

El Germoplasma de Yuca Conservado en el CIAT

Clair H. Hershey*

Introducción

Los recursos genéticos de la yuca pueden considerarse como la dotación completa de genes que potencial, y prácticamente, contribuyen a su modificación genética. Esta reserva de genes consta, pues, de la amplia diversidad genética que existe dentro de la yuca cultivada y de la que posee la mayoría de sus especies silvestres, algunas de ellas cruzadas exitosamente con la yuca sin necesidad de técnicas especiales.

Todos los cultivares de yuca, así como las especies silvestres estudiadas hasta el presente, poseen un número $2n$ de cromosomas igual a 36 (104, 217, 262). En la familia Euforbiaceae, el número básico de cromosomas (x) que más comúnmente se encuentra es ocho, y cerca del 50% de las especies son poliploides; por su parte Magoon *et al.* (162) sugirieron que la yuca es un aloploiploide. Aunque los estudios genéticos y citogenéticos del género *Manihot* han sido escasos, se sabe que la yuca es altamente heterocigótica, un fenómeno normal en los cultivos propagados vegetativamente que, no obstante, por propagación vegetativa continua pueden conservar combinaciones únicas en forma permanente a pesar de la heterocigocidad.

Colección y Conservación

Varios programas nacionales y centros internacionales de investigación han recolectado sistemáticamente la yuca. Brasil, que posee tal vez la mayor diversidad genética de la especie, mantiene más de 1000 accesiones en centros ubicados en diversas regiones del país.

* Fitomejorador, Programa de Yuca, CIAT, Cali, Colombia.

El Centro Nacional de Pesquisa de Mandioca y Fruticultura (CNPMP) se ha propuesto reunir esas colecciones en su sede principal de Cruz das Almas, Bahía.

El Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) en Cali, Colombia, mantiene actualmente en su sede una colección mundial de unas 2700 accesiones (Cuadro 1), que sin duda representa el área geográfica más extensa cubierta por cualquier colección y también, probablemente, el espectro más amplio de diversidad genética de la yuca nunca antes reunido.

Sin embargo, todavía no se ha recolectado suficientemente en algunas áreas de América Latina. Colecciones más pequeñas existen en varios países productores de yuca en América Latina, muchos de los cuales no disponen de los recursos que exigen el mantenimiento y la correcta evaluación de una colección. De otro lado, el potencial de erosión genética está aumentando, entre otras razones, por la sustitución de variedades tradicionales por variedades nuevas y por el deterioro o pérdida de áreas tradicionalmente sembradas de yuca.

La colección de especies silvestres de *Manihot*, emprendida principalmente por Brasil y México, es más bien limitada porque es difícil propagar y mantener esas especies que, aparentemente, exigen factores ambientales muy específicos. El CENARGEN, en Brasilia, mantiene la única colección extensa *in vivo* de especies silvestres de yuca.

Cuadro 1. Origen y número de accesiones de germoplasma de yuca conservados en el CIAT.

País de origen	Número de accesiones
Colombia	1759
Venezuela	253
Brasil	183
Perú	150
Ecuador	125
Cuba	73
México	65
Panamá	21
Puerto Rico	16
Costa Rica	16
República Dominicana	5
Paraguay	3
Bolivia	3
Malaysia	3
Tailandia	1
Total	2676

Los bancos de germoplasma de yuca se mantienen ordinariamente como colecciones sembradas en el campo, que son costosas y están expuestas a pérdidas por insectos dañinos, enfermedades o problemas del suelo. La propagación vegetativa es la única forma de conservar combinaciones genéticas únicas porque todos los clones son genéticamente heterocigóticos.

El CIAT desarrolló recientemente un sistema efectivo para conservar *in vivo* plántulas de yuca en un medio artificial estéril contenido en tubos de ensayo. Bajo condiciones controladas de luz, temperatura y nutrimentos, las plántulas se mantienen por lo menos dos años en ese medio antes de que sea necesario transferirlas a uno nuevo; en cualquier momento puede trasladarse una plántula al suelo y, cumplido cierto período de adaptación, al campo.

El germoplasma de yuca puede conservarse también como semilla sexual, resultado de la recombinación genética entre dos clones heterocigóticos o de la autopolinización de un solo clon; la semilla nunca puede duplicar las combinaciones genéticas de los progenitores como sí lo hace la propagación vegetativa. La semilla sirve como un depósito de los genes contenidos en los progenitores pero en diferentes combinaciones, de modo que si se pierden materiales clonales en el campo o en el laboratorio, la semilla sexual conserva, al menos, el grupo de genes. La semilla, finalmente, puede almacenarse con temperatura y humedad bajas durante largo tiempo.

