

**VARIABILIDAD GENÉTICA Y GRADO DE ADOPCIÓN DE LA YUCA (*Manihot  
esculenta* Crantz) CULTIVADA POR PEQUEÑOS AGRICULTORES DE LA  
COSTA ATLÁNTICA COLOMBIANA**

**ADRIANA MERCEDES ALZATE GUTIERREZ  
Código 7205001**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA  
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS  
PROGRAMA DE POSTGRADOS  
Palmira  
2009**

**VARIABILIDAD GENÉTICA Y GRADO DE ADOPCIÓN DE LA YUCA (*Manihot  
esculenta* Crantz) CULTIVADA POR PEQUEÑOS AGRICULTORES DE LA  
COSTA ATLÁNTICA COLOMBIANA**

**ADRIANA MERCEDES ALZATE GUTIERREZ**  
Código 7205001

**Trabajo de grado presentado para optar el título de  
Maestría en Ciencias Agrarias Área de énfasis Fitomejoramiento**

**Directores:**

**HERNAN CEBALLOS PhD.  
FRANCO ALIRIO VALLEJO PhD.**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA  
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS  
PROGRAMA DE POSTGRADOS  
Palmira  
2009**



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA  
SEDE PALMIRA

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

ACTA DE JURADO DE TESIS

MAESTRÍA EN CIENCIAS AGRARIAS  
LINEA DE INVESTIGACIÓN FITOMEJORAMIENTO

En Palmira a los 23 días del mes de Junio de 2009, se reunió en esta Sede el Jurado Calificador de Tesis, integrado por los doctores MARIO AUGUSTO GARCÍA DAVILA y EDGAR IVÁN ESTRADA SALAZAR

Para calificar la Tesis de Grado de:

**ADRIANA MERCEDES ALZATE GUTIERREZ**

Titulada:


"VARIABILIDAD GENÉTICA Y GRADO DE ADOPCIÓN DE LA YUCA (*Manihot esculenta Crantz*) CULTIVADA POR PEQUEÑOS AGRICULTORES DE LA COSTA ATLANTICA COLOMBIANA", bajo la dirección de los Doctores Franco Alirio Vallejo Cabrera y Hernán Ceballos Lascano.

Después de oír el informe del jurado evaluador compuesto por los Doctores MARIO AUGUSTO GARCÍA DAVILA y EDGAR IVÁN ESTRADA SALAZAR, y de haber cumplido con el proceso de evaluación, la tesis fue calificada como:

APROBADA

REPROBADA

  
MARIO A. GARCÍA D.

  
EDGAR IVÁN ESTRADA S.

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Dr. Hernán Ceballos, Dr. Juan Carlos Pérez y los integrantes del programa de Mejoramiento de Yuca de CIAT, en especial, por el apoyo en campo e invernadero a Eusebio Ortega, Jorge Iván Lenis, Noe Bañon y Nelson Morante.

Al Dr. Martin Fregene y todos los integrantes del Laboratorio de Genética de Yuca de CIAT.

Al Dr. Franco Alirio Vallejo por la dirección del trabajo en el momento oportuno.

A Martha Cecilia del Pilar Alzate, Myriam Cristina Duque, Juan Bosco Cuasquer, por sus aportes en el análisis estadístico.

Al Fondo Conmemorativo de Becas Ginés-Mera para Estudios de Postgrado en Diversidad Biológica por la financiación del proyecto.

Por su apoyo incondicional a Ana Cruz Murillo, Adriana Nuñez, Diana Falla, Jaime Alberto Marín y Janeth Patricia Gutierrez.

La facultad y los jurados de tesis no se harán responsables de las ideas emitidas por el autor.

Artículo 24, resolución 04 de 1974

## TABLA DE CONTENIDO

	Página
1. INTRODUCCIÓN .....	1
2. OBJETIVOS .....	3
2.1 GENERAL .....	3
2.2 ESPECIFICOS .....	3
3. MARCO TEÓRICO .....	4
3.1 GENERALIDADES DE LA YUCA ( <i>Manihot esculenta</i> Crantz) .....	4
3.1.1 Taxonomía .....	4
3.1.2 Origen, distribución y domesticación .....	5
3.1.3 Producción y área cultivada .....	6
3.1.4 Usos .....	7
3.1.5 Diversidad y recursos genéticos de la yuca .....	8
3.2 MARCADORES MOLECULARES COMO HERRAMIENTA PARA LA IDENTIFICACIÓN DE LA VARIABILIDAD GENÉTICA .....	9
3.2.1 Microsatélites (SSR – Simple Sequence Repeats) .....	11
3.3 MEJORAMIENTO GENÉTICO DE LA YUCA EN COLOMBIA .....	13
4. ANTECEDENTES .....	18
4.1 ESTUDIO DE DIVERSIDAD GENÉTICA DE YUCA USANDO LA TÉCNICA DE MICROSATELITES .....	18
4.2 VARIEDADES DE YUCA MEJORADAS GENÉTICAMENTE LIBERADAS EN LA COSTA ATLÁNTICA .....	19
4.3 ESTUDIOS QUE HAN DETERMINADO EL GRADO DE ADOPCIÓN DE VARIEDADES DE YUCA MEJORADAS Y LIBERADAS POR CIAT E ICA-CORPOICA EN LA COSTA ATLÁNTICA .....	20
5. MATERIALES Y MÉTODOS .....	24
5.1 UBICACIÓN .....	24
5.2 METODOLOGÍA .....	24
5.2.1 Metodología de campo .....	24
5.2.2 Metodología de laboratorio .....	27
5.2.3 Análisis de datos .....	30

6. RESULTADOS Y ANÁLISIS .....	32
6.1 RELACIONES GENÉTICAS ENTRE GENOTIPOS .....	32
6.2 VARIABILIDAD GENÉTICA .....	37
6.3 ADOPCIÓN DE VARIEDADES MEJORADAS .....	41
6.3.1 Distribución de variedades mejoradas por departamentos .....	44
6.3.2 Métodos de adquisición de semilla de yuca.....	46
6.3.3 Finalidad de la producción .....	48
6.3.4 Asistencia técnica .....	50
6.3.5 Principales problemas fitosanitarios del cultivo.....	53
7. CONCLUSIONES .....	56
BIBLIOGRAFÍA.....	57
ANEXOS .....	63

## LISTA DE TABLAS

### Página

<b>Tabla 1:</b> Distribución del número de municipios y número de fincas a visitar de pequeños agricultores de la Costa Atlántica según tamaño de muestra.....	26
<b>Tabla 2.</b> Características morfológicas de las variedades representativas de los grupos Grupo1, Grupo3, Grupo6 y Grupo5 establecidos en el ACM ....	35
<b>Tabla 3.</b> Variabilidad genética de yuca de pequeños agricultores de la Costa Atlántica Colombiana y ubicación de los 9 loci en los cromosomas del mapa genético de yuca. ....	37
<b>Tabla 4.</b> Heterocigosidad esperada de los grupos genéticos definidos en el ACM en la población de yuca de pequeños agricultores de la Costa Atlántica Colombiana.....	38
<b>Tabla 5.</b> Adopción por pequeños agricultores, de las variedades mejoradas de yuca por CIAT en cuatro departamentos de la Costa Atlántica.....	46

## LISTA DE FIGURAS

### Página

<b>Figura 1.</b> Gel de calidad de ADN de 30 muestras escogidas al azar de semilla de yuca de pequeños agricultores de la Costa Atlántica Colombiana.....	28
<b>Figura 2.</b> Prototipo del polimorfismo de los nueve SSRs seleccionados para el estudio de la variabilidad genética de genotipos de yuca de pequeños agricultores de la Costa Atlántica Colombiana.....	29
<b>Figura 3.</b> Agrupamiento de los 717 genotipos de yuca cultivada por pequeños agricultores de la Costa Atlántica Colombiana, mediante ACM .....	33
<b>Figura 4.</b> Distribución de genotipos de yuca en los grupos definidos por el ACM.....	35
<b>Figura 5.</b> Distribución de variedades y genotipos de yuca presentes en cultivos de pequeños agricultores de la región de la Costa Atlántica colombiana.....	37
<b>Figura 6.</b> Adopción de las variedades de yuca mejoradas por CIAT.....	42
<b>Figura 7.</b> Porcentaje de variedades de yuca mejorada por departamento.....	44
<b>Figura 8.</b> Adquisición de semilla de yuca por los pequeños agricultores de la Costa Atlántica.....	47
<b>Figura 9.</b> Finalidad de la producción de yuca de pequeños agricultores de la Costa Atlántica.....	48
<b>Figura 10.</b> Asistencia técnica recibida por pequeños agricultores de yuca de la Costa Atlántica .....	51
<b>Figura 11.</b> Principales problemas fitosanitarios en cultivos de yuca de pequeños agricultores de la Costa Atlántica.....	54

## LISTA DE ANEXOS

Página

<b>ANEXO 1.</b> Formato de encuesta realizado a los agricultores en los departamentos de Córdoba, Sucre, Atlántico y Magdalena.....	64
<b>ANEXO 2.</b> Microsatélites para análisis de diversidad y diferenciación genética (Mba <i>et al</i> , 2001). .....	65
<b>ANEXO 3.</b> Polymorphic information content – Contenido de Información Polimórfica.....	66
<b>ANEXO 4.</b> Ubicación de los marcadores : SSRY 12, SSRY 51, SSRY 63, SSRY 82, SSRY 100, SSRY 135, SSRY 179 en el Mapa genético de yuca .....	67
<b>ANEXO 5.</b> Asociación de grupos según Análisis de Correspondencia Multiple (ACM) de genotipos evaluados de la Costa Atlántica Colombiana.....	68
<b>ANEXO 6.</b> Distribución general de los diferentes genotipos sembrados por los pequeños agricultores de la Costa Atlántica en los seis grupos identificados en el Análisis de Correspondencia Multiple (ACM) .....	69
<b>ANEXO 7.</b> Número de alelos observados en genotipos evaluados de la Costa Atlántica Colombiana.....	71
<b>ANEXO 8.</b> Frecuencia alélica y heterocigosidad en genotipos evaluados de la Costa Atlántica Colombiana .....	72

## RESUMEN

La yuca es un producto importante para la seguridad alimentaria de países en vía de desarrollo. Es preferida por pequeños agricultores por su buen comportamiento bajo condiciones marginales de clima y suelo.

En Colombia, el tercer país productor de yuca en Latinoamérica, la principal zona de producción es la Costa Atlántica. Los cultivos que manejan los pequeños agricultores de ésta región, están conformados por un gran número de genotipos locales y/o variedades mejoradas existiendo un desconocimiento sobre la variabilidad genética de éstos materiales y la adopción de las variedades mejoradas.

En el presente trabajo se evaluaron 717 genotipos provenientes de fincas de pequeños agricultores de la Costa Atlántica. Se evaluó la diversidad genética por medio de la técnica molecular microsatélites y se realizó un análisis sobre la adopción de las variedades mejoradas. Se encontró alta diversidad genética ( $H_t$ : 0.61692) y baja adopción de la mayoría de variedades mejoradas.

**Palabras claves:** Variabilidad genética, microsatélites, heterocigosidad

## **ABSTRACT**

Cassava is an important product for food security in developing countries. It is preferred by small farmers because of its better performance than other crops under marginal conditions of climate and soil.

In Colombia, the third leading producer of cassava in Latin America, the main production area is the Atlantic Coast. Crops grown by small farmers in this region are composed of a large number of genotypes and improved varieties but there exists lack of knowledge about the genetic variability of these materials and the adoption of improved varieties.

In the present study we evaluated 717 genotypes from farms of small farmers in the Atlantic Coast. We assessed the genetic diversity using molecular microsatellite analysis and adoption of improved varieties. We found that there was high genetic diversity (Ht: 0.61692) and low adoption of most improved varieties.

**Keyword:** Genetic variability, microsatellite, heterozygosity

## 1. INTRODUCCIÓN

La yuca constituye el cuarto producto básico más importante en la alimentación mundial después del arroz, trigo y maíz. Juega un papel fundamental en la dieta de más de 1000 millones de personas (Ceballos, 2002), constituyendo un importante recurso energético en la alimentación humana.

La yuca es cultivada, en su gran mayoría, por agricultores pequeños. Por su buen comportamiento bajo condiciones marginales de clima y suelo, es identificada como un cultivo que puede evitar el hambre y dar seguridad en zonas donde otros cultivos fallan (Iglesias, et. al, 1994). El conocimiento de la diversidad genética de los cultivos, incluyendo la yuca, en cualquier región del mundo, permite aportar información básica en la toma de decisiones para propósitos de mejoramiento y conservación de la especie.

En Colombia, la principal zona de producción de yuca es la Costa Atlántica con el 42% de la producción nacional (Gottret et. al, 2002). Al igual que en otros países, en Colombia, la yuca, es manejada por pequeños agricultores, los cuales usan diferentes cultivares que pocas veces son claramente identificados, los cuales pueden estar conformados por genotipos locales o variedades mejoradas.

En Colombia, el Centro Internacional de Agricultura Tropical – CIAT, desde comienzos de la década de 1970, ha realizado trabajos de mejoramiento genético en yuca y junto con el Instituto Colombiano Agropecuario – ICA y CORPOICA, entidad encargada de la difusión y liberación de las variedades, han cumplido tradicionalmente con esta labor (Ceballos et. al, 2002). Sin embargo, teniendo en cuenta las dos modalidades de evaluación final de materiales mejorados, esquema tradicional e investigación participativa, no se conoce, si estas variedades han llegado a los pequeños agricultores de la Costa Atlántica y si las manejan en una amplia cobertura.

En este trabajo se evaluó la variabilidad genética de yuca de los pequeños agricultores de la Costa Atlántica Colombiana a través del uso de marcadores moleculares tipo microsatélites. También se identificó los genotipos locales y las variedades mejoradas que cultivan los agricultores de la región y el análisis de algunos aspectos que afectan la adopción de las variedades mejoradas como métodos de adquisición de semilla, asistencia técnica y finalidad del producto.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 GENERAL**

Identificar la variabilidad genética de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) cultivada por pequeños agricultores de la Costa Atlántica Colombiana.

### **2.2 ESPECIFICOS**

- Analizar la variabilidad genética de yuca cultivada por pequeños agricultores de la Costa Atlántica Colombiana, mediante marcadores moleculares tipo microsatélites.
- Determinar el grado de adopción por parte de los pequeños agricultores de variedades de yuca mejoradas y liberadas por CIAT e ICA-CORPOICA.
- Establecer los departamentos con mayor intensidad en el cultivo de variedades mejoradas por CIAT.

### 3. MARCO TEÓRICO

#### 3.1 GENERALIDADES DE LA YUCA (*Manihot esculenta* Crantz)

La yuca constituye una de las fuentes de energía más importantes en las regiones tropicales del mundo. Es una especie que es cultivada desde el nivel del mar hasta los 1800 m.s.n.m. Sus raíces son el principal producto económico pero las hojas también tienen un excelente potencial y son extensivamente utilizadas en África y Asia, ya sea para alimentación humana o animal. Además del valor económico, el cultivo ofrece ventajas como tolerancia a sequía, capacidad de producir en suelos degradados, resistencia a plagas y enfermedades, tolerancia a suelos ácidos y flexibilidad en el momento de plantar y cosechar (Ceballos, 2002).

