. Número de accesiones de yuca conservadas en el banco de germoplasma in vitro del CIAT (octubre de 2000).

Fuente de accesión	Código CIAT	No. de accesiones in vitro
Argentina	MARG	118
Bolivia	MBOL	7
Brasil	MBRA	1340
Colombia	MCOL	2003
China	MCHN	2
Costa Rica	MCR	148
Cuba	MCUB	77
Rep. Dominicana	MDOM	5
Ecuador	MECU	117
Fiji	MFJI	6
Guatemala	MGUA	91
Indonesia	MIND	51
Malaysia	MMAL	67
México	MMEX	102
Nigeria	MNGA	19
Panamá	MPAN	43
Paraguay	MPAR	231
Perú	MPER	405
Filipinas	MPHI	6
Puerto Rico	MPTR	15
Tailandia	MTAI	31
Estados Unidos	MUSA	10
Venezuela	MVEN	249
Vietnam	MVTM	9
Híbridos ICA-CIAT	CG; CM	
	SG <sup>a</sup> ; SM <sup>a</sup>	425
Stock genético <sup>a</sup>		147
Subtotal		5724
Especies silvestres		
30 especies in vitro		
34 especies en campo		345
3 especies indefinidas		4
Total		6073

a. CG y CM = híbridos obtenidos mediante polinización controlada; SG, SM = híbridos obtenidos mediante colonización abierta; Stock genético = familia K para el estudio del mapeo genético.

FUENTE: Debouck y Guevara, 1995.

Se estima que 87% de los clones de la colección son cultivares primitivos; el resto son cultivares avanzados, híbridos y stock genético.

De los 61 países donde *M. esculenta* es importante, 24 de ellos, o sea, 37%, han contribuido a la colección.

Más importante que la representación por países es la representación de la diversidad existente, para la cual se establecen estrategias de adquisición y colección. Algunos de los países propuestos, que tienen áreas de alta prioridad para adquisición de germoplasma son: En la región de Mesoamérica: Nicaragua, Honduras y Salvador; la región del Amazonas; zona central y occidental de Brasil; Paraguay y Bolivia en la región del Chaco; Venezuela y parte oriental de Colombia; Guayanas y región montañosa de Ecuador. En la región Caribe: República Dominicana y Haití, que son consideradas como de prioridad moderada para colección.

En lo referente al continente asiático, importantes genotipos élite fueron introducidos de los programas nacionales de mejoramiento, especialmente de Tailandia. Variedades nativas de China, Vietnam, Tailandia y las Filipinas constituyeron también prioridad en la adquisición de germoplasma en los últimos años, para tener una buena representación de este centro secundario de diversidad.

La ausencia de una colección centralizada de germoplasma africano ha restringido la representación de este continente. Los esfuerzos del Instituto Internacional de Agricultura Tropical (IITA) para compilar la información de colecciones nacionales y para consolidar las colecciones regionales de germoplasma africano, conjuntamente con los avances en las técnicas de indexación de los virus, permitirán, en un futuro cercano, tener mejor representación de la variabilidad genética disponible en África.

### Métodos de Conservación del Germoplasma

El CIAT conserva la colección internacional de germoplasma mediante dos sistemas:

- Conservación activa en campo.
- Conservación activa in vitro.

La replicación del germoplasma mediante estos dos sistemas garantiza su seguridad contra imprevistos o desastres naturales. Los planes futuristas se orientan a perfeccionar las técnicas de conservación criogénica para garantizar así un método de conservación a largo plazo que sea seguro y económico.

### **Banco de germoplasma activo en campo**

Para el Proyecto Mejoramiento de Yuca del CIAT, esta forma tradicional de conservación tiene ventajas y desventajas. Como ventaja se considera la siguiente:

- Disponibilidad inmediata y casi permanente de estacas y hojas para las siguientes evaluaciones hechas localmente o en la estación experimental: caracterización morfológica, evaluaciones fisiológicas, resistencia a plagas y enfermedades, contenido de nutrientes, etc.

Como desventajas se anotan:

- Mayor requerimiento de espacio.
- Mayor riesgo de pérdida de materiales por problemas de plagas, enfermedades, problemas edáficos, adaptación, etc.
- Mayores costos de mantenimiento y conservación.

### **Forma de siembra**

**Vitrina de variabilidad existente.** En el campo, la vitrina se ‘siembra’ al principio del banco de germoplasma con el propósito de que sea bien visible desde la carretera para los visitantes. Se pueden sembrar 1 ó 2 surcos de cinco plantas, a 1 x 1 m, dejando de 2 a 3 m entre parcelas. En cada parcela se coloca una pancarta con el nombre del clon y la característica principal que manifiesta. Las características y los clones se escogen según un estudio hecho antes de la siembra.

**Banco principal propiamente dicho.** Se siembran todos los clones del banco en parcelas cuyo número de plantas depende del tamaño del lote y de los costos de mantenimiento. Se puede hacer en forma de un ensayo de hileras o un campo de observación, sembrando una hilera de 5 a 6 plantas a hilera de por medio, para evitar

competencia entre genotipos. También se puede sembrar en parcelas de dos surcos, con 5 a 10 plantas/parcela, conservando un espaciado adecuado entre parcelas (por lo menos, 2 ó 3 m). Para disminuir el riesgo de pérdida de materiales se sugiere hacer la siembra en repeticiones.

Por otra parte, cuando se tienen colecciones grandes como la del CIAT, cuyos 6073 clones ocuparían más de 6 hectáreas, se recomienda clasificarlos por vigor o arquitectura, usando una escala de 1 a 3 y clasificando como 1 a los no ramificados, 2 a los de mediana ramificación y 3 a los muy ramificados. En este caso, la distancia de siembra se fija de acuerdo con el vigor, lo que permite ahorrar terreno y costos.

En el banco de germoplasma en campo, la siembra se hace ordenando los clones alfabéticamente, según el país de origen (MARG, MBOL, MBRA, MCUB, etc.) y por número de accesión dentro del país (MARG 1, MARG 2, MARG 3, etc.). En cuanto a los híbridos, se recomienda sembrar el grupo al comienzo de cada vigor y siguiendo el orden: CG, CM, SG, SM.

### **Período de renovación**

Para disminuir el riesgo de pérdida de materiales por factores bióticos y abióticos, se recomienda hacer la renovación del banco en campo cada año al comienzo de la estación lluviosa. Es importante tener en cuenta que una vez hecha la renovación, el banco viejo no se elimina inmediatamente del campo, sino que se deja por lo menos de 6 a 8 meses más; así se garantizan estacas para la resiembra del banco nuevo y para asegurar que siempre haya estacas disponibles. De esta forma, cada banco de yuca en campo permanece en pie de 16 a 18 meses en total.

### **Mantenimiento**

El mantenimiento de un banco de germoplasma de yuca en campo es más complicado que el de otros ensayos o lotes de yuca, por la gran variabilidad del tamaño de las plantas, la adaptación a las condiciones del suelo y los diferentes grados de resistencia y susceptibilidad a plagas y enfermedades, entre otros. Por consiguiente, para estar por encima de cualquier problema que se pueda presentar es

conveniente hacer revisiones periódicas del banco cada 2 ó 3 semanas. Un punto muy importante es la aplicación del control integrado para el manejo de las plagas y enfermedades (MIP).

Los siguientes son los factores para tener en cuenta:

**Control de malezas.** Las malezas son uno de los factores que más incrementan los costos para el manejo en el campo. Por consiguiente, se recomienda la utilización de herbicidas.

**Resiembra oportuna.** En un banco en campo hay que definir cuál es el número mínimo de plantas por parcela que se pueden permitir. Si una parcela baja de este número, hay que planear resiembra, que se hará, a más tardar, 2 meses después de la siembra y con estaca larga de 40 cm.

**Control de trips y otras plagas.** Las plagas que retardan el crecimiento, como los trips, se deben controlar, por lo menos, hasta los 6 primeros meses de edad de las plantas, para lograr que éstas produzcan semilla o estacas que garanticen su renovación. Un buen control de trips se consigue con Sistemín, en dosis de 2 cc/lit (producto comercial).