Evaluación del Germoplasma

El valor de una colección de germoplasma se reconoce únicamente cuando ha sido sometida a una evaluación completa. Por su parte, a los programas nacionales de investigación interesa la evaluación de los caracteres que determinan la aceptabilidad de la yuca por los agricultores y los consumidores, como son, entre otros, el hábito de crecimiento, el potencial de rendimiento, la cantidad y calidad de las estacas producidas por la planta, la resistencia a enfermedades e insectos, y la calidad de las raíces.

El CIAT ha definido algunas combinaciones básicas de características edafoclimáticas, de las muchas en que hoy se cultiva la yuca (Cuadro 2), dado que los factores ambientales abióticos determinan en gran parte los problemas bióticos prevalentes y su severidad. Para facilitar, además, la expresión de todas las características de la yuca, es necesario hacer evaluaciones en diferentes sitios con distintas condiciones bióticas y

abióticas. La uniformidad relativa de las condiciones ambientales es importante para poder distinguir entre la variabilidad genética y la variabilidad ambiental; por ello, si en alguna localidad no hay patógenos o insectos en poblaciones suficientemente altas, puede ser necesaria la manipulación artificial. En conclusión, puede afirmarse que las condiciones de evaluación deben asemejarse a las de la región para la cual se piensa recomendar una nueva variedad; además, si las condiciones de esa región son muy variables, puede necesitarse más de un sitio tanto para la evaluación preliminar como para las demás etapas.

En Colombia hay regiones con características aparentemente similares a las de muchas áreas productoras de yuca en el mundo: regiones de alta temperatura y un período largo de sequía, sabanas de suelos ácidos e infértiles, selva tropical húmeda, y áreas a diferente altitud cuya temperatura varía (Cuadro 2). Sin embargo, en Colombia no hay variaciones significativas en la longitud del día ni en los cambios de temperatura durante el año. Por tanto, la estrategia básica del CIAT en la evaluación del germoplasma de yuca ha sido evaluar todo su banco de germoplasma en las zonas básicas edafoclimáticas que existen en Colombia, labor que no ha concluido aún en algunos sitios.

Cuadro 2. Zonas edafoclimáticas de producción de la yuca.

Zona	Descripción general	Sitio representativo en Colombia
1	Trópico de tierras bajas con estación seca prolongada; precipitación anual baja a moderada; temperatura anual alta.	Media Luna, Caribia (Costa Atlántica)
2	Trópico de tierras bajas con precipitación moderada a alta; vegetación de sabana en suelos ácidos e infértiles; estación seca de moderada a prolongada.	Carimagua (Llanos Orientales)
3	Trópico de tierras bajas sin estaciones secas pronunciadas; alta precipitación; humedad relativa permanentemente alta.	Florencia (Caquetá)
4	Trópico de altitud intermedia	CIAT-Palmira (Valle) CIAT-Quilichao (Cauca)
5	Áreas frescas de tierras altas	Popayán (Cauca)
6	Áreas subtropicales; inviernos frescos; fotoperíodos fluctuantes.	

No hay todavía buena información sobre el comportamiento de las variedades de yuca cultivadas en las diferentes condiciones de Colombia, comparado con el que manifiestan en otros países; sin embargo, se sabe ya que en éstos el comportamiento de algunas características, como el hábito general de crecimiento, el potencial de rendimiento y la resistencia a varias plagas y enfermedades, es altamente predecible a partir del que exhiben en Colombia.

La información reunida sobre numerosas evaluaciones hechas en Colombia permite anticipar algunas generalizaciones acerca de la colección de germoplasma del CIAT, compuesta casi toda por accesiones que son, o habían sido, variedades seleccionadas y cultivadas por los agricultores:

1. Su potencial de rendimiento es bajo, y se manifiesta principalmente en un bajo índice de cosecha.*
2. La frecuencia con que las accesiones manifiestan un alto nivel de resistencia a una enfermedad o insecto dado es generalmente baja; y la frecuencia con que los clones presentan alta resistencia a todas las enfermedades o insectos importantes de una región, es también muy baja.
3. Aunque la especie se adapta a un rango muy amplio de condiciones edafoclimáticas, una accesión dada lo hace a un rango, al parecer, limitado.