##### 3.1.1 Taxonomía

La yuca presenta la siguiente clasificación taxonómica:

Clase : Dicotyledoneae  
Subclase: Archichlamydae (perianto poco evolucionado)  
Orden : Euphorbiales  
Familia : Euphorbiaceae  
Tribu : Manihoteae  
Género: Manihot  
Especie : *Manihot esculenta* Crantz

La familia Euforbiaceae está constituida por 7200 especies que se caracterizan por su notable desarrollo de los vasos laticíferos, compuestos por células secretoras llamadas galactocitos, las que producen la secreción lechosa que caracteriza a las plantas de ésta familia.

Una de las tribus más importantes de ésta familia es *Manihoteae*, representada por el género *Manihot* que agrupan arbustos o hierbas de porte alto. Dentro del

género *Manihot*, se han clasificado un centenar de especies, entre las cuales la única cultivada comercialmente es la yuca *Manihot esculenta* Crantz.

La yuca es una planta monoica, de ramificación simpodial y porte arbustivo. Según el cultivar y las condiciones ecológicas, su altura varía de 1 a 5 metros, siendo más común las plantas entre 1 y 3 metros. Dentro de la especie existen variedades amargas y dulces, según el contenido de ácido cianhídrico.

*M. esculenta* muestra una amplia variabilidad, que indica un alto grado de hibridación intraespecífica; por lo tanto, existen numerosos cultivares de ésta especie, los cuales se distinguen con base a sus características morfológicas (Dominguez et. al, 1983).

Se puede hacer una lista con los numerosos nombres vulgares para ésta especie. En la lengua española se conoce, principalmente, como yuca o mandioca. En Brasil se distingue la yuca dulce (aipí) de la amarga (mandioca). Otros nombres en otros idiomas son: cassava, manioc, manioca, tapioca, suahili, mhongo y omowgo (Ceballos, De la Cruz, 2002).

Todas las especies de la tribu *Manihoteae* (incluyendo *M. esculenta*) contienen 36 cromosomas y en la mayoría de los casos el apareamiento de los cromosomas forma bivalentes, sugiriendo que ésta especie sería diploide. Sin embargo, existe cierta divergencia por parte de los investigadores en cuanto al grado de ploidía de ésta especie. Para algunos autores, se trata de una especie diploide ( $2n=36$  cromosomas), mientras que otros la consideran un poliploide, posiblemente un alopoliploide (ya sea tetra o hexaploide) (Ceballos, De la Cruz, 2002).

### **3.1.2 Origen, distribución y domesticación**

La mayoría de los botánicos y ecólogos consideran la yuca como originaria de América Tropical, y el Nordeste del Brasil como el más probable centro de origen. La diversidad más amplia del género *Manihot* se encuentra el Brasil, suroccidente de México y Guatemala (Dominguez et.al, 1983).

La distribución de la yuca a otros continentes se inició después del descubrimiento de América. Los portugueses la llevaron desde Brasil a las Costas Occidentales de África en el siglo XI; posteriormente a finales del siglo XVIII la introdujeron a Madagascar y luego por la costa oriental. El hecho de que la introducción al África ha sido por ambas costas, explica la existencia de la amplia dispersión de ésta especie en el continente Africano.

La introducción al Sureste del continente Asiático ocurrió a principios del siglo XVII por parte de comerciantes españoles. Finalmente la yuca pasó del África a la India aproximadamente en 1800; donde se encuentra extensamente difundida y constituye un reglón importante en la alimentación (Dominguez et. al, 1983).

La yuca ha evolucionado como una especie cultivada por selección natural y por el cuidado del hombre. La historia de la yuca es todavía en su mayoría tema de conjeturas. Muy poca pruebas arqueológicas o etnobotánicas se encuentran disponibles a cerca del momento en que empezó su cultivo. La yuca pudo haber sido cultivada por primera vez en Brasil, Venezuela o Centro América (Hershey et. al, 1983). El área de domesticación comprende desde México hasta Brasil y se ha cultivado desde hace unos 5000 años (Simmonds, 1976).

### ***3.1.3 Producción y área cultivada***

La mayor parte de la yuca se produce en fincas de pequeños agricultores y en áreas agrícolas marginales, por lo que una producción importante no se registra en las estadísticas de manera adecuada y precisa (Ceballos, 2002). En África se siembra un 63.8% del total del área mundial y se cosecha el 51.7% de la producción mundial, en Asia, sin embargo, se siembra el 20.6% y se produce el 31.5% del total mundial indicando una alta productividad. América y el Caribe siembra el 16.5% de la superficie mundial sembrada con yuca y produce 17.2% del total mundial (FAO, 2007).

En América, Colombia ocupa el tercer lugar tanto en área sembrada con 185.000 ha, como en producción con 2.1 millón de toneladas; después de Brasil, que tiene 1.944.834 ha sembradas y produce 27.312.946 toneladas; seguido de Paraguay, con 320.000 ha sembradas y 5'100.000 toneladas de producción. Los rendimientos en estos países son aproximadamente Brasil 14 t/ha, Paraguay 15.9 t/has y Colombia 11.35 t/ha. (FAO, 2007).

En Colombia la principal zona de producción de yuca es la Costa Atlántica con el 42.4% de la producción nacional, seguida de los Llanos Orientales 13.2%, los Santanderes 13%, el Valle del Cauca 4.6%, Huila y Tolima 2.8% y el Eje Cafetero 2.4% (Gottret et. al, 2002).

En cuanto al área cosechada, la Costa Atlántica participa con el 54% de total nacional, en esta región el 70% de los productores de yuca son pequeños agricultores que cultivan en fincas de aproximadamente 0.5 a 2 ha, aunque también hay productores medianos (2 a 5 ha) y grandes (más de 5 ha). En los llanos Orientales el área cultivada representa el 11.5% del total nacional y se concentra en medianos productores con área promedio de finca entre 6 y 8 ha. En los Santanderes, el área sembrada es 11.3% del total nacional en fincas de 0.5 a 2 ha. En Huila- Tolima y Valle-Cauca hay poca área sembrada con 3.2% y 5.1% respectivamente y se consideran áreas grandes de cultivos industriales ó muy pequeñas en laderas (Gottret et. al, 2002).

### **3.1.4 Usos**

La yuca por su adaptabilidad a las difíciles condiciones del suelo (acidez e infertilidad) y al clima le permite ser un sustento seguro y un ingreso para familias de escasos recursos, asentadas en tierras marginales sin otra alternativa de producción agrícola. La yuca cumple ésta función no solo a las personas de escasos recursos del campo sino de las grandes ciudades (Gottret y Reymond, 2000).

La mayor parte de las raíces cosechadas se destina a consumo humano. Otros usos es la elaboración de concentrados para alimento de animales; a nivel industrial, como almidón que puede ser nativo y agrio. El almidón nativo tiene diversos usos, como espesante, aglutinante, estabilizante y mejorador de textura. El almidón agrio, se usa principalmente en productos tradicionales de panadería y snacks.

### **3.1.5 Diversidad y recursos genéticos de la yuca**

La diversidad es el número de tipos diferentes en una colección (comunidad, población, etc) donde los tipos están determinados por la expresión de una característica bajo consideración (Gregorius, 1987). La diversidad genética es la variación de los genes dentro de cada especie.

Para estimar la diversidad se usan varias medidas, y un gran porcentaje esta basado en modelos específicos o en conceptos probabilísticos. Cuando la variación es medida por diferencias alélicas en varios loci a través de electroforesis, los medios más usados para medir esta variación son, el número de alelos y la diversidad genética (heterocigosidad) (Nei, 1987).

El número de alelos es la medida más directa de diversidad y se refiere al número de estados variantes de un locus dentro del genoma (Ej. Formas alternativas de una proteína, sitios dentro del genoma que pueden ser cortados con enzimas de restricción, variación en el número de secuencias repetitivas en el ADN, etc).

La heterocigosidad observada ( $H_o$ ) se refiere a la proporción de individuos que son heterocigotos, es decir copias distintas en el mismo locus (este parámetro se encuentra muy relacionada con la naturaleza reproductiva de la especie estudiada). La heterocigosidad esperada o diversidad genética ( $H_e$ ) es un concepto introducido por Nei (1978) para referirse a la probabilidad que dos alelos seleccionados aleatoriamente en un genotipo dado sean diferentes.

Teniendo en cuenta el concepto de diversidad, los recursos genéticos constituidos por la variación genética organizada en el germoplasma de una especie que incluye variabilidad genética intra e interespecífica, se convierten en una fuente de materiales con fines de utilización en la investigación en general y especialmente en el mejoramiento genético.

Los recursos genéticos de la yuca son de invaluable valor para la humanidad y representan un recurso crítico para el futuro del cultivo (Hillocks *et al*, 2002). La conservación del germoplasma a través de bancos de germoplasma permite preservar, enriquecer y utilizar los recursos genéticos para asegurar la disponibilidad de germoplasma y de la información para la investigación actual y futura.

La conservación del germoplasma evita 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. La conservación permite también mantener un alto grado de variabilidad genética para utilizar en los programas de mejoramiento del cultivo. (Jaramillo, 2002).

### **3.2 MARCADORES MOLECULARES COMO HERRAMIENTA PARA LA IDENTIFICACIÓN DE LA VARIABILIDAD GENÉTICA**

La variabilidad genética de un cultivo se puede estimar haciendo una evaluación indirecta de su genoma por medio de descriptores morfológicos, a través de marcadores bioquímicos (isoenzimas) o por evaluación directa de su genoma con marcadores moleculares (RFLP, RAPD, minisatélites, microsátélites, etc.).

En la década de los 60 los marcadores morfológicos fueron ampliamente utilizados en estudios de genética y mejoramiento pero este sistema no permitía encontrar asociaciones significativas entre los marcadores y caracteres de importancia económica a través del estudio de poblaciones segregantes, por lo que era ocasional identificar marcadores morfológicos ligados a genes de importancia

económica, lo cual restringía su empleo en programas de mejoramiento. En estudios de variabilidad genética los descriptores morfológicos presentan desventajas como el reducido número de descriptores morfológicos, el efecto ambiental en la expresión de los descriptores y el enmascaramiento de la expresión de genes recesivos, estos factores limitan el uso de los marcadores morfológicos para una efectiva evaluación del genoma vegetal (Ferreira y Grataplagia, 1998).

El descubrimiento de los marcadores isoenzimáticos amplió el número de marcadores genéticos. Éstos son útiles para la complementación de la evaluación de la variabilidad genética por medio de los marcadores morfológicos, pero presentan limitaciones en la evaluación del genoma vegetal, esto se debe a que su número es limitado y que, en muchos cultivos se conoce poco sobre la genética de estos marcadores y el cubrimiento del genoma es muy reducido. Además, están afectados por el medio ambiente.

Con las técnicas modernas de biología molecular se logró detectar polimorfismo genético directamente a nivel del ADN. En su orden, las técnicas modernas comenzaron con el uso de enzimas de restricción que permitieron el análisis del polimorfismo de longitud de los fragmentos de restricción del ADN (Restriction Fragment Length Polymorphism – RFLP). Posteriormente, la amplificación en cadena usando una ADN polimerasa (PCR) permitió la descripción de otros marcadores moleculares que junto a técnicas de clonación y secuenciamiento del ADN proporcionaron información abundante sobre la estructura del genoma monocariótico y eucariótico. El uso de estas técnicas llevó al descubrimiento de otra fuente de polimorfismo genético, los mini y microsátélites que son secuencias repetidas de ADN (Ferreira y Grataplagia, 1998).

Los marcadores moleculares permiten el análisis de cada segmento del genoma vegetal, ya sea de copia única o altamente repetitivo, segmentos codificantes o no codificantes, segmentos conservados o hipervariables, segmentos del genoma nuclear u organelar. Algunas secuencias presentan poca variación dentro de las

especies de un mismo género, mientras que las secuencias hipervariables (secuencias polimórficas de cortas repeticiones que presentan alto grado de polimorfismo) pueden presentar variación genotípica específica (Karp, 1998).

Estudios de diversidad genética en yuca usando las técnicas de marcadores moleculares se pueden observar en varios trabajos. Ramírez (1991), por medio de la técnica de isoenzimas, determina duplicados del banco de germoplasma de yuca de CIAT. Giraldo (1996), con isoenzimas establece como es la diversidad genética de yuca en clones tradicionales de las zonas colombianas: Costa Norte, Litoral Pacífico, llanura Amazónica, estrella fluvial del Orinoco y entre ríos Putumayo y Amazonas.

La técnica de RFLPs fue usada por Bertram et. al (1993) para estudiar las relaciones filogenéticas entre especies del género *Manihot* de Latinoamérica y la yuca (*M. esculenta* Crantz). Beeching et. al (1993), con RFLPs, evaluó la diversidad genética de una colección de yuca in vitro en ORSTON, formada por 80 cultivares del género *M. esculenta* y algunos representantes de *M. glaziovii*, *M. caerulescens* e híbridos interespecíficos entre *M. esculenta* y *M. glaziovii*. Los RAPD, fueron usados por Zambrano et al. (2003) en estudios de diversidad genética del Banco de germoplasma de Yuca del CENIAP-INIA.

En cuanto a marcadores microsatélites, se han usado para estudios de diversidad genética de yuca en diferentes países. En el CIAT, se ha empleado ésta técnica en diversidad genética, con significativos avances que han aumentado el conocimiento básico de la variación genética de éste cultivo.

### **3.2.1 Microsatélites (SSR – Simple Sequence Repeats)**

Más del 90% del genoma de plantas y animales consiste en repeticiones en secuencia. Las repeticiones en secuencia del material del material genético ADN, es clasificado en tres grandes grupos de acuerdo a su longitud: satélites (repeticiones en secuencia de fragmentos superiores a las 300 pb), minisatélites

(repeticiones en secuencia de fragmentos superiores a las 300 pb) y microsatélites (repeticiones en secuencias simples de 1-6 pb) (Tautz, 1993. Tomado de Prieto, 2003).

Los SSR, son secuencias cortas repetidas compuestas de 2-5 pares de bases de longitud y se presentan en grupos de 100 o menos copias repetidas en promedio (Karp, 1998). Son altamente abundantes en el genoma de eucariontes, pero también ocurren en procariotes a baja frecuencia (Hoelzel, 1998).

Las di y tri tetranucleótidos son las repeticiones más comunes en los microsatélites, y se encuentran distribuidas por todo el genoma de la planta o del animal (Jarne y Lagoda, 1996. Tomado de Prieto, 2003).

Los microsatélites pueden ser clasificados en 3 categorías, puro, compuesto e interrumpido, de acuerdo a su composición de bases nitrogenadas ininterrumpidas de un solo motivo, ej. (AT) $n$ . Para los microsatélites compuestos consisten en dos o más tipos de repeticiones, ej. (GT) $n$  o (AT) $n$ . Los interrumpidos contienen una interrupción en la repetición, ej. (GT) $n$  GG (GT) $n$  (Herarne et al, 1992. Tomado de Prieto, 2003).