**Control de bacteriosis y superalargamiento.** La bacteriosis (*Xanthomonas axonopodis*) es una enfermedad que no debe existir en un banco de yuca en campo. Si por cualquier circunstancia se llega a presentar, hay que aplicar formol comercial al 5%, tanto a las plantas afectadas como a las vecinas. Enseguida se procede a la erradicación de las plantas enfermas.

En cuanto al superalargamiento (*Sphaceloma manihoticola*), las medidas de control incluyen la erradicación de las plantas afectadas y la fumigación posterior con fungicidas cúpricos, tales como Kocide y oxiclورو de cobre, entre otros.

**Problemas del suelo.** El banco en campo ocupa una gran extensión; es común, por ello, que haya parcelas afectadas por problemas del suelo (encharcamiento, salinidad, etc.). En este caso, se pueden sembrar en otra parte del campo o se pueden pasar a bolsas colocadas provisionalmente en una casa de mallas o invernadero apropiado.

**Ramificación excesiva.** Los clones más vigorosos causan el problema de cerrar las calles con ramas y follaje, dificultando el movimiento del personal y la toma de datos. Desafortunadamente, el corte del follaje aumenta la posibilidad del ataque de barrenadores del tallo. Por lo tanto, en los clones más vigorosos se sugiere limitar el corte del follaje al mínimo posible.

### **Medidas de cuarentena**

Las medidas de cuarentena en el banco de campo están orientadas a evitar la introducción o diseminación de plagas y enfermedades. Las recomendaciones son:

- Siempre que se corte semilla o follaje, los operarios deben llevar un recipiente con jabón o formol comercial para desinfectar el machete.
- Los operarios que vengan de otros lotes deben sacudir y limpiar la ropa de trabajo antes de ingresar al banco.
- Desinfección de toda herramienta y maquinaria que se utilice en el banco.
- Los clones nuevos que ingresen al banco, a pesar de que sean de la misma región, estado o país, nunca se deben introducir en forma directa. Lo recomendable es sembrarlos primero en un invernadero o casa de mallas; posteriormente, sembrarlos en un lote aislado y, una vez que se comprueba su sanidad, pueden ingresar al banco.

### **Descriptorios morfológicos y agronómicos para caracterización**

Por descriptor morfológico se entiende toda característica que permita identificar fácilmente y diferenciar una variedad, con heredabilidad y estabilidad frente a los cambios ambientales. Se utilizan principalmente en la caracterización de clones de una colección.

Para la caracterización morfológica de *M. esculenta* se cuenta con una lista actualizada de descriptorios morfológicos y agronómicos, estandarizados para yuca por el Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos (IPGRI), mediante reunión celebrada en Cruz das Almas (Bahía), Brasil, en 1995.

Tal como anotan Gonçalves y Guevara (1998), la lista comprende 13 descriptores mínimos que se incluyen necesariamente en los datos de pasaporte, 13 principales, 11 secundarios, 21 para evaluación agronómica preliminar y 17 para evaluación complementaria (flores, frutos y semillas): en total, 77 descriptores. Es conveniente aclarar que para las especies silvestres de yuca se requiere otra tabla con descriptores diferentes.

Para manejar una colección, es necesario que todos los clones estén debidamente caracterizados morfológicamente. Iglesias et al. (1995) señalan que la integración de los descriptores morfológicos, bioquímicos y moleculares, acompañados con los datos de pasaporte, constituyen una valiosa herramienta en la identificación de accesiones duplicadas en una colección.

### Descriptores bioquímicos mediante isoenzimas

Ocampo et al. (1993) indican que por las limitaciones que presentan los marcadores morfológicos para la evaluación de los materiales de una colección, fue necesario recurrir a las técnicas de electroforesis de proteína total de la semilla; éstas son limitadas para discriminar materiales que estén muy cercanos genéticamente. El desarrollo posterior de las técnicas de electroforesis de isoenzimas solucionó el problema, en gran parte.

Las técnicas se basan en la separación de las enzimas presentes en un extracto crudo de un tejido, mediante un campo eléctrico. Estas migran a diferentes posiciones en una matriz (gel de almidón o poliacrilamida), debido, principalmente, a su carga eléctrica y su tamaño.

Ya que las enzimas catalizan reacciones bioquímicas específicas, es posible ver la localización de una enzima en el gel, agregando el sustrato y cofactores apropiados y detectando uno de los productos de la reacción mediante una reacción a color. Así, se forma una banda visible en el sitio donde la enzima en particular estaba localizada. Cuando diferentes formas moleculares de una enzima tienen afinidad por un mismo sustrato, esta familia de enzimas se denominan isoenzimas.

El patrón de bandas de isoenzimas es analizado cuantitativamente por medio de un densitómetro láser y cualitativamente codificando la presencia/ausencia de cada una de las 22 bandas (Figura 17-1).

### Caracterización molecular

Según Ocampo et al. (1995), ante las limitaciones de los descriptores morfológicos y bioquímicos, lo recomendable es evaluar los materiales usando directamente su genoma, lo cual se puede hacer a través de la metodología denominada *fragmentos de restricción de ADN de longitud o variable* (RFLP, en inglés: *Restriction Fragment Length Polymorphism*).

Esta metodología consiste en “cortar” ADN de alto peso molecular con enzimas de restricción (corte) que reconocen sitios específicos dentro de las cadenas de ADN; se forma una mezcla de pequeños fragmentos de ADN, los cuales difieren en longitud. Estos fragmentos pueden ser separados por medio de electroforesis en geles de agarosa.

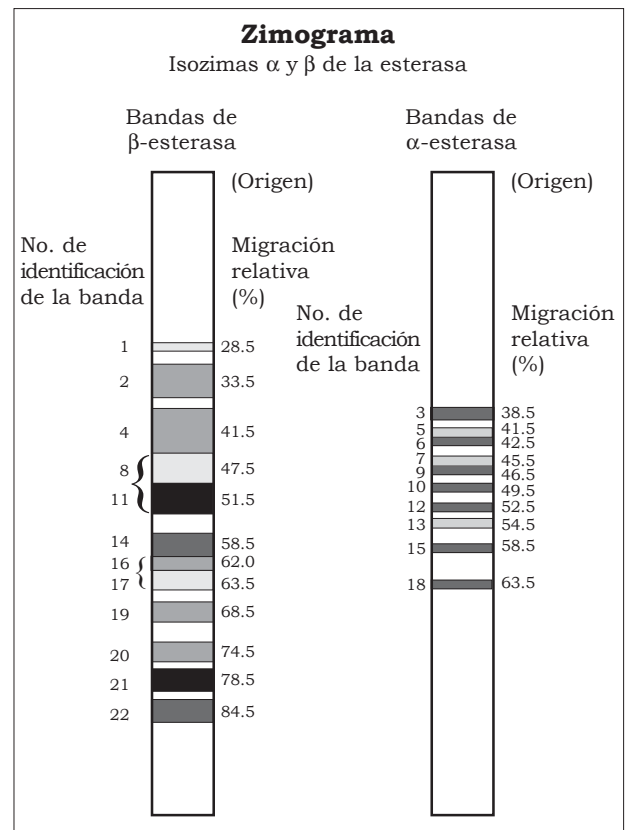


Figura 17-1. Patrón de bandas de isoenzimas de tejidos de yuca.

Al final de la electroforesis, el gel se tiñe con una solución de bromuro de etidio y se coloca en un transiluminador de luz ultravioleta para ver los fragmentos; éstos se ven como una “mancha” debido a la gran cantidad de fragmentos que están distribuidos por todo el recorrido de la luz. Los fragmentos son desnaturalizados con hidróxido de sodio para separar sus cadenas. Luego son transferidos a un soporte sólido, como una membrana de nitrocelulosa o de nylon, proceso denominado Southern Blot. Los fragmentos se fijan en la membrana, colocando ésta en un horno a 80 °C durante 1 hora. Uno o más fragmentos se pueden ver hibridando un fragmento particular tomado de la genoteca, que se ha marcado previamente con P<sup>32</sup>. Este fragmento marcado hibridiza solamente un fragmento que tenga bases complementarias. El híbrido radioactivo se puede ver colocando la membrana sobre una película de rayos X: en la autoradiografía aparecerá una o varias bandas en el sitio donde se encontraban los híbridos radioactivos.