En consecuencia, el fitomejoramiento debe jugar un papel muy importante en el futuro, a saber, producir genotipos aceptables que se desempeñen bien con la ayuda de prácticas culturales mejoradas.

El Mejoramiento Genético de la Yuca en el CIAT

Pocas variedades existentes de yuca poseen todas las cualidades deseadas en una variedad recomendada y, por ello, debe practicarse el mejoramiento por recombinación genética, influido, a su vez, por características claves de la especie yuca como las que se discuten a continuación:

* Índice de cosecha = $\frac{\text{peso de raíces frescas}}{\text{peso total de la planta}}$

- a. Segregación amplia entre las progenies de cualquier recombinación debido a la alta heterocigocidad de los clones de yuca.
- b. La homocigosis causa una fuerte depresión del vigor y, por tanto, cualquier esquema de mejoramiento debe mantener una alta heterocigocidad o, al menos, restaurarla en los cruces finales.
- c. Un genotipo puede fijarse en cualquier etapa de selección después de la F_1 , mediante la propagación vegetativa.
- d. La mayor parte de los caracteres de la yuca poseen una herencia cuantitativa con efectos principalmente aditivos; en consecuencia, se pueden seleccionar padres considerando su comportamiento en sí y en condiciones ambientales apropiadas.
- e. Una norma del fitomejoramiento exige que se consideren simultáneamente varios caracteres, cada uno controlado por varios genes; en consecuencia, el progreso en el mejoramiento genético de la yuca es relativamente lento.
- f. La yuca aventaja a muchos cultivos en su poder de adaptación a condiciones de estrés ambiental —como suelos ácidos o poco fértiles y estaciones largas de sequía— carácter que el CIAT intenta aprovechar cada vez más.

Como en casi todos los cultivos de propagación vegetativa, el procedimiento básico del fitomejoramiento en yuca es el siguiente: seleccionar los padres; producir grandes cantidades de progenies; seleccionar y propagar vegetativamente las progenies durante varios ciclos de selección, en los cuales el número de genotipos disminuye progresivamente pero la precisión de la evaluación aumenta. El proceso completo, desde la selección de los padres hasta la liberación de una nueva variedad, consume en la yuca de 10 a 14 años. Los métodos y etapas del plan de fitomejoramiento de la yuca seguido en el CIAT se describen, de manera general, en la Figura 1.

En 1973 el CIAT empezó una evaluación intensiva del germoplasma de yuca y, simultáneamente, la selección de los padres. Cientos de miles de nuevos híbridos han sido evaluados en los años siguientes. El CIAT produce de 150 a 200 mil semillas híbridas cada año de las cuales 50 a 60 mil se siembran en el CIAT; las demás se almacenan o se despachan a otros países. Antes de ser recomendadas a los programas nacionales como material promisorio, las líneas seleccionadas pasan por las siguientes etapas: generación F_1 (plantas individuales); campo de observación (un