Los SSR también se pueden clasificar en dos tipos de acuerdo a su desarrollo, los genómicos y los génicos. Los microsatélites genómicos son desarrollados a partir de librerías genómicas, a menudo construidas por clonación de ADN en bacterias. Los microsatélites génicos son desarrollados a partir de librerías de cDNA (Génicas) el cual es obtenido por medio de la transcriptasa reversa (Paterson, 1996. Tomado de Prieto, 2003).

Dado que un microsatélite es una repetición que no codifica para la formación de proteína y debido a que las secuencias de ADN repetitivo pueden recombinarse y expandirse más frecuentemente que otros tipos de secuencias, estas regiones son a menudo altamente variables y consecuentemente útiles para medir similitud entre especies y variedades muy relacionadas. Pueden o no estar asociadas con genes (Langecrantz et al, 1993. Tomado de Prieto, 2003).

La técnica de marcadores microsatélites requiere el diseño y síntesis de “primers” lo cual requiere mucho trabajo y es una de las limitaciones en el uso de ésta técnica.

### **3.3 MEJORAMIENTO GENÉTICO DE LA YUCA EN COLOMBIA**

Colombia es la sede de uno de los pocos programas de mejoramiento genético de yuca que hay en el mundo. En Colombia, el Centro Internacional de Agricultura Tropical – CIAT, en su programa de Mejoramiento Genético de Yuca, se encarga de este trabajo.

Desde 1969 el programa de Mejoramiento Genético de Yuca de CIAT, planteó la hipótesis de considerar la “variedad” como factor limitativo tecnológico en las zonas donde regularmente se cultiva yuca. Fue así como surgió la necesidad de tener alternativas de variedades frente a las locales con potenciales mayores de rendimiento, almidón, contenido de proteína, resistencia a plagas y enfermedades, etc. (CIAT, 1981).

En los objetivos planteados en el mejoramiento de la mayoría de los cultivos, incluyendo la yuca, se busca aumentar el rendimiento por unidad de área, asegurar la estabilidad de la producción y mantener o mejorar la calidad del producto para que éste satisfaga las necesidades del consumidor final. La estabilidad de la producción es importante y se logra cuando el material desarrollado tiene tolerancia o resistencia genética frente a los principales factores bióticos y abióticos que limitan la producción.

Como la yuca por lo regular se cultiva en ambientes marginales susceptibles a sequías o inviernos prolongados, una variedad exitosa deberá poseer cualidades que le permitan llevar éstas y otras adversidades. Cada ambiente donde se cultiva la yuca tiene su propia lista de factores limitantes de producción. Por ejemplo, en la Costa Norte de Colombia, la ausencia de lluvias y la poca disponibilidad de agua es el principal factor abiótico limitante de la productividad. En cuanto a

plagas y enfermedades, los ácaros (*Mononychellus tanajoa*), los trips (*Frankliniella williamsi*) y el gusano barrenador del tallo (*Chilomima clarkey*) representan los problemas más comunes. En el Valle del Cauca, en cambio, no hay problema en la disponibilidad de agua y eso implica que las principales plagas sean, mosca blanca (*Aleurotrachelus sociales* Bondar), bacteriosis (*Xanthomonas axonopodis* pv. Manihotis), superalargamiento y cuero de sapo.

Todas estas observaciones se integran al proceso de mejoramiento genético para cada ecoregión, de modo que los materiales resultantes posean buenos niveles de tolerancia o resistencia a estas adversidades (Ceballos et. al, 2002).

El material genético que se produce debe también satisfacer adecuadamente las necesidades del consumidor final. Entre éstos, se pueden describir: Consumo fresco; yuca procesada para alimentación humana; almidones y energía para dietas animales (Ceballos et. al, 2002).

El proceso de mejoramiento de yuca, se ha desarrollado a partir de dos sistemas, el sistema convencional y la investigación participativa. El sistema convencional, es el cruzamiento de clones superiores seguido de un proceso de evaluación clonal y selección. El material seleccionado en un centro es vegetativamente distribuido y probado en diferentes localidades (Lozano et al. 1983). En este proceso, la comunicación del fitomejorador con el sector compra/venta del producto agrícola, con el procesador y, en última instancia, con el consumidor final es, generalmente muy limitada.

Sin embargo, en años recientes se ha dado más énfasis en la integración de los distintos componentes de una determinada cadena productiva, donde el sistema a través de las metodologías de “investigación participativa” se busca mejorar las necesidades del agricultor y el usuario final. (Ceballos et. al, 2002).

El proceso de mejoramiento genético de yuca en Colombia, comienza con la selección de padres para el cruzamiento, que deben ser de gran producción y adaptación a los ambientes específicos donde serán cultivados. El CIAT cuenta

con el Banco Mundial de Germoplasma de Yuca, el cual tiene mas de 6000 variedades provenientes de África, Asia y América, que representan una gran parte de la variabilidad genética, no solo de *Manihot esculenta*, sino de numerosas especies silvestres de las que se pueden extraer valiosos genes. Otros materiales también usados como parentales son los clones de yuca provenientes del programa de mejoramiento genético que empezó en la década de 1970, muchos de estos genotipos elegidos como parentales se caracterizan por su alta productividad de materia seca, (por ejemplo MTAI-8, SM1565-15 y SM1219-9), otros por la excelente calidad para la industria de alimentos procesados para consumo humano (MPER183 y SM1460-1), reconocida capacidad combinatoria para producir buenas progenies (SM805-15 y SM1565-17), características especiales como la resistencia a la pudrición de raíces (CM4574-7) ó materiales con pulpa de coloración amarilla que indican altos contenidos de carotenos. Otros progenitores, para nuevos genotipos, son los materiales de África, que poseen resistencia al mosaico africano de la yuca (ACMD), aunque la enfermedad no esta presente en las Américas, su insecto vector (*Bemisia tabaci*) se ha detectado en Brasil, Ecuador, República Dominicana y Puerto Rico (Ceballos et. al, 2002).

Después de seleccionados los progenitores y obtener la semilla botánica, las progenies son evaluadas para seleccionar los genotipos que superen una o muchas características a los mejores materiales actualmente disponibles (Ceballos et. al, 2002).

Los genotipos obtenidos en los cruzamientos son multiplicados en lotes aislados, hasta obtener 8 clones de cada uno, se identifican adecuadamente y son enviados a los denominados "campos de observación" en las diferentes zonas de adaptación específica (por ej. Caribe subhúmedo). Aquí se aprecia la enorme variabilidad genética obtenida en los cruzamientos de los progenitores seleccionados. Para explorarla, es necesario evaluar un número grande de familias segregantes. Actualmente se plantan entre 1500 y 2000 familias en estos ensayos. Se efectúa una selección muy estricta que reduce hasta un rango de 200

a 300 los clones que pasarán a la siguiente etapa de evaluación y selección. Esta selección se hace con un número pequeño de plantas (hasta 8) y una sola repetición y se basa principalmente en características altamente heredables., como por ej. el tipo de planta.

Una vez hecha la primera selección en el campo de observación, que permite reducir el número de familias, se inician las evaluaciones con parcelas y repeticiones más grandes. A medida que el proceso avanza, la selección se concentrará más en características de baja heredabilidad, como rendimiento. Después de realizados ensayos preliminares y avanzados de rendimiento, entre los 5 y 10 mejores genotipos se incorporan en las “pruebas regionales”, es decir, se plantan en varios sitios representativos de cada ecoregión. Los materiales que después de 2 años de pruebas regionales, no logran superar los testigos, son eliminados de las pruebas. Los clones que logran superar, en una o varias características a los testigos de las pruebas regionales pasan a una evaluación que los conduce a una posible liberación como variedad. Normalmente este proceso queda a cargo de CORPOICA, entidad encargada de la difusión y liberación de las variedades (Ceballos et. al, 2002).

Además del Programa de Mejoramiento de Yuca de CIAT, ICA ha realizado también trabajos de mejoramiento de yuca. En 1962, realizó cruzamientos entre variedades promisorias seleccionadas incrementándose en los años 1974 y 1975. De este programa de cruzamiento se escogieron las variedades CMC9, CMC40 y CMC76.

ICA, en 1971, obtuvo híbridos de yuca a partir de semilla irradiada de la variedad CMC9 (Llanera), con el objetivo de incrementar la variación en una forma artificial y posteriormente evaluar y seleccionar los materiales promisorios. Después de cinco años de evaluación en pruebas de rendimiento y pruebas regionales se seleccionaron varios híbridos.

En julio de 1975 la variedad Llanera (CMC9) que se adapta bien a alturas de 100 hasta 1200 m.s.n.m. en el Valle del Cauca y Meta, fue seleccionada, recomendada y registrada como variedad en el Ministerio de Agricultura.

En julio de 1984, entregó oficialmente las variedades CMC40 con el nombre Manihoica P-11 y CMC76 con el nombre Manihoica P-12, que alcanzan rendimientos de 29.6 y 25.2 t/ha, respectivamente, en condiciones favorables, se adaptan entre el nivel del mar y los 1500m de altitud. En diciembre de 1986 se entregó la variedad P-13 (HMC1) que se adapta muy bien a los valles interandinos, a alturas entre 700 y 1500 m.s.n.m. (Luna, 1991).

Actualmente CORPOICA, no realiza cruzamientos y/o mejoramiento genético propiamente dicho, sino que aprovecha los resultados del programa de mejoramiento de yuca del CIAT y evalúa los materiales promisorios de acuerdo con las necesidades de Colombia, recomienda cruzamientos de algunas variedades regionales con otras mejoradas por CIAT, tratando de encontrar o reunir algunas características deseables.

## **4. ANTECEDENTES**

### **4.1 ESTUDIO DE DIVERSIDAD GENÉTICA DE YUCA USANDO LA TÉCNICA DE MICROSATELITES**

Recientemente los marcadores Microsatélites (SSR – Simple Sequence Repeat) se han usado para estudios de diversidad genética de yuca en diferentes países. El CIAT ha empleado ésta técnica para evaluar la diversidad genética de la yuca en centros de producción y diversidad, principalmente en África y Latinoamérica, los avances en estos trabajos han aumentado el conocimiento de la variación genética del cultivo.

A partir de varios trabajos de diversidad y diferenciación genética se han identificado 36 marcadores microsatélites como los de mayor polimorfismo (Mba et. al, 2001), lo que ha permitido desarrollar estudios en países como Sierra Leona (Dixon, 2003), Uganda (Kizito, 2003), Nigeria (Dixón, 2002), Ghana (Okay, 2003), Perú (Alcántara, 2001), Guatemala (Monte, 2003) y Cuba (Beovides, 2004). Los resultados de éstos trabajos han encontrado altos valores de diversidad en los países estudiados y se ha evidenciado subestructura en poblaciones Africanas, aspectos positivos para el mejoramiento del cultivo.

Aunque en algunos de estos trabajos se han incluido variedades colombianas provenientes del Banco de Germoplasma de CIAT, para determinar diferencias entre éstas y accesiones de otros países, en Colombia no se han realizado estudios de diversidad genética que incluyan accesiones de yuca colectadas in situ, en el país ó alguna región de éste.

## **4.2 VARIEDADES DE YUCA MEJORADAS GENÉTICAMENTE LIBERADAS EN LA COSTA ATLÁNTICA**

El CIAT, y su programa de mejoramiento de yuca, desarrollar trabajos enfocados a obtener variedades mejoradas de yuca. ICA-CORPOICA, lo estuvo realizando en algún tiempo, pero ahora se encarga solo de la transferencia y liberación de los materiales mejorados por CIAT.

Las variedades de yuca mejoradas comienzan a partir de la variedad Venezolana, ésta fue introducida en la región de forma espontánea en 1968 por agricultores que habían ido a trabajar al Estado de Zulia (Venezuela). Luego, la variedad fue caracterizada por el CIAT e introducida en el banco de germoplasma y se denominó MCOL 2215. Esta variedad fue evaluada por el programa de Mejoramiento de Yuca del CIAT, en ensayos de rendimiento y pruebas regionales desde 1979. Debido a su buen comportamiento, fue promovida por las Instituciones como parte del proyecto integrado de yuca (Gottler y Henry, 1994).

ICA, en el año 1984, entregó oficialmente la variedad Manihot P-12, que alcanzan rendimientos promedios de 25.2 t/ha en condiciones favorables. (Luna, 1991).

En 1988, el Programa de Yuca del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), con la colaboración del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), las Secretarías de Agricultura de Bolívar y Córdoba, y pequeños productores de la Costa Atlántica; realizó en esta zona un trabajo sobre “Evaluación de nuevas variedades de yuca con la participación de agricultores”. Para llevar a cabo esta actividad, se tuvo en cuenta que los mejoradores desarrollaban variedades productivas sin asegurar su aceptación y adopción por parte de los agricultores. Lo anterior conducía a la producción de variedades con poca aceptación debido a la escasa consideración de los criterios que tienen los agricultores de yuca para seleccionar y aceptar una nueva variedad (Hernández, 1993).

De éste trabajo, con la participación conjunta de investigadores y productores, se logró en 1991 la liberación de la variedad ICA Costeña (CG1141-1) y en 1993, ICA Negrita (CM3306-4) a través del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). Estas variedades alcanzaron rendimientos hasta de 24 t/ha, 30.4 t/ha respectivamente

en tres pruebas regionales en localidades del departamento del Atlántico (Ceballos et. al, 2002).

En el año 2000 la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria CORPOICA, también a través de trabajos de mejoramiento participativo, liberó las siguientes variedades para consumo fresco e industrial: CORPOICA Colombiana (CM3306-19), CORPOICA Sucreña (CM 3555-6), CORPOICA Caribeña (SGB 765-2) y CORPOICA Rojita (SGB 765-4), cuyas producciones en raíces frescas en promedio fueron 25 t/ha, 26 t/ha, 17.4 t/ha y 15.5 t/ha respectivamente (López et. al, 2000).

En el año 2004, se liberaron oficialmente, cinco nuevas variedades de yuca para uso industrial en la región. Las variedades liberadas corresponden a los nombres de CORPOICA Caiseli, CORPOICA Orense, CORPOICA Tai, CORPOICA Verónica, y CORPOICA Ginés. Los rendimientos de yuca fresca de estas variedades obtenidas de evaluaciones en cultivos comerciales manejados por agricultores fueron en promedio, 33.6 t/ha para CORPOICA Caiseli, 50 t/ha para CORPOICA Orense, 29.3 t/ha para CORPOICA Tai, 28.6 t/ha para CORPOICA Verónica y 27.3 t/ha para CORPOICA Ginés (CIAT, CORPOICA, CLAYUCA, MADR, 2001).

#### **4.3 ESTUDIOS QUE HAN DETERMINADO EL GRADO DE ADOPCIÓN DE VARIEDADES DE YUCA MEJORADAS Y LIBERADAS POR CIAT E ICA-CORPOICA EN LA COSTA ATLÁNTICA**

Gotttrer y Henry (1994), realizaron un trabajo sobre la importancia de los estudios de adopción e impacto de nuevas tecnologías. Dentro de los diversos análisis realizados, reportan el estudio de adopción de variedades mejoradas en la Costa Norte de Colombia. En este estudio se analiza la adopción de dos variedades mejoradas de yuca, la variedad Venezolana y la variedad MP12 (CMC76), y una variedad mejorada de mejorada de maíz para la siembra en asocio con yuca.