La variación en los tamaños de los fragmentos de diferentes materiales de una misma especie, comparados con un mismo segmento de ADN y tomado de la genoteca, es lo que se denomina RFLP.

Sería muy laboriosa y costosa la evaluación de grandes colecciones de germoplasma utilizando solamente los RFLP o isoenzimas; no se debe desconocer, por ello, la importancia de la caracterización morfológica y agronómica para cumplir las primeras etapas de la caracterización. De esta manera, una gran colección quedaría reducida a pequeños grupos en que las técnicas de isoenzimas o de RFLP harán la evaluación de un germoplasma más eficiente y económica.

### **Identificación y eliminación de duplicados**

En una colección de germoplasma mantenida vegetativamente, es común encontrar accesiones duplicadas. Las observaciones preliminares hechas en la colección del CIAT estimaban el nivel de duplicación entre 20% y 25%.

Hershey, referenciado por Iglesias et al. (1995), anota que la presencia de un número

alto de duplicados en una colección de germoplasma tiene implicaciones negativas para su manejo y utilización en los programas de mejoramiento, por las siguientes razones:

- Incremento grande de los costos en la conservación y evaluación.
- Sesgamiento de la variabilidad genética.
- Estrechamiento de la base genética.
- Indeseada homocigosis al hacer los cruzamientos.

Iglesias et al. (1995) señalan que, a través de los años, la colección del CIAT ha sido clasificada por los descriptores morfológicos básicos, definidos en primera instancia por IBPGR (International Board for Plant Genetic Resources), los cuales por sí solos no permiten un nivel seguro de confiabilidad para identificar duplicados. Sin embargo, si se agrega la caracterización bioquímica, basada en la codificación de presencia o ausencia de 22 bandas de isoenzimas llamadas alpha-beta esterases en geles de Stet, se aumenta grandemente el nivel de confiabilidad.

Dada la consideración anterior y para efectos de la eliminación de duplicados de la colección internacional de yuca, el CIAT desarrolló y aplicó un modelo basado en los criterios que se explican a continuación:

**Agrupamiento preliminar de clones.** Se basa en la identidad dentro de grupos y mediante la selección de cuatro caracteres morfológicos primarios y 12 bandas electroforéticas de alto nivel de confiabilidad.

**Características morfológicas:** Colénquima del tallo, epidermis del tallo, hábito de crecimiento del tallo y color externo de la raíz.

**Bandas electroforéticas** (presencia y ausencia): 3, 4, 9, 10, 12, 13, 14, 15, 19, 20, 21, 22.

**Agrupamiento secundario.** En grupos grandes (más de 10 clones) se hace un segundo nivel de agrupamiento por **análisis cluster**, utilizando el siguiente grupo de caracteres morfológicos y bandas electroforéticas de segundo nivel de confiabilidad:

**Características morfológicas:** Altura de primera ramificación, color de hoja apical, pubescencia, color de nervadura, forma del lóbulo, ancho del lóbulo, color del peciolo, color de corteza y de pulpa de raíz.

**Bandas electroforéticas** (presencia y ausencia): 1, 6, 8, 18, 2, 5, 7, 17.

**Confirmación en el campo.** Los clones agrupados con posibles duplicados son plantados en el campo y se reevalúan nuevamente los descriptores morfológicos. Los clones con descriptores idénticos se apoyan en datos de pasaporte: si son iguales se eliminan de la colección de campo, pero se mantienen in vitro para posterior confirmación por marcadores moleculares (RFLP).

### ***Evaluación agronómica preliminar***

Para el Proyecto Mejoramiento de Yuca del CIAT, la estrategia para la evaluación agronómica preliminar del banco de germoplasma de yuca se basa en los siguientes puntos:

- a. Definición y selección de zonas edafoclimáticas contrastantes y representativas de áreas yuqueras.
- b. Selección del grupo de accesiones para evaluar.
- c. Siembra bajo el sistema “campo de observación del banco”, consistente en una hilera de seis plantas por accesión y un surco de por medio.
- d. Selección de los mejores materiales y evaluaciones posteriores de éstos en un ensayo preliminar de rendimiento y en ensayos convencionales de rendimiento.
- e. Selección de los mejores materiales en los que se observe integración de adaptación, potencial de rendimiento, resistencia a plagas y enfermedades, y calidad de raíces.
- f. Los materiales seleccionados después de varios ciclos seguidos de etapas avanzadas se catalogan como “élites”, y pueden ser recomendados a los programas nacionales, o usados como parentales en el esquema de hibridaciones.

### ***Documentación e intercambio***

Según Debouck y Guevara (1995), esta etapa comprende las siguientes actividades del Banco de Germoplasma, que proveen información al sistema de documentación institucional (ORACLE):

- Datos de pasaporte.
- Caracterización morfológica e isoenzimática.
- Evaluación agronómica preliminar.
- Métodos y técnicas de conservación.
- Pruebas de indexación.
- Intercambio de germoplasma.

El mandato asignado por el GCIAI al CIAT comprende no sólo la conservación del germoplasma, sino también **su distribución o intercambio**. Dados estos fines, el protocolo establecido para la conservación en campo reduce al mínimo la distribución de plagas y enfermedades mediante la siguiente estrategia:

- Prohibición de envíos al exterior de todo material en forma de estacas.
- Solamente se pueden enviar estacas indexadas cuando el material va con fines netamente experimentales y propósitos muy específicos y para ser sembrado en invernaderos de países no yuqueros de zonas templadas; además, va acompañado del certificado fitosanitario del país que envía y el previo permiso de importación del país que solicita.
- La distribución de material vegetativo de yuca a otros países sólo se puede hacer en forma de cultivo de meristemas, previo procesamiento por termoterapia y pruebas de indexación; también puede hacerse por semilla sexual, para lo cual se necesitan también el certificado fitosanitario y el permiso de importación.

En la Figura 17-2 se puede apreciar cada uno de estos pasos en forma más detallada.

### ***Banco de germoplasma activo in vitro***

Debouck y Guevara (1995) anotan que el banco genético in vitro activo (IVAG, en inglés) de yuca