ETAPA

EJECUCION

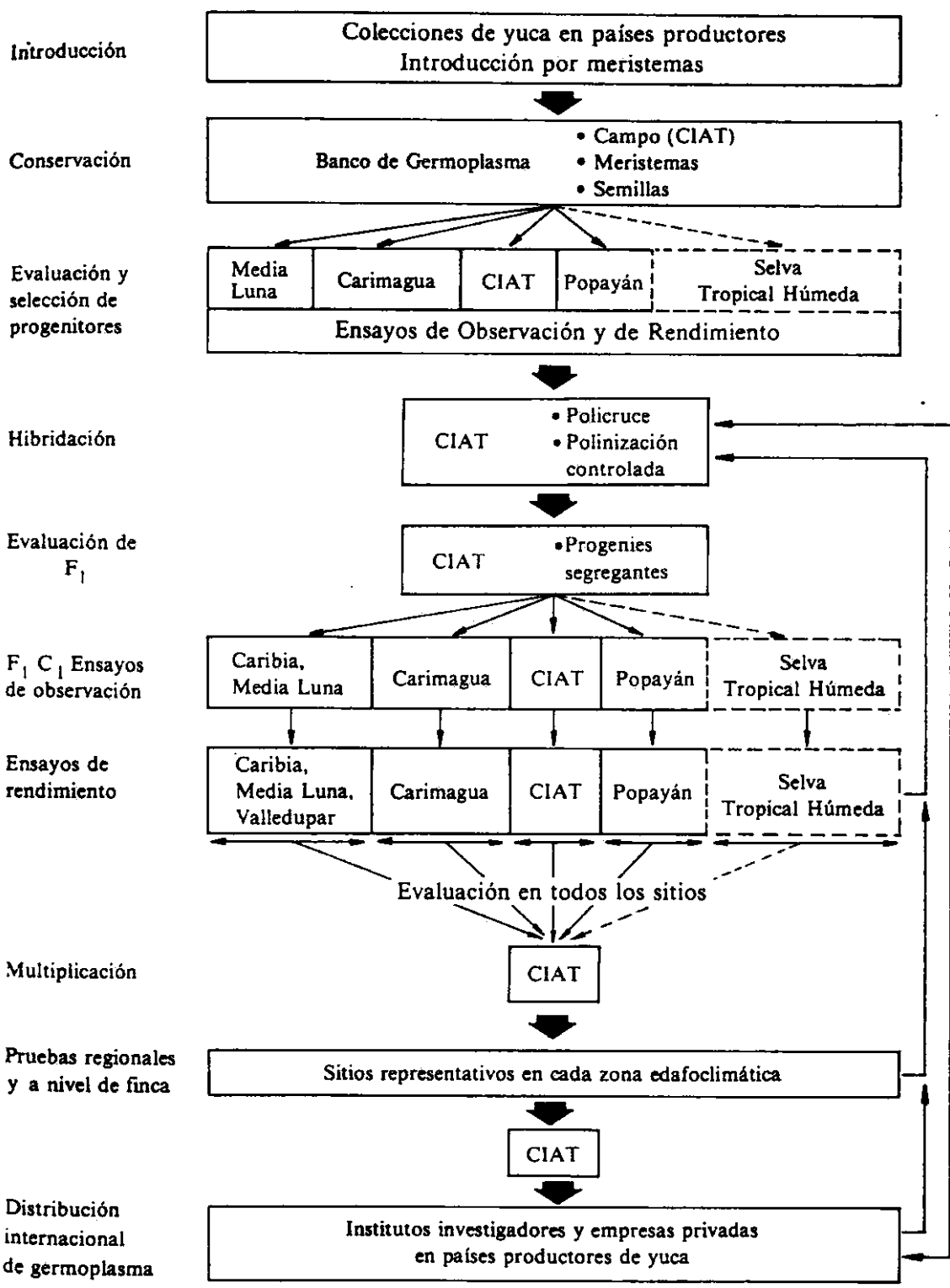


Figura 1. Flujo de germoplasma de yuca en el CIAT. "CIAT" = CIAT-Palmira; "Popayán" = CIAT-Popayán.

solo surco por genotipo); ensayo de rendimiento (parcelas grandes y con repeticiones); y pruebas regionales (parcelas más grandes y más sitios que en el ensayo de rendimiento). En las últimas etapas de selección se repiten los ensayos a lo largo de varios años para comprobar la estabilidad de los caracteres de la línea.

Selecciones hechas por el CIAT en las accesiones de su banco de germoplasma y líneas híbridas obtenidas por él han superado en rendimiento las variedades locales en casi todos los ensayos hechos en los países productores de yuca. Los datos más abundantes proceden de Colombia, donde se ha mantenido una red de pruebas regionales durante los últimos siete años. Un resumen de los resultados obtenidos por algunas líneas y accesiones de yuca se presenta en el Cuadro 3. Las variedades locales cultivadas con una tecnología simple —que comprende una buena preparación de la tierra, la selección y el tratamiento de las estacas, la densidad de siembra apropiada y un buen control de malezas —pueden duplicar el promedio del rendimiento nacional de la yuca en Colombia, a juzgar por los datos de las pruebas regionales; los nuevos híbridos del CIAT, cultivados con la misma tecnología mejorada, pueden triplicar, en muchos casos, ese rendimiento.

Cuadro 3. Rendimiento en promedio de líneas promisorias de yuca durante siete años de pruebas regionales hechas en Colombia¹.

Accesiones o líneas	Rendimiento anual de materia seca (t/ha)		Porcentaje de materia seca (t)
Accesiones			
M Col 22	7.4	(47) ²	34
CMC 40	8.4	(55)	30
M Col 1684	9.3	(55)	31
M Ven 218	8.2	(28)	33
Líneas			
CM 91-3	9.8	(25)	34
CM 321-188	11.4	(24)	35
CM 342-55	9.2	(22)	29
CM 342-170	9.4	(21)	33
CM 489-1	10.3	(23)	29
CM 507-37	8.8	(20)	31
CM 523-7	8.4	(20)	37
Variedad local	5.7	(79)	33

¹ Resumen de datos obtenidos en 12 localidades.