Se identificaron áreas con diferente nivel de influencia tecnológica usando dos criterios: presencia institucional, y número de años y años de operación de las

plantas de secado existentes en cada municipio estudiado. Con esta información el área de estudio se dividió en tres niveles:

Nivel 1: Alto nivel de influencia de tecnología. Municipios donde se han instalado plantas de secado natural de yuca antes de 1988 y existe buena presencia institucional (visita de técnicos y acceso a créditos).

Nivel 2: Medio nivel de influencia tecnológica. Municipios donde se han instalado plantas de secado después de 1988, presencia institucional con capacitación, investigación, asesoría de técnicos y acceso al crédito.

Nivel 3: Bajo nivel de influencia tecnológica. Municipios donde no existen plantas de secado y la presencia institucional dedicada a hacer investigación y extensión en el cultivo de yuca es bastante bajo o ausente.

En este estudio se observó que la primera fase del proceso de adopción de yuca es larga, y es cuando los agricultores que siembran la variedad, están empezando a experimentarla y conocerla. La yuca, cuya reproducción vegetativa y tasa de multiplicación es mas baja, era lógico pensar que esta primera fase del proceso de adopción fuera lento.

Para el caso de la variedad Venezolana esta fase duró alrededor de diez a doce años. La variedad MP12 liberada en 1984, se encontraba en su primera fase y pocos agricultores la estaban sembrando (2.5% de los productores).

En el trabajo se concluye que es necesario buscar formas más eficientes y efectivas de multiplicar la semilla de yuca de las variedades mejoradas y de que ésta llegue a los agricultores.

López (1999), realizó un estudio sobre la Adopción de Variedades de Yuca Generadas por el Mejoramiento Clásico y por la Selección Varietal Participativa en la Región Caribe de Colombia en los departamentos de Córdoba, Sucre Bolívar y Atlántico. El objetivo específico fue presentar y discutir el nivel de adopción de Manihoca P-12, generada por el mejoramiento clásico, y de dos variedades, ICA Costeña e ICA Negrita, seleccionadas por los agricultores mediante la metodología IPMY (Investigación Participativa aplicado en Mejoramiento de Yuca).

Los agricultores encuestados se clasificaron por estratos, los cuales fueron definidos según el “nivel tecnológico” de los agricultores de cada municipio. El estrato alto se definió como agricultores de los municipios donde hay plantas de secado natural de yuca, hay una buena presencia institucional y se ha liberado para ellos “semilla” (estacas) de alguna de las tres variedades mencionadas.

El estrato medio, es el grupo de los agricultores de los municipios donde hay plantas de secado natural de yuca, hay una presencia institucional intermedia y no se les ha liberado “semilla”; se encuentran, sin embargo, cerca de municipios en los que se liberó semilla y cuyo nivel tecnológico es bajo.

El estrato bajo, eran agricultores de los municipios donde no existen plantas de secado, la presencia institucional para la transferencia en el cultivo de la yuca es bastante baja o está ausente y, además, en esos municipios no se liberó semilla de ninguna de las tres variedades en estudio.

El estudio concluyó que, las variedades en cuya selección y liberación participaron los agricultores tiene un incremento relativo de adopción mucho mayor que la variedad liberada por el mejoramiento clásico, aunque su tasa de adopción no haya sido muy alta.

La adopción varía con el nivel tecnológico: mientras ICA-Negrita fue más adoptada por agricultores del nivel medio, ICA-Costeña y MP-12, lo fueron en el nivel medio. La mayor parte de los agricultores que pertenecen al nivel tecnológico bajo no plantan, ni han plantado las variedades ICA-Costeña e ICA-Negrita; la mayoría de los que conocen a MP12, la planta aún o la han plantado alguna vez.

Es mayor el porcentaje de agricultores que plantan las variedades en cuya selección han participado son más, y lo hacen porque éstas dan mayor producción y más rendimiento que la variedad liberada por el mejoramiento clásico y tradicional. Este hecho indica que la finalidad para la cual se desarrollaron dichas variedades se ajustó a las preferencias de los agricultores cultivadores de yuca.

La principal razón que impide a los agricultores plantar las variedades es la difícil consecución de su “semilla” (estacas); esto ocurre porque la liberación oficial de las variedades no va acompañada de proyectos efectivos para la producción de

“semilla”. Los programas de mejoramiento que deseen lograr la rápida adopción de una variedad y hacer un impacto verdadero con ella, deben planear la producción acelerada de “semilla” en las fases finales de la evaluación y en la primera de la liberación; la tasa de multiplicación normal de la especie (por estaca) es muy baja y no garantiza una rápida difusión de las nuevas variedades.

## 5. MATERIALES Y MÉTODOS

### 5.1 UBICACIÓN

La colecta de las variedades de yuca sembradas por pequeños agricultores, se realizó en fincas que comprendían entre 0.5 ha y 12 ha en los departamentos de Córdoba, Sucre, Atlántico y Magdalena, éstos departamentos están políticamente organizados por municipios. El departamento de Bolívar se descartó en este proceso debido a los problemas de orden social. El material colectado fue llevado y sembrado en invernaderos de CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical) ubicado en Palmira (Valle del Cauca). El trabajo para el análisis molecular, se realizó también en CIAT en el laboratorio del programa de Genética de Yuca.

### 5.2 METODOLOGÍA

#### ***5.2.1 Metodología de campo***

Se realizó un muestreo por conglomerados, el cuál consiste en seleccionar aleatoriamente un cierto número de conglomerados (el necesario para alcanzar el tamaño muestral establecido) y en investigar después, todos los elementos pertenecientes a los conglomerados elegidos.

*Tipo de Muestreo:* Conglomerado polietápico, considerando el conglomerado como el grupo de cultivadores existente en cada Municipio. El muestreo se aplicó en dos etapas:

- Etapa 1 se selección aleatoria del municipio en cada Departamento.
- Etapa 2 selección aleatoria de las fincas a visitar dentro del municipio.

Se garantizo la aleatoriedad de selección en cada etapa con el fin de evitar sesgos de selección.

*Tamaño de muestra:* Se utilizó la formula para le cálculo de tamaños de muestra en Proporciones teniendo como variable principal **P**

**P**= % de fincas con variabilidad genética de yuca sembradas en cultivos de pequeños agricultores.

Además se consideraron los siguientes supuestos.

- Como no se conocía la cantidad total de fincas, se supuso la existencia de un N= infinito de fincas de pequeños agricultores, esto permitió una muestra estable en cantidad de muestras de fincas a seleccionar.
- No se disponía de valores previos de la variable principal **P** se escogió un valor de 50% (0.5), el cual garantiza un tamaño de muestra suficientemente grande que cubre la mayor variabilidad existente en una población.
- Por organización y disponibilidad de recursos logísticos de transporte, desplazamiento y seguridad en la zona se dispuso solo visitar 10 fincas en cada conglomerado (municipio). Para un total de muestra de 400 fincas se escogieron 40 municipios, distribuidos porcentualmente en cada departamento (Cuadro 1).
- El efecto de diseño **deff** se considero en 2 por tener dos etapas de selección aleatoria.
- La Tasa de Perdida **β** es el % esperado de no respuesta de parte de los agricultores.
- Para el nivel de confianza **z** se utilizó la distribución Normal Standar.
- El erro **d** es el esperado por el investigador.

*Fórmulas y parámetros utilizados:*

Tamaño de Muestra	$n_0 = (z^2 pq)/d^2$
ajuste de muestra para poblaciones finitas	$n_1 = n_0 / (1+(n_0/N))$
Ajuste por tasa de no respuesta ( $\beta$ )	$n_2 = n_1 / (1-\beta)$
Ajuste por efecto del diseño (deff)	$n = n_2 * deff$

---

<b>p =</b>	50,0% % de fincas con variabilidad genética en yuca sembradas en cultivos de pequeños agricultores
<b>q =</b>	50,0% % de fincas sin variabilidad genética en yuca sembradas en cultivos de pequeños agricultores
<b>N =</b>	Numero infinito de fincas
<b>β =</b>	7,5% Tasa pérdida
<b>deff =</b>	2 Efecto de diseño
<b>z =</b>	1,64 Nivel de Confianza 90%
<b>d =</b>	0,06 Error del Investigador
<b>n=</b>	400 Muestra de Fincas
<b>m =</b>	40 Número de conglomerados = Municipios
<b>n/m</b>	10 Número de fincas a visitar por Municipio

---

**Tabla 1:** Distribución del número de municipios y número de fincas a visitar de pequeños agricultores de la Costa Atlántica según tamaño de muestra.

<b>DEPARTAMENTO</b>	<b>TOTAL DE MUNICIPIOS POR DEPARTAMENTO</b>	<b>No. DE MUNICIPIOS A VISITAR</b>	<b>No. DE ENCUESTAS Y/O FINCAS A VISITAR</b>
ATLÁNTICO	23	10	100
MAGDALENA	21	9	90
CÓRDOBA	26	11	110
SUCRE	24	10	100
<b>TOTAL</b>	<b>94</b>	<b>40</b>	<b>400</b>

Los municipios visitados en cada departamento fueron:

<b>ATLÁNTICO</b>	<b>MAGDALENA</b>	<b>CÓRDOBA</b>	<b>SUCRE</b>
1. Repelón	1. Santa Marta	1. Buenavista	1. Toluviéjo
2. Malambo	2. Sitio Nuevo	2. Pueblo Nuevo	2. San Antonio de Palmitos
3. Baranoa	3. Ciénaga	3. San Pelayo	3. San Pedro
4. Sabanagrande	4. Remolino	4. Planeta Rica	4. Los Palmitos
5. Polonuevo	5. Aracataca	5. Cerete	5. Since
6. Santo Tomas	6. Salamina	6. San Carlos	6. Betulia
7. Palmar de Varela	7. Pivijay	7. Ciénaga de Oro	7. Corozal
8. Luruaco	8. Fundación	8. San Andrés	8. Sincelejo
9. Sabanalarga		9. Momil	9. La Unión
10. Ponedera		10. Sahagún	10. Sampues
		11. Chinú	

La colecta del material en el departamento de Magdalena, fue realizada en época de lluvia, por lo que era imposible acceder a algunos municipios por el mal estado de las carreteras, debido a esto, sólo se visitaron 8 municipios y se realizaron 11 encuestas en cada uno.

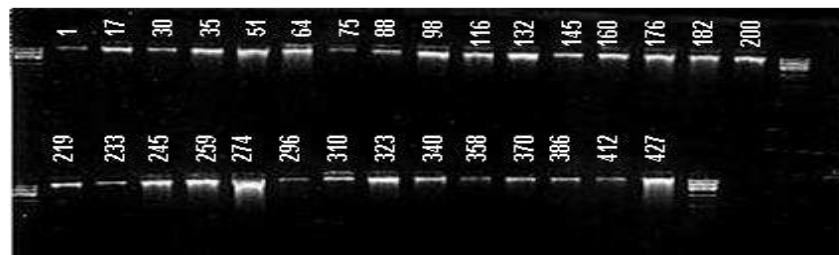
Las preguntas realizadas en la encuesta (anexo 1), estaban enfocadas al conocimiento por parte del agricultor de las variedades sembradas en su finca y se solicitó una muestra de estacas o semilla de cada variedad considerada diferentes por ellos.

### **5.2.2 Metodología de laboratorio**

El análisis de la variabilidad genética se hizo a partir de la técnica de marcadores moleculares tipo microsatélites. El proceso y la metodología se describen a continuación:

Del material sembrado en invernadero, se colectaron muestras de hojas jóvenes y cogollos, se secaron en un horno a 40 °C durante tres días. Posteriormente, se extrajo ADN utilizando el método de Dellaporta (Dellaporta et. al, 1983).

La calidad del ADN fue observada en geles de agarosa al 1% (figura 1), se cuantificó en el fluorómetro y se realizaron diluciones a una concentración de 10 ng/μl de ADN.



**Figura 1.** Gel de calidad de ADN de 30 muestras escogidas al azar de semilla de yuca de pequeños agricultores de la Costa Atlántica Colombiana.

Las amplificaciones fueron realizadas en los termocicladores PTC-100 vía PCR usando el programa 30 ciclos a: 94 °C 30"; 55 °C 30 "; 72 °C 1 min, y una extensión de 5 min a 72 °C.

El producto de la amplificación se corrió en geles denaturantes de poliacrilamida (6% acrilamida) y se hizo un revelado de tinción con plata. Posteriormente se hizo la lectura de los geles y toma de datos para el análisis estadístico molecular.

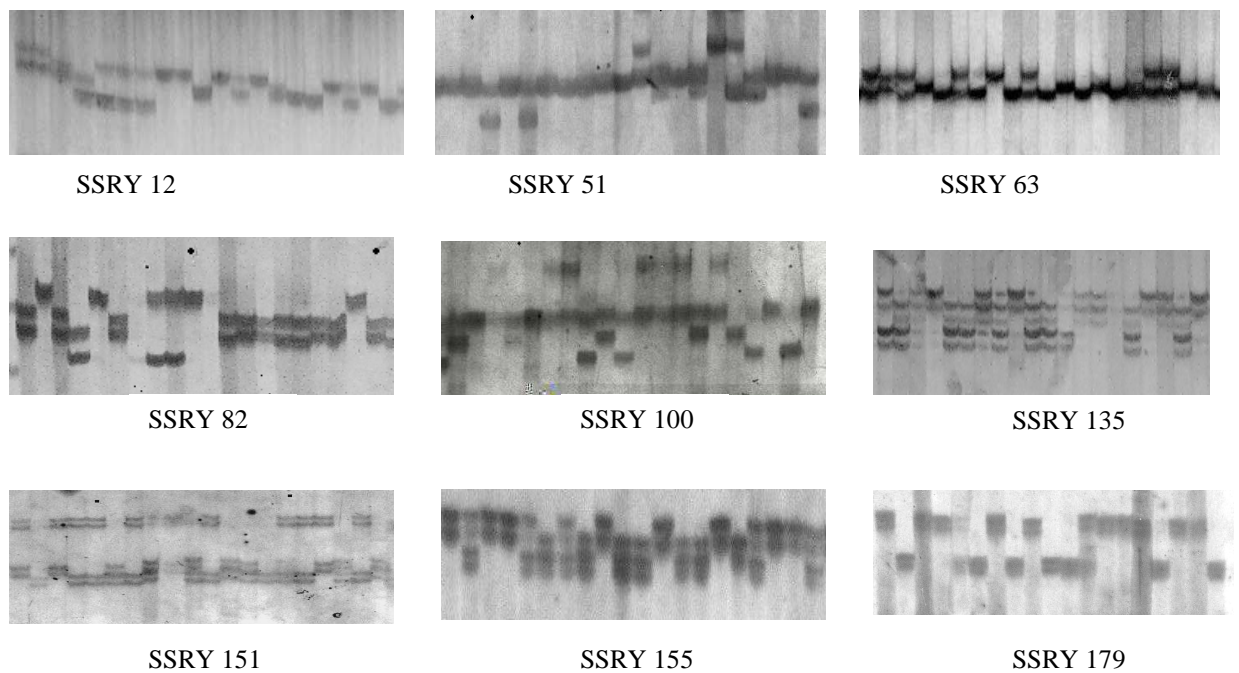
Se usaron nueve marcadores microsatélites los cuales se escogieron de un grupo de 36 SSRY que fueron establecidos en trabajos anteriores de diversidad, como los de de mayor polimorfismo para análisis de diversidad y diferenciación genética (anexo 2) (Mba et. al, 2001).