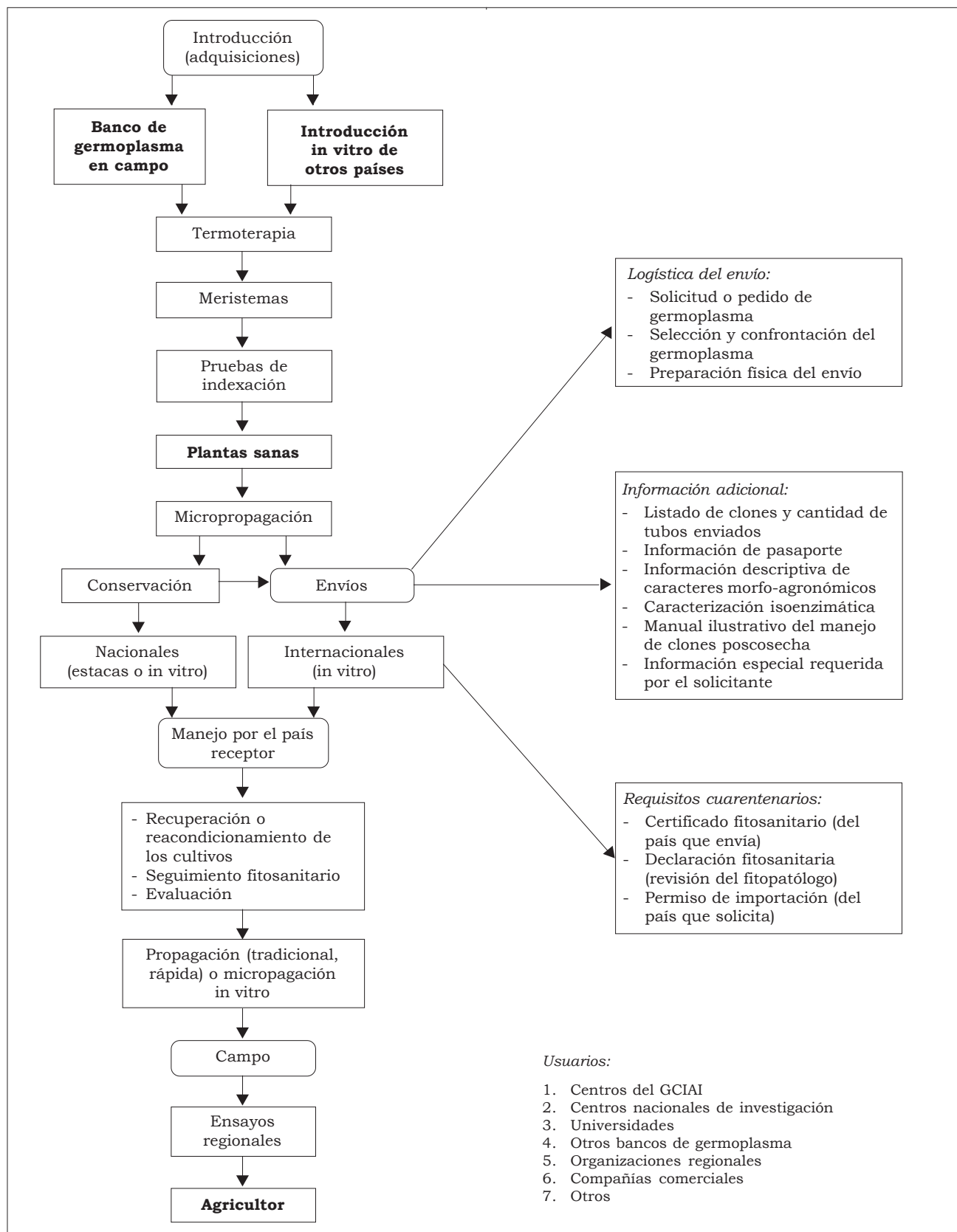


Figura 17-2. Intercambio de germoplasma de *Manihot*.

FUENTE: Debouck y Guevara (1995).

consiste en mantener las plantas en condiciones de crecimiento lento, suministrando condiciones físicas y químicas que permitan extender al máximo el intervalo de transferencia a medios frescos.

En la conservación *in vitro*, la tasa de crecimiento de los cultivos se puede controlar manejando los siguientes factores:

- Temperatura.
- Sustancias inorgánicas y orgánicas.
- Reguladores de crecimiento.
- Reguladores osmóticos.
- Inhibidores y captadores de etileno.

### **Condiciones de conservación y período de renovación**

Los resultados de varios años de investigación de los científicos del CIAT han permitido determinar las siguientes condiciones de crecimiento para la conservación de la yuca *in vitro*:

- Temperatura constante de 23 a 24 °C.
- Fotoperíodo de 12 horas luz.
- Intensidad lumínica de 1000 lux.
- Medios de cultivo (MS) modificados (Cuadro 17-4).
- Tubos de ensayo de 25 x 150 mm cubiertos con papel aluminio y sellados con plástico.
- Conservación de 5 tubos/clon.

Bajo estas condiciones, la colección *in vitro* presenta un promedio de conservación de 12.8 meses, con un amplio rango de 10.3 a 18.5 meses, de acuerdo al país de origen.

### **Procedimiento para la conservación *in vitro***

Según Debouck y Guevara (1995) se sigue el siguiente procedimiento:

- Entrada del material.
- Establecimiento del cultivo *in vitro*.

- Evaluación y monitoreo del estado aséptico de los cultivos.
- Labores de mantenimiento y renovación del material.
- Monitoreo de la viabilidad y estabilidad genética.
- Documentación y sistematización del banco.

En cuanto a la entrada, los materiales de Colombia pueden ser introducidos como material vegetativo (o estacas), mientras que las introducciones de otros países se hacen *in vitro*. Posteriormente, los cultivos son multiplicados o micropropagados.

Después de micropropagados, los cultivos se siembran en el medio de cultivo 8S para conservarlos y se colocan bajo condiciones especiales para su establecimiento.

En estas condiciones, los cultivos se dejan por un período de 2 semanas y se evalúan para ver el estado de desarrollo y sanidad de las plantas, teniendo en cuenta, básicamente, los siguientes aspectos: estado del medio, estado de la tapa y sello del tubo, desarrollo de las plántulas, estado fitosanitario, y nomenclatura e identificación de cada tubo.

Una vez hecha la evaluación, se registra en la base de datos, para lo cual cada material se identifica con el nombre de la variedad, la fecha de entrada, el medio de cultivo y la ubicación dentro del cuarto de conservación.

Para almacenar los materiales dentro de este cuarto hay cinco tubos por variedad. Estos se ubican dentro del cuarto en una estantería y se ordenan según el código. El ordenamiento por cuerpo, fila, piso y gradilla, facilita la búsqueda.

### **Mantenimiento y renovación**

La conservación *in vitro* requiere que se haga mantenimiento al cuarto de conservación, al equipo regulador de la temperatura, a la humedad relativa y a la iluminación.

Además, se realizan labores de renovación del material. De esta manera, el material que proviene de conservación es micropropagado y se coloca en crecimiento en el medio 4E, con el fin de recuperarlo y fortalecerlo. Cuando ya se han

Cuadro 17-4. Medios de cultivo utilizados para las operaciones de introducción, conservación, transferencia a invernadero e intercambio de los clones de yuca.

Constituyentes del medio	Concentración del medio:		
	4E Para iniciación de meristemas, micropropagación e intercambio	8S Para conservación	17N Para transferencia a invernadero
Sales inorgánicas	MS	MS	1/3 MS
M-Inositol	100 mg/lt	100 mg/lt	100 mg/lt
Tiamina-HCl	1 mg/lt	1 mg/lt	1 mg/lt
Sucrosa	2%	2%	2%
BAP	0.04 mg/lt	0.02 mg/lt	—
GA	0.05 mg/lt	0.1 mg/lt	0.01 mg/lt
ANA	0.02 mg/lt	0.01 mg/lt	0.01 mg/lt
AGAR	0.7 g	0.7 g	0.7 g
pH	5.7-5.8	5.7-5.8	5.7-5.8

FUENTE: Debouck y Guevara, 1995.

establecido estos materiales se propagan nuevamente y se siembran en el medio de cultivo para conservación (8S). En la base de datos se registra la siguiente información: fecha de salida a subcultivo y causa de la salida: contaminación, subcultivo, eliminación, intercambio, etc.

Por último, es importante el monitoreo de la estabilidad genética, para lo cual se pueden emplear criterios morfoagronómicos y bioquímicos.

### **Saneamiento de clones**

Según Guevara y Valderrama (1995), en la literatura se reportan más de 50 enfermedades de yuca producidas por virus, bacterias, hongos y micoplasmas. Entre las enfermedades virales más importantes se encuentran:

- Virus del mosaico africano (ACMV), causado por virus del grupo Geminivirus.
- Virus del mosaico de las nervaduras (CVMV), causado por el grupo Caulimovirus.
- Virus del mosaico común (CCMV), perteneciente al grupo Potexvirus.
- Complejo de la enfermedad del cuero de sapo (CFSD) y mosaico caribeño (CMD).
- Virus colombiano sin síntomas (CCSpV), perteneciente al grupo Potexvirus.

Todos los anteriores virus pueden ser eliminados empleando las técnicas de termoterapia que están asociadas con el cultivo de meristemas.

El esquema general para eliminar los virus de la yuca se puede apreciar en Figura 17-3 y comprende los siguientes pasos:

- Aplicación de termoterapia al cultivo de meristemas (a plántulas in vitro) o a brotes germinados de estacas provenientes del campo.
- Pruebas de indexación al material proveniente de la termoterapia.
- Micropropagación de los clones sanos empleando técnicas de cultivo in vitro.
- Detección de virus.