² Las cifras entre paréntesis indican el número de ensayos de evaluación de cada accesión o línea.

El CIAT ha logrado ya avances significativos en la resistencia de la yuca a varias plagas y enfermedades, en su potencial de rendimiento, y en su adaptación amplia. En el futuro, además de atender estos aspectos, el CIAT insistirá en la resistencia tanto a otros insectos como a los ácaros, en la calidad de las raíces, y en la adaptación del cultivo a un rango más amplio de condiciones edafoclimáticas.

Un punto crucial en el mejoramiento genético es el flujo de información, es decir, el uso de la información obtenida en varias etapas del mejoramiento para hacer ajustes en el énfasis de la selección, como se aprecia en la Figura 1; el flujo de información reviste especial importancia desde el nivel de los agricultores, a quienes debe satisfacer la nueva tecnología.

Distribución Internacional de Germoplasma

Los clientes de la tecnología mejorada del CIAT son, además de Colombia, todos los países productores de yuca. El CIAT suministra a cualquier programa nacional o institución científica germoplasma básico de yuca o líneas mejoradas. Todo el germoplasma puede despacharse en forma de estacas, de cultivos *in vitro* derivados de meristemas, o de semillas sexuales.

El material clonal (cultivos *in vitro* o estacas) va usualmente respaldado por la información de las evaluaciones a que fue sometido por el CIAT en Colombia, de modo que la entidad interesada puede determinar, con cierta certeza, qué material será de utilidad para ellos y en qué regiones se adaptará mejor. Los cultivos *in vitro*, con todo, son la forma más segura de manejar el movimiento internacional de material clonal; con ellos se elimina virtualmente la transferencia de ácaros e insectos y se reduce drásticamente la posibilidad de introducir enfermedades en un país. Se requiere, sin embargo, un nivel mínimo de capacitación y de equipos de laboratorio para enviar y recibir germoplasma en forma de cultivos *in vitro*. Con las estacas se puede propagar y evaluar un material inmediatamente después de llegado a su destino, pero toma más tiempo hacerlo cuando se reciben meristemas. El CIAT dejó de enviar estacas para intercambio internacional de germoplasma después del buen suceso obtenido con el envío de cultivos *in vitro*.

Al intercambiar semillas se pueden enviar fácilmente grandes volúmenes de diversidad genética. Cada semilla representa un genotipo distinto y encierra, en potencia, una nueva variedad; sin embargo, el germoplasma

recibido como semilla exige extensa y cuidadosa evaluación, selección e incremento de clones, lo que demanda alguna capacitación especializada del personal. Aparentemente, pocas enfermedades se transmiten por la semilla de la yuca; aunque el agente causal del añublo bacterial (*Xanthomonas campestris* pv. *manihotis*) puede hacerlo, la recolección de semillas en campos libres del patógeno alcanza a evadir cualquier posibilidad de contaminación.

El CIAT ha atribuido mucha importancia al intercambio internacional de material genético de yuca. En las pruebas internacionales, los materiales del CIAT han demostrado siempre su capacidad de contribuir al mejoramiento de los rendimientos nacionales de yuca (Cuadro 4), no obstante hallarse en las etapas preliminares de evaluación en casi todos los países; varios años han de transcurrir todavía antes de que esos materiales alcancen un elevado nivel comercial.

Cuadro 4. Rendimiento, en promedio, de las accesiones sobresalientes de yuca en pruebas regionales hechas en 11 países¹.

Accesión	Rendimiento ² (t/ha)	
M Col 1468 (CMC 40)	24.2	(30) ³
M Col 1684	22.4	(20)
M Ven 218	22.0	(10)
M Mex 59	20.7	(13)
M Col 1505 (CMC 76)	19.0	(8)
M Col 1513 (CMC 84)	18.6	(10)
M Col 22	18.2	(13)
Mejor variedad local	15.7	(35)

¹ Cuba, Haití, República Dominicana, México, Honduras, Costa Rica, Venezuela, Ecuador, Bolivia, Filipinas y Estados Unidos.

² En raíces frescas.

³ Las cifras entre paréntesis indican el número de ensayos de evaluación de cada accesión o línea.

Fuente: CIAT. 1981. Informe Anual, Programa de Yuca.