El procedimiento para seleccionar los 9 marcadores se describe a continuación:

Con los 36 marcadores microsatélites se realizó un análisis preliminar a 30 muestras de la población. Después de obtener las lecturas de los geles de

poliacrilamida, se descartaron los monomórficos, y de los polimórficos, se seleccionaron visualmente 18 SSRY, aquellos que presentaron los mayores polimorfismos.

Estos 18 SSRY fueron evaluados en el programa de computación CERVUS y se escogieron los nueve (9) que tuvieran el PIC (Polymorphic Information Content – Contenido de Información Polimórfica) más alto (anexo 3), adicionalmente se consideró la ubicación de estos marcadores en el mapa genético de yuca para tener una buena cobertura del genoma (anexo 4). Los marcadores seleccionados fueron: SSRY 12, SSRY 51, SSRY 63, SSRY 82, SSRY 100, SSRY 135, SSRY 151, SSRY 155, SSRY 179 (figura 2).



**Figura 2.** Prototipo del polimorfismo de los nueve SSRY seleccionados para el estudio de la variabilidad genética de genotipos de yuca de pequeños agricultores de la Costa Atlántica Colombiana.

Para el estudio molecular también se adicionaron del Banco de Germoplasma de Yuca de CIAT, 14 genotipos que corresponden a variedades locales y variedades mejoradas originales, liberadas en la región y proveniente del programa de mejoramiento. Estas muestras del Banco de Germoplasma fueron el control para constatar la existencia de dichas variedades en la región. Las variedades fueron: Corpoica Gines (CM 4843-1), Corpoica Colombiana (CM 3306-19), Corpoica Sucreña (CM 3555-6), Corpoica Verónica (CM 4919-1), ICA Costeña (CG 1141-1), ICA Negrita (CM 3306-4), SM 1433-4, ICA P-12 (MCOL 1505), Cubana (CM 4574-7), Venezolana (MCOL 2215), Blanca Mona (MCOL 2253), Secundina (MCOL 2063), MTAI-8, MVEN-25.

### **5.2.3 Análisis de datos**

El número de alelos y la diversidad genética (heterocigosidad) son los medios más usados para estimar la variación genética cuando ésta es medida por diferencias alélicas en varios loci por electroforesis (Nei, 1987).

Los marcadores de diversidad que se obtuvieron a partir de los marcadores codominantes microsatélites fueron: Número de loci polimórficos/número total de loci analizados; Número promedio de alelos por locus; Heterocigosidad esperada ( $H_e$ ); Heterocigosidad observada ( $H_o$ ) y coeficiente de diferenciación genética ( $G_{st}$ ).

Las gráficas de ordenación se elaboraron con base en las coordenadas obtenidas para los individuos con un análisis de correspondencia múltiple (ACM), utilizando programas elaborados en SAS bajo un ambiente UNIX (CIAT, SAS: Versión 9.1.3).

Los parámetros de diversidad genética: porcentaje de loci polimórficos, número medio de alelos por locus polimórfico, heterocigosidad promedio observada ( $H_o$ ), y diversidad genética promedio ( $H_e$ ) (Nei, 1978) fueron estimados con el uso del programa SAS.

La información colectada en las encuestas fue organizada, seleccionada y graficada en tablas dinámicas en Excel. Se estableció el porcentaje de adopción de las variedades mejoradas y liberadas por CIAT e ICA-CORPOICA, y las zonas

con mayor intensidad en el cultivo de éstas variedades. De igual forma se logró realizar un análisis sobre aspectos generales del cultivo como: donde se adquiere la semilla, finalidad de la producción, asistencia técnica y problemas fitosanitarios del cultivo.

## **6. RESULTADOS Y ANÁLISIS**

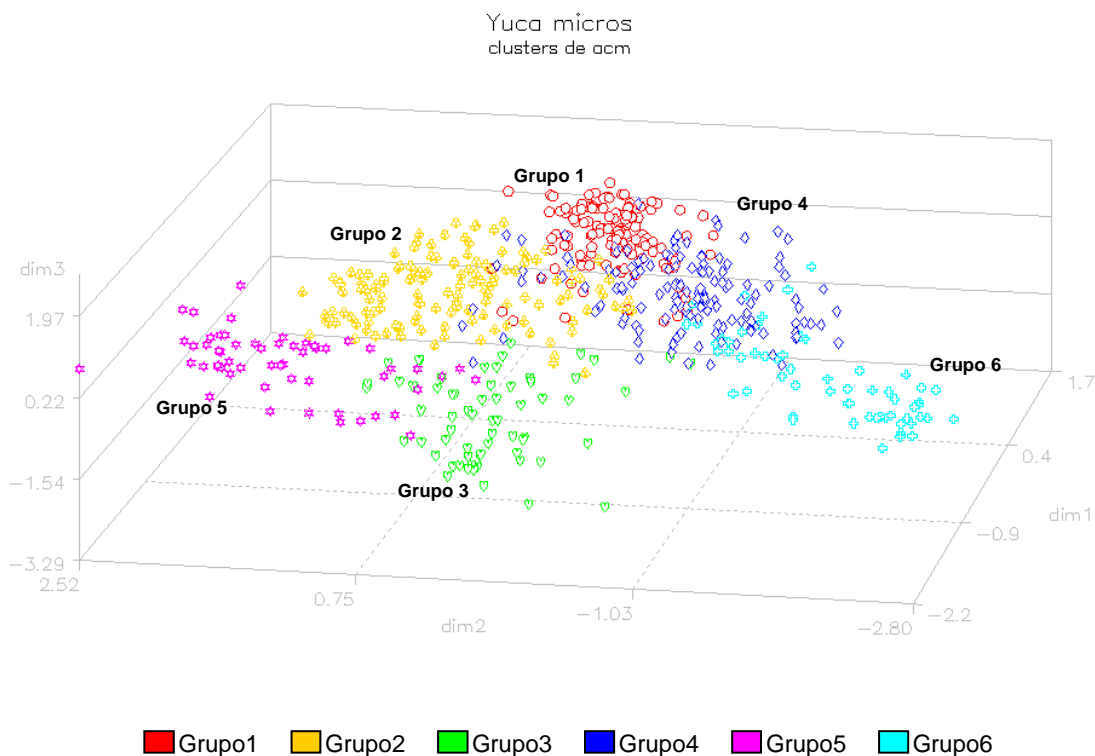
Se visitaron y encuestaron 400 agricultores de la Costa Atlántica Colombiana que incluyeron los departamentos de Atlántico, Magdalena, Córdoba y Sucre. Se colectaron 1045 genotipos de yuca, de los cuales 717 presentaron información molecular completa, es decir, aquellas muestras que presentaron alelos en todos los nueve marcadores microsatélites seleccionados. El análisis fue realizado con éstos 717 genotipos y 14 variedades control del Banco de Germoplasma de CIAT.

### **6.1 RELACIONES GENÉTICAS ENTRE GENOTIPOS**

Para conocer las relaciones genéticas entre los 717 genotipos y definir los agrupamientos, se realizó el Análisis de Correspondencia Múltiple (ACM).

La finalidad del ACM, es definir los grupos o categorías que estén separadas unas de otras y, a su vez que, dentro de cada categoría estén los genotipos más próximos unos a otros.

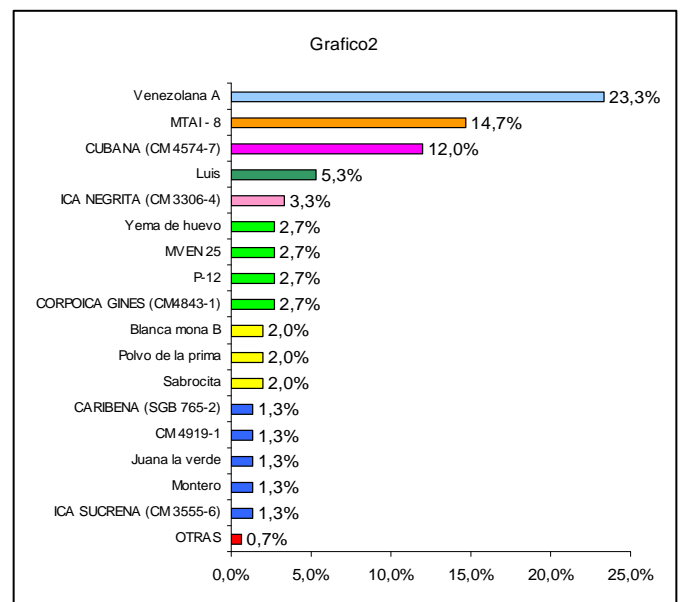
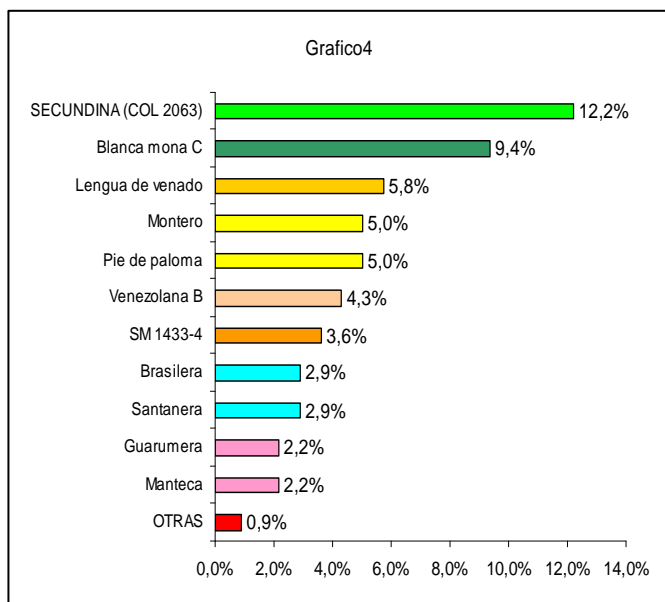
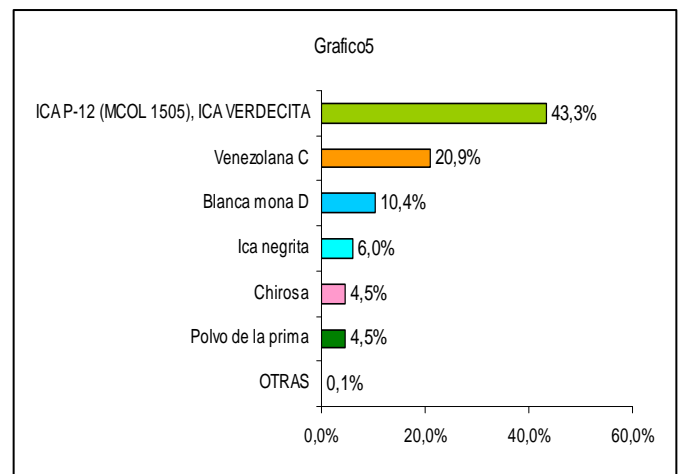
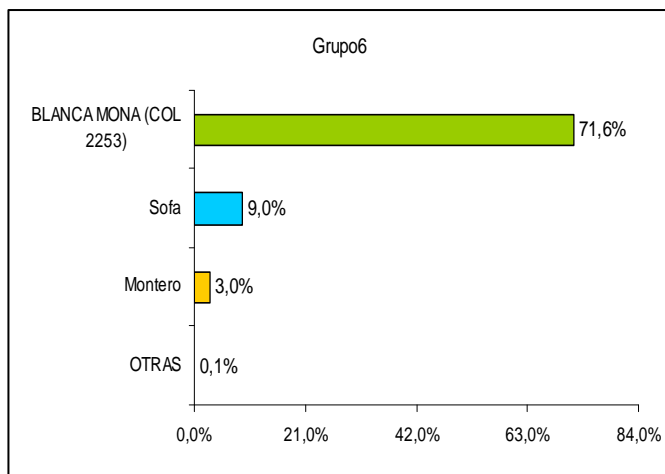
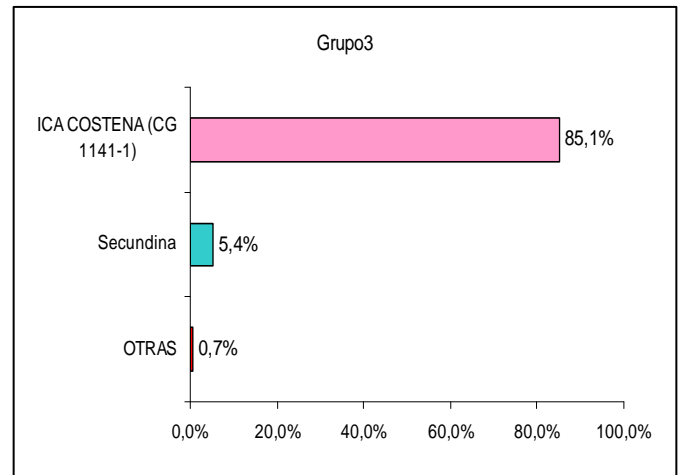
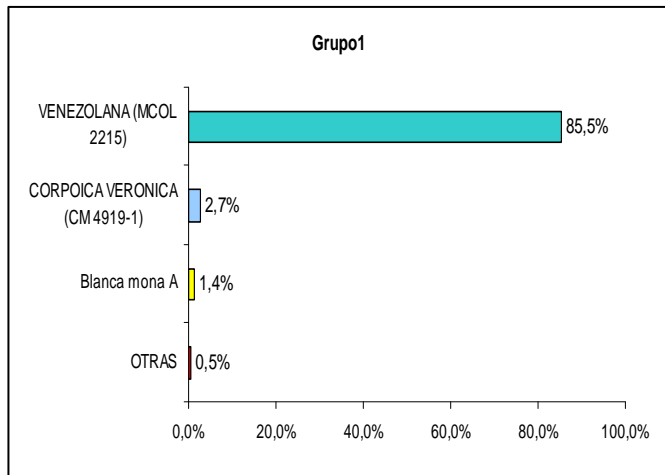
Se definieron seis grupos genéticamente diferentes, los cuales explican el 81% de variación (figura 3, anexo 5). Los grupos fueron definidos como Grupo1, Grupo2, Grupo3, Grupo4, Grupo5 y Grupo6.



**Figura 3.** Agrupamiento de los 717 genotipos de yuca cultivada por pequeños agricultores de la Costa Atlántica Colombiana, mediante ACM

En el Grupo1, el 85.5% de los genotipos corresponden a la variedad Venezolana; en el Grupo3, el 85% equivale a la variedad ICA Costeña; en el Grupo6, el 71.3% es de la variedad Banca Mona y en el Grupo5, el 43.3% corresponde a la variedad ICA P-12 (figura 4).