**Pruebas de indexación.** Las pruebas de indexación para virus de yuca pueden ser aplicadas tanto a plántulas in vitro como a plantas de invernadero.

La metodología general empleada para la eliminación de los virus de la yuca comprende las siguientes técnicas:

- Injertación de Secundina: Es una prueba utilizada principalmente para detectar cuero de sapo. En el injerto, el

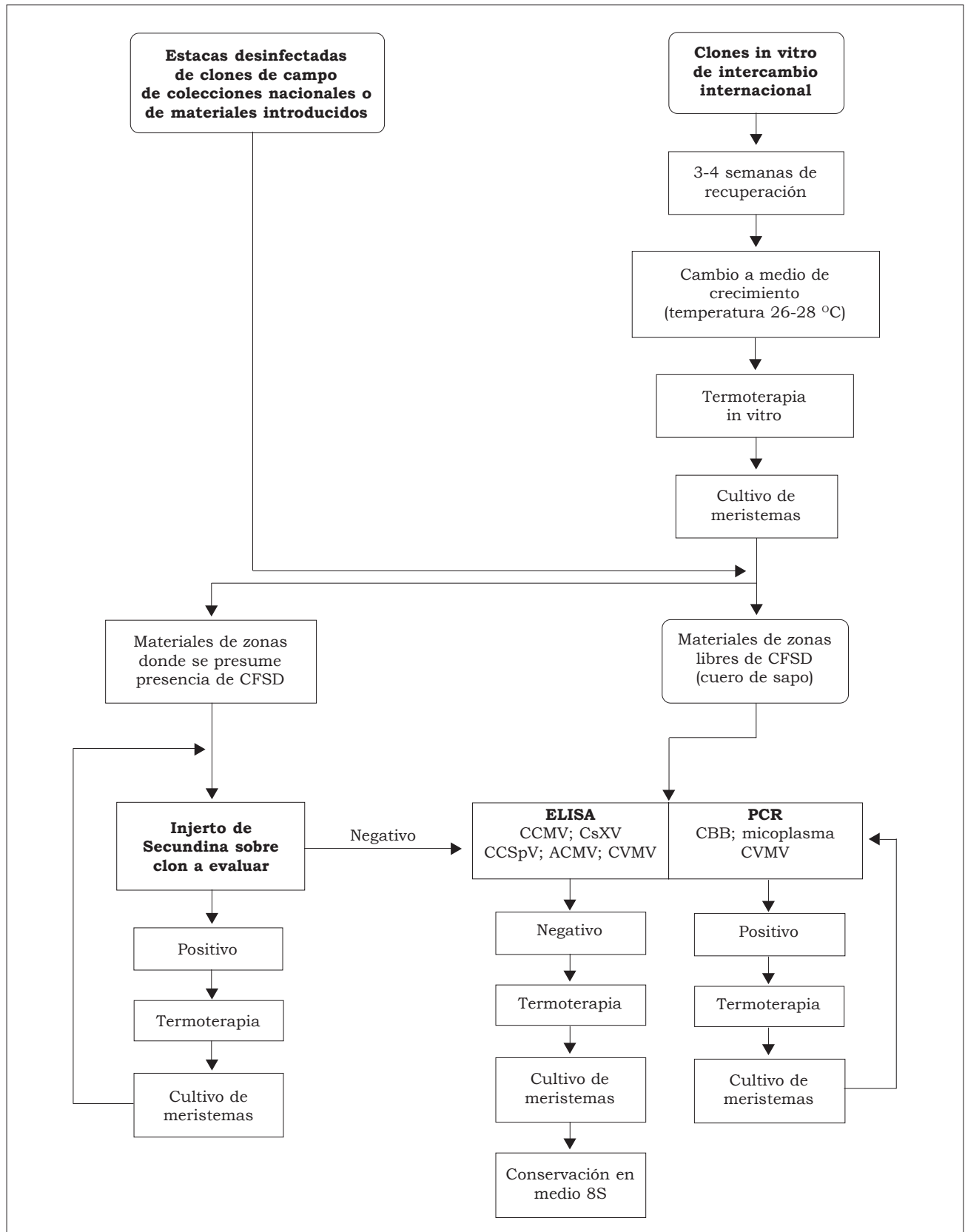


Figura 17-3. Programa de detección y eliminación de patógenos de yuca.

FUENTE: Debouck y Guevara, 1995.

material a evaluar se coloca abajo (como patrón), mientras que el clon MCOL 2063 o Secundina (altamente susceptible) se coloca arriba (como injerto) para que exprese los síntomas en caso de que el patrón esté infectado (Figura 17-4). Usando este material de Secundina hipersensitivo, normalmente la lectura se hace a los 30 días y es absolutamente necesario que la Secundina esté limpia, para evitar los falsos positivos.

- Prueba de ELISA: Se usa para los siguientes virus: virus del mosaico africano (ACMV), virus del mosaico de las nervaduras (CVMV), virus colombiano sin síntomas (CCSpV) y mosaico caribeño (CMD).
- DsRNA: Se usa para todos los virus RNA de la yuca: cuero de sapo (CFSD); virus del mosaico común (CCMV) y virus latentes.



Figura 17-4. Injertación con Secundina.

FUENTE: Unidad de Recursos Genéticos, CIAT (fotografía de Norma Flor).

- PCR: Es utilizada para detectar bacteriosis (CBB), micoplasma y virus del mosaico de las nervaduras (CVMV).

### **Conservación criogénica**

Según Escobar et al. (1998), el Banco Genético in vitro Básico (IVBG) se fundamenta en la crioconservación de los clones mediante la supresión total del crecimiento y del metabolismo. Se obtiene así la conservación por tiempo indefinido evitando las mutaciones, ya que a bajas temperaturas los procesos biológicos están suspendidos.

El método consiste en aislar meristemas precultivados con un agente crioprotector, cumplir una etapa de enfriamiento controlado y hacer transferencia a nitrógeno líquido a 196 °C.

El protocolo establecido para la criopreservación de yuca en el CIAT comprende los siguientes pasos:

- Aislamiento de meristemas de 2 a 3 mm de longitud, tomados de un cultivo in vitro de 3 a 4 meses de edad.
- Pretratamiento en medio 4E durante 3 días.
- Precultivo en medio sólido C4 durante 3 días, en la oscuridad y a temperatura de 26 a 28 °C.
- Crioprotección en medio líquido durante 2 horas, sobre hielo.
- Deshidratación o secado durante 1 hora, empleando papel filtro y a temperatura ambiente.
- Enfriamiento programado (lento) usando Cryomed a -40 °C.
- Inmersión y almacenamiento en nitrógeno líquido al menos durante 3 horas.
- Calentamiento a 37° durante 45 segundos.
- Etapas de re-cultivo:
  - Medio de equilibrio R1 y R2 por 2 días cada uno.
  - Transferencia a medio CIAT 4E semisólido.
- Etapa de evaluación:

- Supervivencia o viabilidad del tejido.
- Formación de brotes después de 1 mes.

Los estudios sobre conservación criogénica que se hacen actualmente en el CIAT han permitido desarrollar dos metodologías:

**Para semilla botánica.** Permite la recuperación total de plantas viables trabajando con *M. esculenta* y *M. carthagenensis*.

**Para material vegetativo.** Se diseñaron a su vez dos metodologías:

- Clásica: La respuesta varietal es variada.
- Nueva: Tiene un sentido práctico. Se ha hecho un trabajo activo, especialmente con la colección 'core'. La técnica se llama encapsulación/deshidratación.

El IVBG constituye una colección de trabajo básica pero no activa, y que se conserva a largo plazo. Una vez la técnica esté completamente desarrollada, este banco permitirá un mantenimiento total de la estabilidad genética del germoplasma, y se espera que se convierta en una alternativa eficiente y económica para la conservación de clones de yuca.

De esta forma la criopreservación sería:

- Un método seguro de almacenamiento a largo plazo.
- Un almacenamiento en espacio reducido.
- Un almacenamiento libre de cambios.
- Un almacenamiento a bajo costo.

Por otra parte, Debouck (comunicación personal) anota que pensar en un banco crioconservado significa casi obligatoriamente pensar en tres: uno que sirve para estudio y monitoreo periódico de la calidad de la conservación, mientras los otros dos cumplen el papel de conservación a largo plazo.

Debouck anota también que la crioconservación no se vislumbra como método de distribución, para lo cual sería más indicado el banco in vitro.

### **Intercambio de germoplasma**

Las principales actividades comprendidas en el intercambio de germoplasma de yuca del

banco in vitro del CIAT se presentan también en la Figura 17-2.

### **Colección Núcleo (Core Collection)**

Iglesias et al. (1992) señalan que el concepto de colecciones "núcleo o core" fue propuesto por Frankel en 1984, con el fin de definir un conjunto de accesiones que, con un mínimo de repetitividad, representaría la diversidad genética de una especie. Las accesiones que participen en una colección núcleo son elegidas por su representatividad y son ecológica o genéticamente diferentes unas de otras.

Iglesias et al. (1992) discuten también los siguientes puntos:

- Una colección núcleo debe constituirse de tal forma que su diversidad genética se maximice. Esto significa que las accesiones duplicadas o cercanamente relacionadas deben excluirse. Normalmente, se definen colecciones núcleo separadas para las especies cultivadas y sus parientes silvestres.
- En una especie determinada puede existir otro grupo de accesiones para propósitos específicos, las cuales pueden también denominarse colecciones núcleo. Un ejemplo es el grupo de clones élite dentro de la colección de germoplasma del CIAT.

### **Ventajas de una colección núcleo**

Como muestra representativa, la colección núcleo ('core') tiene las siguientes ventajas:

- Aumenta la eficiencia en el uso de los recursos genéticos, al facilitar el proceso de evaluación y acceso a la variabilidad genética existente.
- Permite ensayar metodologías que posteriormente se pueden extender a la colección entera.
- Facilita la posibilidad de duplicación de accesiones en otras instituciones.

### **Requisitos exigidos**

Idealmente, una colección núcleo para una especie cultivada debería tener las siguientes características:

- Cubre el rango total de la variabilidad genética existente en la especie.
- Consta, principalmente, de variedades nativas (landraces) que llevan información completa de pasaporte.
- No incluye accesiones duplicadas.
- Está bien caracterizada por descriptores morfológicos y moleculares.
- Ha sido evaluada por características agronómicas y fisiológicas, por calidad de raíces y por resistencia a enfermedades y plagas.
- Contiene buena información sobre la evolución del cultivo y los diferentes centros de diversidad genética para la especie.

### **Tamaño de la colección**

Iglesias et al. (1992), considerando las sugerencias de Brown, recomiendan seleccionar el 5% del total de las accesiones para colecciones grandes, como el maíz, y 10% para colecciones pequeñas, como la yuca; hacen además algunas consideraciones sobre conservación y sobre los límites impuestos por un tamaño de la muestra que permita su evaluación respecto a ciertas características. Por tanto, una colección núcleo de 600 a 650 accesiones fue propuesta inicialmente como objetivo para la colección del CIAT.

### **Parámetros para definición**

Los criterios generales considerados para definir la colección núcleo de yuca se pueden clasificar en cuatro grupos:

- Origen geográfico.
- Diversidad de las características morfológicas.
- Diversidad en el patrón de bandas de alfa-beta esterasa.
- Selección a priori de accesiones basada en criterios específicos, así:
  - De clones incluidos en estudios de la Red de Biotecnología de Yuca (CBN).
  - De variedades locales plantadas con más frecuencia.

- De clones élite provenientes del programa de mejoramiento de yuca, los cuales representan genotipos con alta frecuencia de genes favorables para un buen número de características.

Con el fin de muestrear la diversidad genética, se dio mayor importancia al origen geográfico. Aproximadamente, dos tercios de las accesiones en la colección núcleo fueron elegidas de esta manera (Cuadro 17-5).

### **Clones incluidos en la colección**

La aplicación de todos los parámetros anteriores permitió definir, en una primera lista, los clones incluidos en la colección 'core' del CIAT (Cuadro 17-6).

Iglesias et al. (1992) anotan también que, al definir una colección núcleo, surge la pregunta de cuán flexible debe ser su estructura para aceptar cambios. Es de suponer que un excesivo dinamismo no sería bueno si se considera que se desea obtener una muestra de referencia para evaluación sistemática de diferentes características. Por otro lado, esa estructura debe permitir la incorporación de nuevas accesiones que hagan a la muestra seleccionada aún más representativa de la diversidad genética existente en el campo.

En términos prácticos, sería razonable esperar que 70% a 80% de la colección núcleo, definida inicialmente, permanezca inmodificable; el resto puede someterse a cambio, de acuerdo con la nueva información obtenida a corto y a mediano plazo.

### **Especies Silvestres de *Manihot***

Pocos cultivos tienen un número tan alto de especies relacionadas o silvestres como *M. esculenta*. Según Chávez (1990), las especies silvestres de *Manihot* constituyen un valioso recurso para los programas de mejoramiento, por las siguientes razones:

- Su alto potencial como fuente de genes de resistencia para algunas plagas y enfermedades.

Cuadro 17-5. Parámetros para determinar el número de accesiones que se seleccionarán, según el país de origen, para la colección núcleo de Yuca<sup>a</sup>.

Origen	No. acceso	Cultivares locales (%)	Nivel de duplic. (%)	No. base cult. locales	Importancia como centro de diversidad	Diversidad total del país en colección CIAT		Factor corrección por tamaño <sup>b</sup>	Suma pesos <sup>c</sup> geográfico <sup>d</sup>	Diversidad morfológica <sup>e</sup>	Div. de Selección a priorif	No. final acces. <sup>g</sup>					
						Esc.	Peso 1						Esc.	Peso 2	Esc.	Peso 3	
Argentina	16	40	10	6	1	1.00	25	0.75	2	0.40	1.00	2.15	4	0	3	8	
Bolivia	3	100	0	3	1	1.00	5	0.95	2	0.40	1.00	2.35	2	0	3	3	
Brasil <sup>h</sup>	1637	95	20	1244	1	1.00	40	0.60	5	1.00	0.20	0.52	110 <sup>i</sup>	13	15	20	101
China	2	100	0	2	3	0.50	25	0.75	3	0.60	1.00	1.85	1	0	2	2	
Colombia	1907	95	20	1449	1	1.00	75	0.25	5	1.00	0.20	0.45	111	15	13	14	146
Costa Rica	147	40	20	47	2	0.75	80	0.20	2	0.40	0.80	1.08	9	7	5	4	23
Cuba	74	90	20	53	2	0.75	80	0.20	2	0.40	0.80	1.08	10	5	1	2	18
Rep. Dom.	5	100	10	5	2	0.75	10	0.90	3	0.60	1.00	2.25	2	2	0	4	5
Ecuador	117	100	25	88	1	1.00	50	0.50	3	0.60	0.80	1.68	25	6	0	4	32
Fiji	6	100	10	5	3	0.50	50	0.50	1	0.20	1.00	1.20	1	0	0	2	2
Guatemala	91	100	50	46	2	0.75	80	0.20	2	0.40	0.80	1.08	8	6	0	2	15
Indonesia	51	10	15	4	3	0.50	10	0.90	3	0.60	0.80	1.60	1	0	2	5	7
Malaysia	68	70	15	40	3	0.50	50	0.50	2	0.40	0.80	1.12	8	0	1	6	15
México	100	95	30	67	2	0.75	75	0.25	3	0.60	0.80	1.28	14	6	0	2	20
Panamá	42	100	20	34	2	0.75	75	0.25	2	0.40	0.80	1.12	6	2	0	2	9
Paraguay	192	100	20	154	1	1.00	80	0.20	2	0.40	0.60	0.96	25	8	3	7	40
Perú	405	95	20	308	1	1.00	60	0.40	2	0.60	0.60	1.20	63	10	3	2	76
Filipinas	6	30	0	2	3	0.50	5	0.95	2	0.40	1.00	1.85	1	0	0	2	2
Puerto Rico	15	40	15	5	2	0.75	60	0.40	2	0.40	1.00	1.55	1	2	0	4	7
Tailandia	8	10	0	1	3	0.50	75	0.25	2	0.40	1.00	1.15	0	0	0	4	4
E.U.	9	0	0	0	3	0.50	100	0.00	1	0.20	1.00	0.70	0	0	0	4	4
Venezuela	240	95	20	182	1	1.00	60	0.40	4	0.80	0.60	1.32	41	9	3	3	55
Clones CIAT	317	0	0	0									0	3	5	27	33
Clones IITA	19	0	0	0									0	0	0	3	1
Total	5,477			3,744									440	100	51	121	630 <sup>j</sup>

a. Duplic. = duplicación; Cult. = cultivares; Esc. = escala; Div. = diversidad; acces. = accesiones.