Teniendo en cuenta los porcentajes de presencia de éstas variedades en cada grupo es posible considerarlas como representativas de éstos. Los otros genotipos que se ubican en cada uno de estos grupos están relacionados genéticamente.



**Figura 4.** Distribución de genotipos de yuca en los grupos definidos por el ACM

Las características morfológicas de las variedades que representan los grupos Grupo1, Grupo3, Grupo6 y Grupo5; también identifican, en gran parte, las diferencias de cada grupo, como se describe en la tabla 2.

**Tabla 2.** Características morfológicas de las variedades representativas de los grupos Grupo1, Grupo3, Grupo6 y Grupo5 establecidos en el ACM

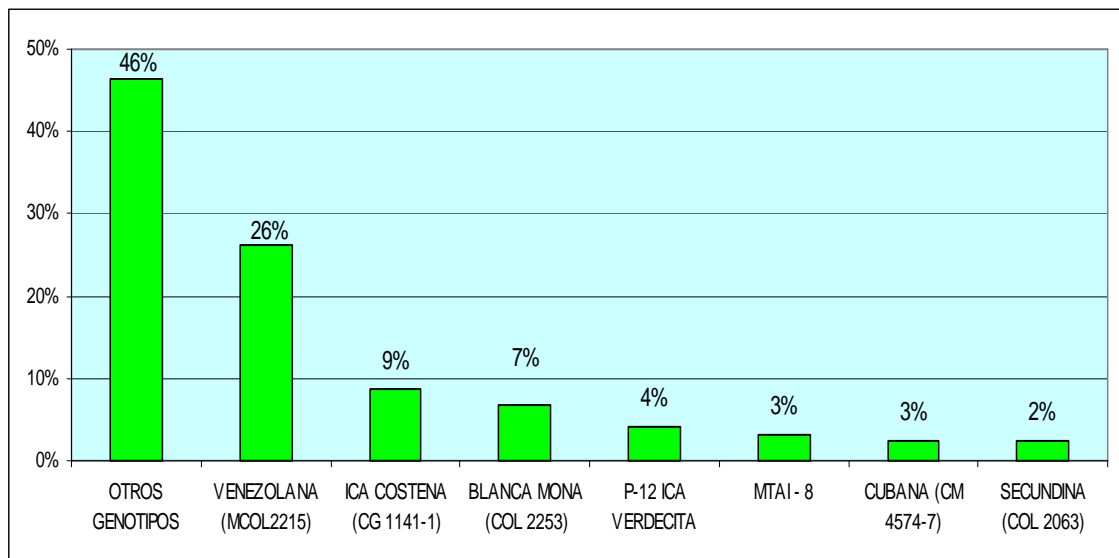
CARACTERÍSTICA	Grupo/ Variedad representativa			
	Grupo1 COL 2215	Grupo3 CG 1141-1	Grupo6 COL 2253	Grupo5 COL 1505
Altura de planta	120	140	210	215
Altura de la primera ramificación	75	105	95	85
Niveles de ramificación	4	2	3	4
Habito de ramificación	Tricotomo	Tricotomo	Tricotomo	Tricotomo
Angulo de ramificación	47,5	50	57,5	47,5
Color de las ramas terminales	Verde	Verde	Verde	Verde
Tipo de planta	Cilíndrica	Parasol	Parasol	Cilíndrica
Color hoja Apical	Morada	Verde claro	Verde oscuro	Verde claro
Color de la hoja desarrollada	Verde oscuro	Verde claro	Verde	Verde claro
Color de la nervadura	Verde claro	Verde	Verde	Verde claro
Color del pecíolo	Verde claro	Rojo poco Verde	Rojo poco Verde	Verde claro
Longitud del pecíolo	26	28,5	32	35
Forma del lóbulo central	Lanceolada	Elipt.- Lanceolada	Elipt.- Lanceolada	Lanceolada
Longitud del lóbulo	19	16	20,7	18,5
Ancho del lóbulo	4,4	4,9	5,9	4,9
Numero de lóbulos de la hoja	7	7	7	7
Filotaxia	Medio	Corto	Medio	Corto (<8cm)
Color externo del tallo		Verde amarillo		Café claro
Color de la epidermis del tallo		Crema	Crema	Crema
Habito crecimiento del tallo	Recto	Recto	Recto	Recto
Forma de la raíz	Conca cilíndrica	Conca cilíndrica	Conca cilíndrica	Conca cilíndrica
Color externo de raíz	Café oscuro	Café oscuro	Café claro	Café oscuro
Color pulpa de la raíz	Blanco	Blanco	Blanco	Blanco
Color corteza de la raíz	Rosada	Blanco	Blanco	Rosada
Presencia de pedúnculo de raíz	Pendunculado	Pendunculado	Pendunculado	Pendunculado
Textura epidermis de la raíz	Rugoso	Rugoso	Rugoso	Lisa
Pubescencia	Presente	Presente	Presente	Presente

Fuente: Nelson Morante. Base de datos del programa de mejoramiento de yuca CIAT

El Grupo2 y Grupo4 (figura 4, anexo 6), son los grupos que tienen el mayor número de genotipos, y se presentan en bajos porcentajes, debido a su variabilidad es difícil establecer características específicas que identifiquen estos grupos.

En el análisis de cada uno de los grupos se observó también que algunos genotipos que tenían nombres iguales a las variedades Venezolana, Blanca mona, P-12 e ICA Negrita, en el ACM no se agruparon con éstas, sino, que se ubicaron en otros grupos (figura 4), con los cuales tenían mayor afinidad con sus características genéticas. Estos genotipos fueron denominados Venezolana A, Venezolana B, Venezolana C, Blanca mona A, Blanca mona B, Blanca mona C, Blanca mona D, P-12 A e ICA Negrita A.

En la figura 5, se observa las variedades mas sembradas por el pequeño agricultor en la Costa Atlántica, Venezolana (26%), seguida de ICA Costeña (9%) y Blanca Mona (7%). Las variedades P-12, MTAI-8, Cubana y Secundina, se sembraron en porcentajes menores del 5%. El 46% de la yuca sembrada equivale a varios de otros genotipos mencionados por los agricultores (anexo 6).



**Figura 5.** Distribución de variedades y genotipos de yuca presentes en cultivos de pequeños agricultores de la región de la Costa Atlántica colombiana

## 6.2 VARIABILIDAD GENÉTICA

Se estudió la variabilidad genética de los 717 genotipos de yuca cultivados por los pequeños agricultores de la Costa Atlántica Colombiana, usando 9 loci microsatélites, cada uno con un promedio de 4.6 alelos por locus (AP), variando entre 3 y 7 alelos para un total de 42 alelos (anexo 7).

Los valores de heterocigosidad observada ( $H_o$ ), heterocigosidad esperada ( $H_e$ ) por cada loci y la localización de los loci en el mapa (anexo 4), se muestran en la tabla 3.

**Tabla 3.** Variabilidad genética de yuca de pequeños agricultores de la Costa Atlántica Colombiana y ubicación de los 9 loci en los cromosomas del mapa genético de yuca.

Loci	Ubicación del loci	No. de alelos por locus	$H_o$	$H_e$
	Cromosoma*			
y82	B	6	0,7480	0,53856
y179	F	5	0,3542	0,43596
y135	G	4	0,6744	0,56336
y12	H	4	0,4755	0,40652
y63	H	4	0,4183	0,46355
y51	I	5	0,6172	0,57631
y100	K	7	0,4986	0,53650
y151	nd	4	0,8529	0,55458
y155	nd	3	0,4087	0,44987

AP	$H_I$	$H_S$	$H_T$
4.6	0.56087	0.50280	0,61692

\*Letra asignada al cromosoma en el mapa genético de yuca  
 nd: sin dato de ligamiento  
 Ho: Heterocigosidad observada

He: Heterocigosidad esperada  
 AP: Número medio de alelos por locus polimórfico  
 H<sub>I</sub> : Promedio Heterocigosidad observada  
 H<sub>s</sub> : Promedio ponderado de Heterocigosidad esperada  
 H<sub>T</sub> : Heterocigosidad total

El promedio de la heterocigosidad observada (H<sub>I</sub>) fue alta con un valor de 0.56087, lo cual confirma el entrecruzamiento en la yuca y su naturaleza altamente heterocigota. El promedio ponderado de la heterocigosidad esperada (H<sub>s</sub>) fue 0.50280, representa el nivel de heterocigosidad que se encontraría si se dieran cruzamientos al azar. La heterocigosidad total (H<sub>T</sub>) para todos los genotipos fue alta con un valor de 0.61692, es decir, la heterocigosidad esperada de un individuo en toda la población (tabla 3) (anexo 8).

A pesar de que se establecieron 6 grupos genéticamente diferentes en el ACM, el coeficiente de diferenciación fue bajo (G<sub>st</sub>: 0.18498), es decir que la variabilidad no se debe a diferencias entre los grupos, sino dentro de los grupos, lo que se confirma con los altos valores de Heterocigosidad esperada (He) dentro de cada grupo (tabla 4).

**Tabla 4.** Heterocigosidad esperada de los grupos genéticos definidos en el ACM en la población de yuca de pequeños agricultores de la Costa Atlántica Colombiana

<b>Población</b>	<b>n</b>	<b>He</b>
Grupo1	222	0.37751
Grupo2	159	0.56988
Grupo3	75	0.50052
Grupo4	142	0.60670
Grupo5	68	0.51645
Grupo6	68	0.52690

G <sub>st</sub> : 0,18498
------------------------------

n : Número de individuos  
He : Heterocigosidad esperada dentro de cada grupo  
Gst : Coeficiente de diferenciación genética entre grupos

En la tabla 4, se observa también, que el Grupo1 presenta la mas baja He (0.37751) lo cual está relacionado con el alto porcentaje de la presencia de la variedad Venezolana y muy bajo de otras variedades. Los grupos Grupo2 y Grupo4 presentan los valores más altos de He y efectivamente son los grupos que presentan el mayor número de genotipos, convirtiéndose en los que tiene una mayor variabilidad genética (figura 4).

La variabilidad genética de la yuca está relacionada con su polinización cruzada, cada individuo es naturalmente un híbrido con altos niveles de heterocigosidad. Esta es realizada típicamente por acción de los insectos (Ceballos, De la Cruz, 2002).

Además de la alta alogamia (polinización cruzada) de la yuca y su reproducción sexual, se debe tener en cuenta también la reproducción asexual de esta especie y su amplia distribución geográfica.

La reproducción asexual puede ser una modalidad constante de reproducción, pero también puede estar combinada con ciclos de reproducción sexual, que permite la recombinación de la variación actual y, como tal, la generación de nuevas formas o combinaciones.

Según Nason (2002), la evolución de la estructura genética y su mantenimiento en el tiempo y en el espacio están sujetos a la acción de tres fuerzas evolutivas con efectos divergentes. Por un lado, la selección natural y la deriva genética (fuerzas eminentemente perturbadoras) que favorecen la diferenciación genética de una población y por el otro, el flujo genético que favorece el intercambio de material genético entre poblaciones.

La migración también forma parte de las causas en los cambios de las frecuencias alélicas. Desde una perspectiva genética, el intercambio de genes entre

poblaciones debido a la migración de los individuos es un factor importante de cambio genético. Si dos poblaciones difieren en las frecuencias de los alelos de algunos de sus genes, entonces el intercambio de individuos producirá un cambio de las frecuencias de los genes en las poblaciones (Barbadilla, 2009).

La diversidad genética en la Costa Atlántica podría explicarse por éstas causas naturales de cambios en las frecuencias alélicas. Como caso de migración puede mencionarse la adopción de variedades como la Venezolana, que fue traída de otro país (Venezuela) al igual que todos los genotipos que se han ensayado en las pruebas regionales de mejoramiento, algunos fueron liberados como variedades, y otros de éstos genotipos simplemente conservados y difundidos por los mismos agricultores, como el caso de SM1433-4 y MVEN-25, además del intercambio de genes con todas aquellas especies nativas de la región.

La yuca nativa está distribuida en todo el sector costero entre el Atrato y el Magdalena, y ha sido tradicionalmente un alimento básico. Para esta zona de la Costa, se han enumerado variedades como Cartagenera, Momposina, Samaria, Pie de paloma, Gallinazo, Batea, Solita, Riogrande, Algodón, Camarón, Pie de perdiz, Chingale y Pascualita (Patiño, 1964). Todas estas variedades locales contribuyen también a la alta variabilidad encontrada en la Costa Norte de Colombia.

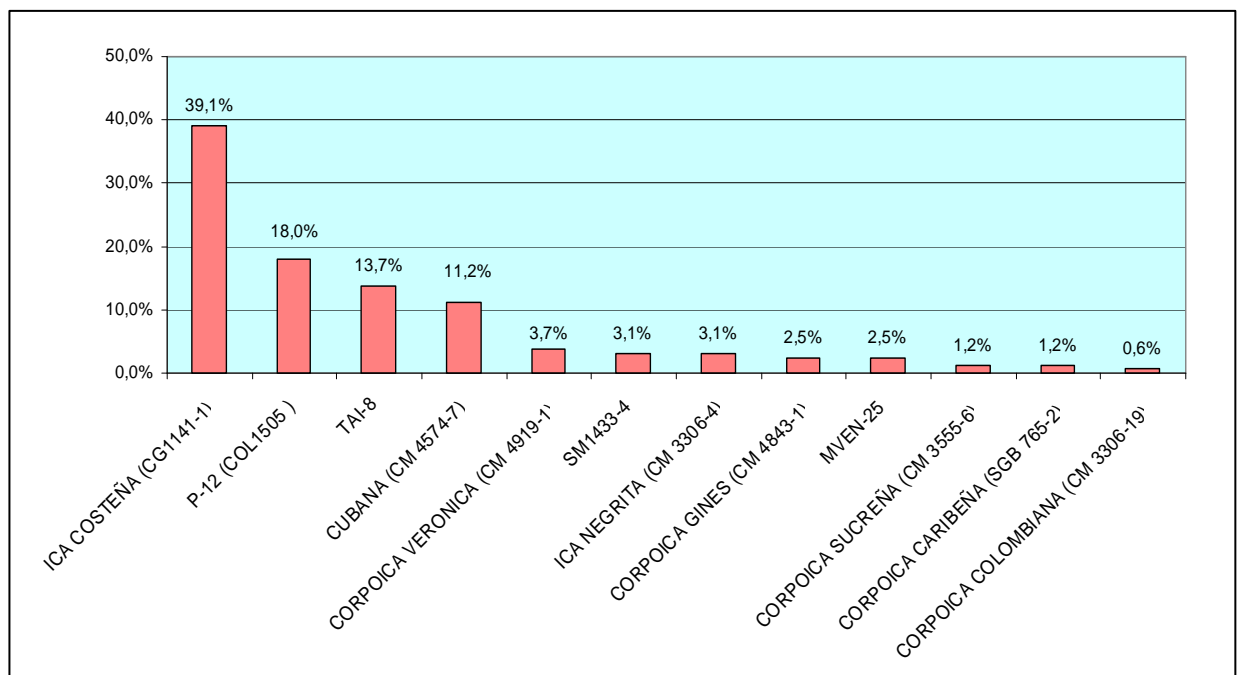
Como se observó en este estudio, el 46% de la yuca cultivada por pequeños agricultores equivale a diversos genotipos (figura 5), los cuales fueron genéticamente diferenciados en los grupos formados en el ACM. La variabilidad a nivel de finca no es estática sino que con el paso del tiempo hay genotipos que salen y otros que se incorporan al sistema de producción del agricultor. Esto refleja el hecho de que los agricultores tienen una disposición de a probar nuevos materiales, observarlos, y con el tiempo incorporarlos o rechazarlos. Las fuentes de variabilidad que los agricultores manejan son de 2 tipos; variedades suministradas por los vecinos o parientes, y clones nacidos en el campo debido a cruces entre variedades locales. Estos procesos pueden pasar inadvertidos en el

corto plazo, pero han constituido la base para la evolución del cultivo (Iglesias et. al, 1994).