b. Factor de corrección según tamaño de colección: > 1000 = 0.2; > 400-1000 = 0.4; > 100-400 = 0.6; > 20-100 = 0.8; 1-20 = 1.0.

c. Suma de pesos (1, 2 y 3) x factor de corrección según tamaño de colección.

d. Número de accesiones para colección núcleo = (suma de pesos x no. base de cultivares locales x constante), donde constante = 0.17.

e. Clones incluidos en el Banco Piloto del CIAT/IBPGR (IVAG).

f. Seleccionados por tres criterios:

- Incluidos en estudios de la CBN con base en la diversidad de origen geográfico y valor agronómico.

- Cultivares más difundidos.

- Clones élite de CIAT e IITA.

g. El número final puede ser menor que la suma de las columnas, dado que el mismo clon puede haber sido seleccionado por diferentes parámetros.

h. Incluyendo 800 accesiones introducidas en 1991-92.

i. Sesenta accesiones serán incluidas ante la introducción de 800 nuevas accesiones.

j. El número final puede ser menor después de detectar y eliminar duplicados.

FUENTE: Iglesias et al., 1992.

Cuadro 17-6. Clones incluidos en la colección núcleo ('core') según diferentes parámetros.

Origen	Número de clones incluidos según parámetros distintivos:				No. final en 'core'
	Origen geográfico	Diversidad morfológica	Diversidad de esterazas	Selección a priori	
Argentina	2	4	0	3	8
Bolivia	1	2	0	3	3
Brasil	110	13	15	20	101
China	1	0	0	2	2
Colombia	111	15	13	14	146
Costa Rica	9	7	5	4	23
Cuba	10	5	1	2	18
Rep. Dominicana	2	2	0	4	5
Ecuador	25	6	0	4	32
Fiji	1	0	0	2	2
Guatemala	8	6	0	2	15
Indonesia	1	0	2	5	7
Malaysia	8	0	1	6	15
México	14	6	0	2	20
Nigeria	0	0	0	3	3
Panamá	6	2	0	2	9
Paraguay	25	8	3	7	40
Perú	63	10	3	2	76
Filipinas	1	0	0	2	2
Puerto Rico	1	2	0	4	7
Tailandia	0	0	0	4	4
Estados Unidos	0	0	0	4	4
Venezuela	41	9	3	3	15
Híbridos	0	3	5	27	33
Total	440	100	51	121	630

FUENTE: Iglesias et al., 1992.

- Su tolerancia a los estreses abióticos más comunes.
- Su amplia variabilidad genética para características agronómicas y bioquímicas importantes como el bajo contenido de ácido cianhídrico y el alto contenido de proteína.
- Su ruta fotosintética C4, altamente deseable.

Ante la importancia de estas especies y la considerable erosión genética que padecen, una de las opciones de conservación es el establecimiento ex situ de un Banco de Germoplasma con estos valiosos materiales.

### **Codificación y abreviaturas**

Dentro del género *Manihot*, todas las especies estudiadas tienen un número de cromosomas  $2n = 36$ . Hasta el momento se han reconocido 99 especies silvestres y se tienen otras cinco en

proceso de descripción. Taxonómicamente, las especies de *Manihot* están divididas en 19 secciones (divisiones del género).

Chávez et al. (1987) señalan que, en aras de la codificación, en el CIAT se ha desarrollado e implementado un sistema estandarizado de nomenclatura para las especies y secciones de *Manihot*. Los Cuadros 17-2 y 17-7 resumen las abreviaturas de 99 especies y 18 secciones. En esta metodología, un código compuesto por tres letras minúsculas representa la especie: la primera letra de cada abreviatura se toma de la letra inicial del nombre de la especie; ninguna abreviatura se repite. Para las secciones, las abreviaturas constan de tres letras mayúsculas y así se diferencian de las abreviaturas de las especies.

El listado contiene todas las especies taxonómicamente críticas del género

Cuadro 17-7. Secciones de *Manihot* silvestre ordenadas alfabéticamente y sus respectivas abreviaturas.

Número de serie	Sección	Abreviatura
1	Anisophylae Rogers y Appan	ANY
2	Brevipetiolatae Pax	BRE
3	Caerulescentes Rogers y Appan	CAE
4	Carthaginenses Rogers y Appan	CAR
5	Crotalariaeformes Rogers y Appan	CRO
6	Foetidae Rogers y Appan	FOE
7	Glaziovianae Pax	GLA
8	Graciles Rogers y Appan	GCL
9	Grandibracteatae Pax	GND
10	Heterophyllae Pax	HET
11	Manihot P. Miller	MAN
12	Parvibracteatae Pax	PAR
13	Peltatae Pax	PEL
14	Peruvianae Rogers y Appan	PER
15	Quinquelobatae Pax	QUI
16	Sinuatae Pax	SIN
17	Tripartitae Rogers y Appan	TRI
18	Variifoliae Rogers y Appan	VAR

Cuadro 17-8. Características sobresalientes y posibles aportes de las especies silvestres de *Manihot*.

Especie	Característica y aportes
<i>M. pringlei</i>	Bajo contenido de cianuro
<i>M. glaziovii</i>	Resistencia al virus del mosaico africano
<i>M. pseudoglaziovii</i>	Resistencia al añublo bacteriano; resistencia a sequía; tolerancia al frío
<i>M. reptans</i>	Resistencia al añublo bacteriano
<i>M. tristis</i>	Alto contenido de almidón
<i>M. angustiloba</i>	Alto contenido de almidón
<i>M. neusana</i>	Resistencia al barrenador del tallo
<i>M. pohlii</i>	Resistencia al barrenador del tallo
<i>M. grahami</i>	Resistencia al barrenador del tallo; tolerancia al frío
<i>M. chorosticta</i>	Adaptación a suelos salinos
<i>M. carthaginensis</i>	Resistencia a sequía
<i>M. dichotoma</i>	Resistencia a sequía
<i>M. irwinii</i>	Excelente adaptación a suelos ácidos lateríticos
<i>M. tripartita</i>	Excelente adaptación a suelos ácidos lateríticos
<i>M. orbicularis</i>	Excelente adaptación a suelos ácidos lateríticos
<i>M. peltata</i>	Tolerante a suelos ácidos
<i>M. attenuata</i>	Tolerancia al frío
<i>M. rubricaulis</i>	Tolerancia al frío
<i>M. gracilis</i>	Tipo enano

FUENTE: Chávez, 1990.

*Manihot* silvestre, publicadas por Rogers y Appan, así como las nuevas especies recién descritas por Nassar y las 10 especies silvestres de la sección Quinquelobae revisadas por Allen, excluyendo los sinónimos.

### Posibles aportes

Para Chávez (1990), los estudios al momento han demostrado que muchas de las especies silvestres tienen potencial en los programas de mejoramiento como fuente de genes para características benéficas, resistencia a plagas y enfermedades, adaptación, y tolerancia de los estreses abióticos entre otros. En el Cuadro 17-8 se presenta un detalle de los posibles aportes de algunas especies silvestres.

### Referencias

- Chávez R; Roca W; Hershey C. 1987. Abreviatura para los nombres de las especies silvestres de *Manihot*. Yuca Boletín Informativo 11(2):5-6.
- Chávez R. 1990. Especies silvestres de *Manihot*: Un recurso valioso. Yuca Boletín Informativo 14(1):2-5.
- CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). 1996. Annual Report. Cali, Colombia. p. 209-220.
- Debouck D; Guevara C. 1995. Unidad de Recursos Genéticos; laboratorio de cultivo de tejidos. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. 16 p. (Multicopiado.)
- Escobar R; Mafla G; Roca W. 1998. Cassava cryopreservation; I. En: Engelmann F; Takagi H (eds.). Cryopreservation of tropical plant germplasm: Current research progress and application. Japan International Research Center for Agricultural Sciences (JIRCAS), Tsukuba, Japan, e International Plant Genetic Resources Institute (IPGRI), Roma, Italia. p. 404-406.

- Gonçalves WM; Guevara C. 1998. Descriptores morfológicos e agronômicos para a caracterização de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz). Memorias do Workshop Latinoamericano sobre Recursos Genéticos de Mandioca. Cruz das Almas (Bahia), Brasil, octubre 1995. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Centro Nacional de Pesquisa de Mandioca e Fruticultura Tropical, Brasil. p. 78-38.
- Guevara C; Valderrama A. 1995. Esquema de indexación para un banco de germoplasma de *Manihot esculenta*. Unidad de Recursos Genéticos, Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. 13 p. (Multicopiado.)
- Gulick P; Hershey C; Esquinas J. 1983. Genetic resources of cassava and wild relatives. International Board for Plant Genetic Resources (IBPGR), Roma, Italia. 56 p.
- Hershey C; Amaya A. 1979. Germoplasma de Yuca: Evolución, distribución y colección. En: Manual de producción de yuca. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. p. E15-E26.
- Iglesias C; Hershey C; Iwanaga M. 1992. Importancia de las colecciones núcleo para la conservación y utilización de los recursos genéticos. Memorias del Taller Internacional sobre Recursos Genéticos de la Yuca, CIAT, Cali, Colombia, agosto 1992. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. p. 17-22.
- Iglesias C; Guevara C; Ocampo C; Jiménez A. 1995. Identificación de duplicados genéticos en la colección de germoplasma de yuca conservada en el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. 12 p. (Multicopiado.)
- Jaramillo G. 1993. Terminología, codificación y disponibilidad de germoplasma en mejoramiento de yuca. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. 16 p. (Multicopiado.)
- Ocampo C; Hershey C; Iglesias C; Iwanaga M. 1993. Esterase isozyme fingerprinting of the cassava germplasm collection held at CIAT. En: Roca W; Thro AM (eds.). International Scientific Meeting of the Cassava Biotechnology Network (CBN), Cartagena, Colombia, agosto 1992. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. p. 81-89.
- Ocampo C; Angel F; Jiménez A; Jaramillo G; Hershey CH; Granados E; Iglesias F CA. 1995. DNA fingerprinting to confirm possible genetic duplicates in cassava germplasm. En: International Scientific Meeting, 2. Bogor, Indonesia, agosto 1994. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. v. 1, p. 145-151.
- Roca W; Chávez R; Marín ML; Arias D; Mafla G; Reyes R. 1989. In vitro methods of germoplasm conservation. *Genome* 31(2):813-817.

**Anexo 1****Formulario para Recolección de Materiales de Yuca**

Nota: Es necesario responder acerca de los descriptores contenidos en esta hoja

Género: \_\_\_\_\_ Especie: \_\_\_\_\_ Subespecie: \_\_\_\_\_

Nombre de colectores (iniciales): \_\_\_\_\_ Cód. provisional (muestra colectada) \_\_\_\_\_

Institución responsable: \_\_\_\_\_

Fecha de recolección (Año/Mes/Día): \_\_\_\_\_ Cód. internacional (muestra colectada) \_\_\_\_\_

País de colección: \_\_\_\_\_ Provincia/Estado: \_\_\_\_\_

Localidad: Municipio/Pueblo más cercano: \_\_\_\_\_

Distancia (km): \_\_\_\_\_ Dirección: \_\_\_\_\_

Latitud: grados: \_\_\_\_\_ minutos: \_\_\_\_\_ Norte \_\_\_\_\_ Sur \_\_\_\_\_

Longitud: grados: \_\_\_\_\_ minutos: \_\_\_\_\_ Oriente \_\_\_\_\_ Occidente \_\_\_\_\_

Altitud: msnm: \_\_\_\_\_

Procedencia inmediata de la muestra (encerrar en círculo):

Silvestre	1	Mercado local	5
Campo de agricultor	2	Mercado comercial	6
Tienda	3	Instituto	7
Solar o huerto casero	4	Otra: _____	8

Status de la muestra (encerrar en círculo):

Silvestre	1	Cultivar primitivo	4
Mala hierba	2	Cultivar mejorado	5
Línea mejorada	3	Otro: _____	6

Nombre local: \_\_\_\_\_

Foto (encerrar en círculo): Sí No Código de la foto: \_\_\_\_\_

Forma de la muestra (encerrar en círculo): Vegetativa 1 Semilla 2 Ambas 3

Muestra para herbario de la localidad (encerrar en círculo): Sí No

Cantidad de material (número de semillas o estacas): \_\_\_\_\_

**Descriptores** morfológicos primarios (encerrar en círculo):

Color hoja apical	3	5	7	9				
Color hoja adulta	3	5	7	9				
Color pecíolo	1	2	3	4	5	7	9	
Forma del lóbulo	1	2	3	4	5	6	7	8 9
Color externo del tallo	3	4	5	6	7	8	9	
Color externo de la raíz	1	2	3	4				
Color corteza de la raíz	1	2	3	4				
Color pulpa de la raíz	1	2	3					

Hábito de crecimiento (encerrar en círculo):

Arbol 1 Arbusto 2 Rastrera 3 Otro 4 \_\_\_\_\_

Parte de la planta utilizada (encerrar en círculo): Raíces 1 Follaje 2

**Uso principal** (encerrar en círculo):

Consumo humano (fresco)	1	Consumo animal (seco o procesado)	4
Consumo humano (seco o procesado)	2	Extracción de almidón	5
Consumo animal (fresco)	3	Otro: _____	6

**Cualidades especiales según el agricultor** (encerrar en círculo):

Rendimiento	1	Resistencia a enfermedades	5
Contenido de almidón	2	Resistencia a plagas	6
Calidad culinaria	3	Adaptación edáfica	7
Tolerancia de raíces al deterioro	4	Otra: _____	8

**Defectos notorios según el agricultor:** \_\_\_\_\_

**Enfermedades o plagas** y su severidad:

(Severidad: 1 = poco daño; 2 = daño moderado; 3 = daño severo)

Enfermedad o plaga	Severidad	Enfermedad o plaga	Severidad
_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____

**Cultivos en asociación:** Sí 1 No 2 Detalles: \_\_\_\_\_

**Información para muestra de especies silvestres:** \_\_\_\_\_

**Vegetación natural** (encerrar en círculo):

Bosque lluvioso	1	Bosque espinoso	6
Bosque húmedo	2	Matorral desértico	7
Bosque semihúmedo	3	Desierto	8
Bosque seco	4	Otra: _____	9
Bosque muy seco	5		

**Topografía** (encerrar en círculo):

Pantanoso	1	Ondulado	5
Plano inundable	2	Colinas	6
Vega	3	Montañoso	7
Plano	4	Otra: _____	8

**Textura del suelo** (encerrar en círculo):

Arenoso	1	Arcilloso	5
Franco-arenoso	2	Pedregoso	6
Franco	3	Orgánico	7
Franco-arcilloso	4	Otra: _____	8

**Drenaje** (encerrar en círculo):

Malo = 1 Moderado = 2 Bueno = 3 Excesivo = 4

**Pendiente** (encerrar en círculo):

Plano o casi plano (< 4°) = 1 Pendiente moderada (4°-14°) = 2 Pendiente empinada (> 14°) = 3

**Luminosidad** (encerrar en círculo):

Con sol = 1 Con sombra = 2

**Comentarios:** \_\_\_\_\_