Los resultados de la variabilidad genética ( $H_e$ ,  $H_o$ , AP,  $H_i$ ,  $H_s$ ,  $H_T$ ) obtenidos en este estudio, fueron similares a los encontrados en otros trabajos de variabilidad genética de yuca en los cuales se usaron los microsatélites y se estimaron éstos parámetro, (Alcántara (2001), Monte (2003), Okay (2003), Dixon (2002), Kizito (2003), Dixon (2003), Beovides (2004)). Aunque éstos trabajos en su mayoría se han realizados en países Africanos y algunos latinoamericanos como Perú, Guatemala y Cuba; se concluye en general el comportamiento heterocigoto de la yuca y su alta variabilidad genética.

### 6.3 ADOPCIÓN DE VARIEDADES MEJORADAS

Se analizó la adopción de las variedades mejoradas por CIAT y liberadas por ICA. Estas variedades fueron: Manihot P-12 (CMC76), ICA Costeña (CG1141-1), ICA Negrita (CM3306-4), CORPOICA Colombiana (CM3306-19), CORPOICA Sucreña (CM 3555-6), CORPOICA Verónica, CORPOICA Ginés, CORPOICA Caribeña (SGB 765-2), MTAI-8. Se incluyó el clon SM1433-4 y MVEN-25 los cuales, aunque no fueron liberados como variedades, formaron parte de genotipos evaluados en programas de mejoramiento participativo y fueron conservados por los agricultores multiplicándolos en sus fincas.



**Figura 6.** Adopción de las variedades de yuca mejoradas por CIAT

Se observa en la figura 6, la variedad ICA Costeña, es la que presenta la mayor adopción por parte de agricultores, seguida de la variedad P-12, MTAI-8 y Cubana. Las otras variedades presentan porcentajes de adopción menores del 4%.

La variedad ICA Costeña, fue conocida por los agricultores a partir de 1988. Un trabajo de adopción de variedades de yuca mejorada, realizado por López (1999), demuestra que, en 1995, ICA Costeña presentaba adopciones de 7.8%, 5.9% y 0% en niveles alto, medio y bajo de la población de agricultores. Es decir, que se ha incrementado su adopción por parte de los agricultores.

ICA Costeña, presenta su mayor adopción por parte de los pequeños agricultores en el departamento del Atlántico (52%) seguida de Magdalena (32%) y baja adopción en Córdoba (11%) y Sucre (5%) (tabla 5).

La variedad P-12 ocupa el segundo lugar de adopción de las variedades mejoradas en toda la región. Esta variedad fue desarrollada y liberada oficialmente en 1984 y su adopción esta por debajo de ICA Costeña que fue liberada años después.

En cuanto al proceso de adopción de esta variedad, en el año 1991, se encontraba en su primera fase. En esta fase los agricultores empiezan a experimentar con la nueva variedad pero conocen poco sobre su comportamiento en el campo, su aceptación en el mercado y su rentabilidad (Gottret et al, 1994). López et. al, (2007) reporta que esta variedad durante los primeros cinco años después de su liberación tuvo porcentajes de adopción menores que las variedades ICA Costeña e ICA Negrita, lo que el autor relaciona con el método de mejoramiento utilizado para la selección como variedad. Estas dos variedades, ICA Costeña e ICA Negrita, fueron seleccionadas a partir de mejoramiento con investigación participativa e ICA P-12, se hizo por mejoramiento convencional. En

1989 P-12 tuvo un incremento en su adopción debió a que un proyecto de desarrollo rural financiado por el gobierno colombiano, distribuyó semilla a las cooperativas de agricultores de los departamentos del Caribe Colombiano (López, 1999).

Por departamentos, Córdoba es el que presenta la mayor adopción de esta variedad (62%) (tabla 5); lo que coincide con un estudio del DANE-ENA (2004), en el cuál, la variedad P-12 es la que más se siembra en éste departamento para uso industrial.

Se observa que los clones de MTAI-8, Cubana (CM4574-7), SM 1433-4 y MVEN25, provenientes del programa de mejoramiento genético y elegidos como progenitores por sus determinadas características como alta productividad y resistencia a la pudrición de raíces (Ceballos, 2002), han sido adoptados por los pequeños agricultores aunque, en las pruebas regionales de ensayos del programa de mejoramiento, no demostraron ser mejores que otros materiales evaluados, y se han difundido espontáneamente entre los agricultores a pesar de no haber sido liberadas como variedades (Ceballos, 2002), excepto la MTAI-8, que fue liberada como variedad en el año 2004 con el nombre de Corpotica-Tai .

Corpotica-Tai o MTAI-8, es una variedad de uso industrial, la cual, según datos de DANE-ENA (2004) presenta la mayor área sembrada del total nacional con 33,33%, predominando en el departamento de Córdoba.

A pesar de la alta acogida de la variedad MTAI-8 a nivel industrial, el pequeño agricultor la ha adoptado en un 13.7%, por debajo de ICA Costeña y P-12 y en su mayoría, están en el departamento de Atlántico y Sucre con el 45% y 32% respectivamente (tabla5).

La baja adopción de la variedad MTAI-8 por parte de los pequeños agricultores puede deberse a que es una variedad con alto contenido de cianuro, lo que la hace solo de uso industrial y el pequeño agricultor, como se analiza más adelante, destina la mayor parte de su producción al consumo fresco y por tanto prefiere variedades dulces.

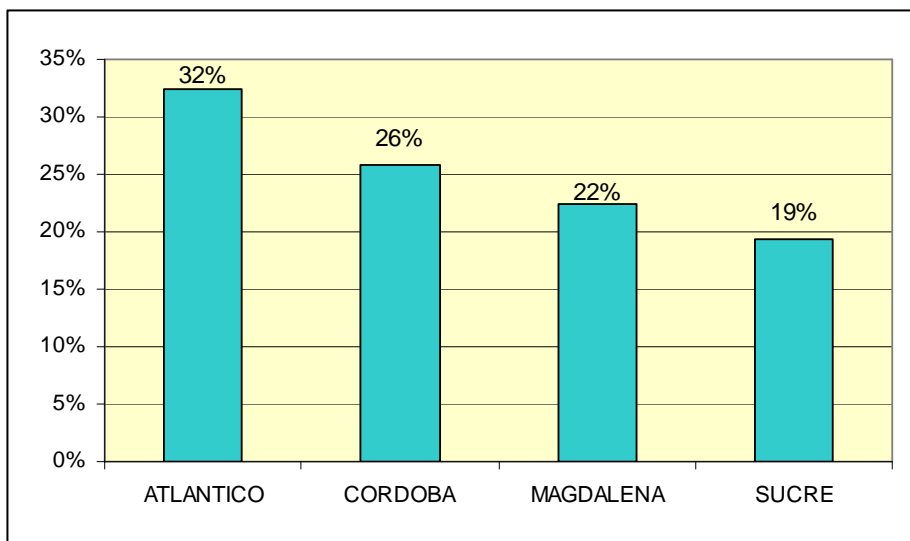
En cuanto a las otras variedades mejoradas, se observa que la variedad ICA Negrita, a pesar de haber sido liberada en 1993, muy cerca de la liberación de ICA Costeña, no ha sido altamente adoptada por el pequeño agricultor (3.1 %).

Las otras variedades como Corpoica Sucreña, Corpoica Caribeña y Corpoica Colombiana liberadas en el 2000B y; Corpoica Verónica y Corpoica Gines liberadas en 2004, fueron muy recientemente liberadas, y se podría considerar que apenas están en el proceso inicial de adopción.

Las variedades CORPOICA Rojita (SGB 765-4), CORPOICA Caiseli y CORPOICA Orense, no fueron mencionadas en este estudio por los agricultores.

### **6.3.1 Distribución de variedades mejoradas por departamentos**

En la figura 7 se observa que en el departamento del Atlántico se encuentra el mayor porcentaje de adopción de variedades mejoradas (32%), seguido del departamento de Córdoba (26%), Magdalena (22%) y Sucre (19%).



**Figura 7.** Porcentaje de variedades de yuca mejorada por departamento

En el departamento del Atlántico se encuentra ubicado el “campo de observación” del programa de mejoramiento de CIAT. A este sitio llegan los genotipos provenientes de semillas recombinantes de yuca para ser evaluados (Ceballos et al., 2002)

Por razones logísticas las actividades de mejoramiento desarrolladas para varias regiones de Colombia se han centralizado inicialmente en Barranquilla (Atlántico). Así muchos de los materiales evaluados allí, son luego transferidos al Caribe Húmedo (Córdoba y Sucre) (Ceballos, 2002).

El hecho de que en el Atlántico este establecido el “campo de observación” donde se evalúan muchos genotipos, da la oportunidad y facilidad al pequeño agricultor de este departamento, de conocer y adquirir las variedades mejoradas o determinados genotipos evaluados del agrado de ellos, permitiendo su propagación.

Otra característica del departamento del Atlántico es que se encuentra ubicada la empresa Industrias del Maíz S.A, la cual cuenta con una Biofábrica o Banco de semillas de yuca, cuya misión es satisfacer la demanda de semilla de yuca certificada y apoyar la investigación de variedades promisorias, como alternativa importante para el desarrollo escalonado del cultivo, logrando mantener una agricultura competitiva, mediante la transferencia de tecnología. El pequeño agricultor del Atlántico podría estarse beneficiando de la labor promovida por esta empresa.

En cuanto al departamento de Córdoba, que ocupa el segundo lugar de adopción de las variedades mejoradas, es donde se encuentra ubicada la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria CORPOICA, Centro de Investigaciones Turipaná. Esta Corporación es la institución acreditada encargada de liberar oficialmente las variedades mejoradas, por lo que existe una estrecha colaboración entre CIAT y estas instituciones (Ceballos et al., 2002). CORPOICA se encarga de garantizar que el conocimiento generado llegue a cada tipo de usuario a través de metodologías participativas que favorezcan el escalamiento de las tecnologías y el uso de modelos productivos eficientes. Por tanto, es factible

que los agricultores de este departamento por su cercanía con esta institución, tenga un mayor conocimiento y facilidad de conseguir las variedades mejoradas.

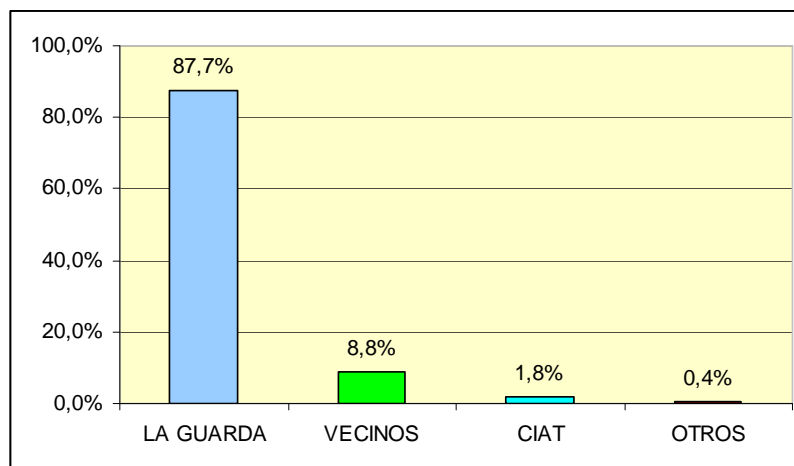
En la tabla 5 se observa el porcentaje de adopción en cada departamento de las variedades mejoradas de yuca y las que han formado parte de los ensayos de rendimiento y pruebas regionales.

**Tabla 5.** Adopción por pequeños agricultores, de las variedades mejoradas de yuca por CIAT en cuatro departamentos de la Costa Atlántica

	PORCENTAJE DE ADOPCIÓN (%)			
	ATLANTICO	CORDOBA	MAGDALENA	SUCRE
ICA COSTEÑA (CG1141-1)	52	11	32	5
ICA P-12 (MCOL1505)	17	62	7	14
MTAI-8	45	9	14	32
ICA NEGRITA (CM 3306-4)	40	20	40	
CORP VERONICA (CM 4919-1)		33	22	44
CUBANA (4574-7)	94		6	
CORP GINES (CM4843-1)		83	17	
SM 1433-4		20		80
MVEN 25		50		50
CARIBENA (SGB 765-2)		50		50
CORP COLOMBIANA (CM 3306-19)			100	
ICA SUCREÑA (CM3555-5)				100

### **6.3.2 Métodos de adquisición de semilla de yuca**

El 87.7% de la semilla de yuca que usan los pequeños agricultores de la región de la Costa Atlántica para establecer un nuevo cultivo de yuca, proviene de las cosechas anteriores. El 8.8% de los agricultores adquiere la semilla con los vecinos, comprada o regalada. El 1.8% de la semilla es proporcionada por instituciones como CIAT y el 0.4% es adquirido en otras instituciones como CECORA, Corpoica, UMATA e Industrias del Maíz (figura 8).



**Figura 8.** Adquisición de semilla de yuca por los pequeños agricultores de la Costa Atlántica.

Según estudios realizados por López J. (1994), la yuca por ser un cultivo anual de propagación vegetativa, cuya siembra generalmente se hace coincidir con la cosecha del cultivo anterior, los agricultores yuqueros tradicionalmente han producido su propio material de siembra. En términos generales, no ha existido tradición de compra-venta de estacas, y cuando los agricultores se quedan sin semilla casi siempre la han conseguido en calidad de regalo de otros agricultores, o en caso extremo en trueque por trabajo o por otras semillas.

López (2002) reporta también que la yuca es un cultivo de agricultores con recursos escasos; el cultivo se incrementa muy lentamente (un año) y su índice de multiplicación es muy bajo (5-10 estacas por cada estaca sembrada). Como la naturaleza voluminosa de la semilla es poco conducente para su movimiento entre regiones y comunidades, implica en que el sistema de abastecimiento tradicional sea guardar la semilla.

Los yuqueros habitualmente producen su propio material de siembra. El agricultor que compra semilla de yuca lo hace porque; siembra por primera vez; dejó de sembrar por un tiempo largo durante el cual no pudo conservar su material de siembra; desea cambiar de variedad ó desea aumentar considerablemente el

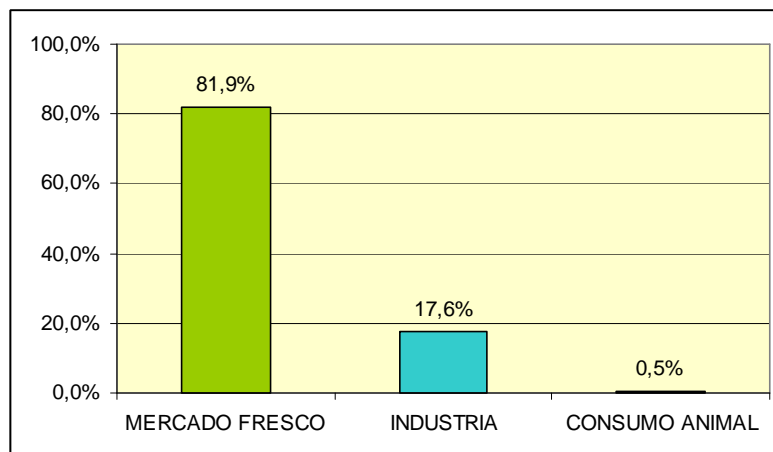
tamaño de su plantación. El volumen de ventas de un productor de semilla de yuca esta en función de las variaciones de área sembrada que depende del comportamiento del precio de las raíces.

La consecución de semilla y su escasez, puede constituirse en una barrera muy seria que afecta también la diseminación y utilización de nuevas variedades, lo cual puede convertirse en un factor decisivo para la adopción de tecnologías y desarrollo agrícola.

La aparición de variedades mejoradas y la incorporación del cultivo a nuevos mercados industriales, constituyen factores positivos que permiten generar un interés en las semillas mejoradas. Un establecimiento de abastecimiento de estacas de buena calidad es importante porque, aumenta la productividad del cultivo, reduce la diseminación de plagas y enfermedades; aumenta el ciclo de vida de los genotipos y permite un uso mas eficiente de los insumos agrícola (López, 2002); factores que beneficiarían al pequeño agricultor.

### **6.3.3 Finalidad de la producción**

El 81.9% de la producción de yuca de los pequeños agricultores es destinada al mercado fresco. Un 17.6% es para la industria y solo un 0.5% es destinado a consumo animal (figura 9).



**Figura 9.** Finalidad de la producción de yuca de pequeños agricultores de la Costa Atlántica.

La producción de yuca en Colombia se caracteriza por corresponder predominantemente a un cultivo de economía campesina, de tecnología tradicional, poco intensiva en el uso de maquinaria agrícola e insumos químicos, cuya producción se destina a la atención de la demanda del consumo humano (Quintero et al., 2004).

Los resultados están también relacionados con las investigaciones de Gottret et al. (2000), quien menciona que, la yuca es un cultivo importante, en todo el mundo tropical, para los pequeños agricultores con acceso a tierras marginales. Su alta tolerancia, en comparación con la de otros cultivos, a bajas a precipitaciones estacionales, altas temperaturas y suelos medianamente fértiles hacen de la yuca un cultivo importante tanto para seguridad alimentaria como para la generación de ingresos en regiones con pocas alternativas de producción, como la región semiárida de la Costa Norte de Colombia.

Según Buitrago (1990), en la mayoría de las zonas productoras de yuca las raíces se utilizan en forma fresca, como elemento básico de la alimentación humana diaria; una proporción aproximadamente igual se procesa de diferentes maneras para utilizarla posteriormente también como alimento.

A nivel de industria la yuca tiene un gran potencial; el producto más importante elaborado a base de yuca es el almidón. El almidón es útil en la industria textil, y en la fabricación de papeles y adhesivos, y puede tener potencial en la producción de dextrosa (Buitrago, 1990). El empleo de la yuca como materia prima en la fabricación industrial de alimentos para animales es relativamente reciente. En los últimos años ha habido un creciente interés por la yuca seca para alimento de consumo animal, especialmente a causa de la devaluación del peso colombiano que ha encarecido las importaciones de granos; se espera que la yuca sustituya gran parte de los cereales importados destinados a la producción de alimentos concentrados para animales (Gottret et al. 2002).

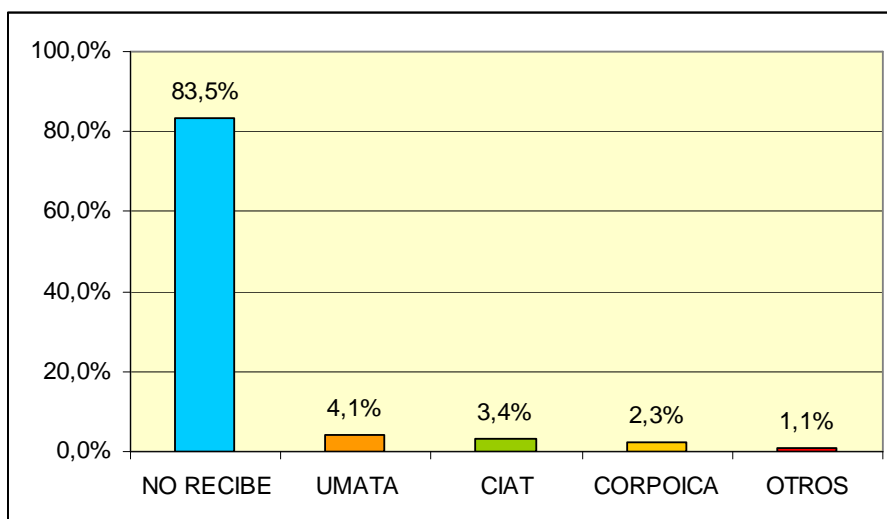
Como materia prima para biocombustible se adelantan proyectos para la producción de alcohol carburante. Se estima que con una productividad de 30 t

raíz/ha, es posible producir 5,000 litros de etanol. Con variedades seleccionadas, buen manejo del cultivo y en regiones con climas adecuados para la producción de yuca se pueden obtener rendimientos de 140 a 170 litros de etanol por tonelada de raíces frescas de yuca. En particular, en la Costa Norte de Colombia; Sucre, Córdoba, Guajira, Cesar y Atlántico, y en los Llanos Orientales, los proyectos agroindustriales basados en el cultivo de la yuca se pueden convertir en excelentes estrategias para aumentar la producción y el consumo de alcohol carburante en Colombia (CLAYUCA, 2006).

Teniendo en cuenta la gran proyección industrial que tiene la yuca, y según los resultados de este estudio, el pequeño agricultor todavía no tiene cultura de siembra de yuca con objetivos industriales, situación que en parte puede darse por, el alto precio pagado por la yuca para consumo fresco en comparación con la yuca industrial (Gottret et al. 2002). Además, como se mencionó, es un cultivo que está relacionado con la seguridad alimentaria del pequeño agricultor, situación que hace que el agricultor tenga su preferencia por el destino de la producción a consumo en fresco.

#### **6.3.4 Asistencia técnica**

El 83.5% de los pequeños agricultores no reciben asistencia técnica. El 4.1% recibe asistencia técnica de las UMATA (Unidad Municipal de Asistencia Técnica Agropecuaria), el 3.4% y 2.3% reciben asistencia técnica de CIAT y Corpoica. El 1.1% de los agricultores reciben asistencia de otras instituciones como CECORA (Central de Cooperativas de la Reforma Agraria Ltda.), Industrias del Maíz, ANPPY (Asociación Nacional de Productores y Procesadores de Yuca) y asistencia particular (figura 10).



**Figura 10.** Asistencia técnica recibida por pequeños agricultores de yuca de la Costa Atlántica

La UMATA, es la entidad encargada a nivel municipal de prestar asistencia técnica a los pequeños productores. Sin embargo, debido a que la disponibilidad de recursos de estas entidades es directamente proporcional al tamaño presupuestal de los municipios; los municipios más pobres cuentan con menores recursos para las actividades de transferencia de tecnología. Córdoba y Sucre se encuentran entre los departamentos más pobres, con mayores índices de ruralidad y con mayor participación del sector agropecuario dentro de su PIB departamental. En contraste, los municipios con mayores recursos, los que usualmente tienen un sector agropecuario pequeño o no lo tienen, cuentan con la mayor disponibilidad de recursos. Adicionalmente, a este problema las UMATAs no tienen vínculos formales directos con centros de investigación o con fuentes alternativas de financiamiento (Gamarra, 2007). Esta situación se ve claramente reflejada al indagar en esta investigación sobre la asistencia técnica que reciben los pequeños agricultores, referentes al cultivo de la yuca.

La Costa Atlántica es la región más productora de yuca, a través del tiempo ha experimentado fuertemente las transformaciones de la economía del país. En el

periodo de 1975-82, ésta y todas las regiones yuqueras presentaron una tendencia negativa en la producción, un indicio que la yuca era cultivo de subsistencia no orientado hacia el mercado. En el periodo siguiente, gracias a la política de gobierno, el enfoque cambió y el cultivo mejoró su situación general (Gottret, 2002).

Según Pérez (1989), en este periodo, el gobierno trataría de mejorar el nivel de vida de los habitantes del campo y así, el Fondo DRI (Desarrollo Rural Integrado) había considerado la agroindustrialización de la yuca como una forma de solucionar el problema de mercado que ésta presentaba, especialmente para los productores de la Costa Atlántica. De esta forma surgió el proyecto de secado natural de la yuca que operaba desde 1981 con la operación de una planta piloto localizada en el departamento de Sucre, la factibilidad técnica y económica del secado natural de las raíces de yuca con destino a la alimentación animal. Los agricultores a partir de este proyecto recibían asistencia técnica no sólo para la actividad del secado sino para su propia organización, y para las labores de producción por parte del DRI. El CIAT también formó parte de la implementación de estos proyectos.

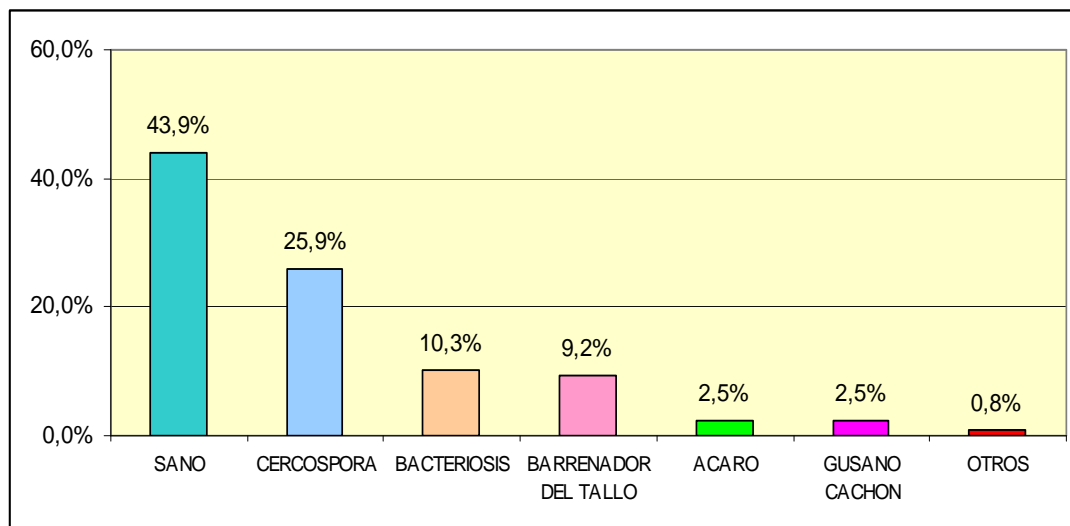
Con el fin de recuperar hectáreas para la producción agropecuaria, incluyendo la producción de yuca industrial, el gobierno continuaría con la estrategia de alianzas productivas entre los pequeños productores organizados, el sector empresarial (comercial e industrial) y los proveedores de insumos, mediante la consolidación de acuerdos regionales de competitividad (Hernández, 2003). Además, la creación de una planta para la producción de almidón de yuca, en el departamento de Sucre, busca facilitar el tema del empleo y el cultivo de yuca en la región.

Esta situación estará a la expectativa de ver cómo en realidad se verá beneficiado el pequeño agricultor, no solo en la asistencia técnica, sino en otros aspectos de la cadena productiva de la yuca, teniendo en cuenta que su tendencia es a la producción de yuca para consumo fresco y poco para la industrial.

### 6.3.5 Principales problemas fitosanitarios del cultivo

El 43.9% de los cultivos de yuca de pequeños agricultores de la Costa Atlántica son sanos. El 25.9% presenta problemas de cercospora, el 10.3% bacteriosis, el 9.2% gusano barrenador (*Chilomima clarkei* Amsel), el 2.5% ácaros (*Mononychellus tanajoa*) y el 2.5% gusano cachón (*Erinnyis ello*). El 0.8% equivale a la presencia de otros problemas como superalargamiento (*Sphaceloma manihotica*), cuero de sapo, comejen (*Heterotermes tenuis* y *Coptotermes niger*), mosca blanca (*Aleurotrachelus socialis*), escama (*Aonidomytilus albus*), hormiga arriera (*Atta* sp.) y chinche (*Vatiga manihotae*), (figura 11).

Cercospora se presenta por varias especies de *Cercosporidium* que causan manchas foliares en la yuca, *Cercosporidium henningsii* Allescher y *Phaeoramularia manihotis* Chupp y Ciferri se consideran las más importantes, tanto por su severidad como por su distribución geográfica. Estos hongos se presentan en ciertas áreas geográficas y durante época lluviosa. La mancha parda de la hoja (*C. henningsii*), es probablemente la más relevante de todas las enfermedades foliares de la yuca. Tiene una amplia distribución geográfica (Álvarez, 2002). Las manchas foliares en la yuca, o mancha parda de la hoja, no reviste importancia económica para el agricultor.



**Figura 11.** Principales problemas fitosanitarios en cultivos de yuca de pequeños agricultores de la Costa Atlántica

La bacteriosis esta reportada en el 10.3% de la población estudiada. Bacteriosis vascular o añublo bacteriano (*Xanthomonas axonopodis* pv. *Manihotis*), se considera una de las enfermedades más limitantes de la producción de yuca en las áreas afectadas, ocasionando pérdidas que pueden alcanzar 100%. La severidad de la enfermedad varía mucho según el cultivar, la fertilidad del suelo y el clima, así como por la cantidad de inóculo presente en la zona. El patógeno induce una gran variedad de síntomas, en Colombia, la enfermedad fue muy destructiva en 1971; desde entonces se informa de su presencia en las principales zonas de cultivo de la yuca del país (Verdier, 2002).

A nivel de insectos, el gusano barrenador (*Chilomima clarkei* Amsel), los ácaros (*Mononychellus tanajoa*) y el gusano cachón (*Erinnyis ello*), se clasifican como plagas mayores porque al parecer, han coevolucionado con el cultivo y lo hacen su principal o único hospedero; estas plagas pueden causar daños severos al cultivo que se manifiestan en pérdidas de rendimiento (Bellotti et. al, 2002). A este grupo también pertenecen la mosca blanca (*Aleurotrachelus socialis*) y el chinche (*Vatiga manihotae*), que tuvieron un bajo porcentaje de presencia en este estudio. Otros insectos y que se mencionan en bajo porcentaje son comején (*Heterotermes tenuis* y *Coptotermes niger*), escama (*Aonidomytilus albus*) y hormiga arriera (*Atta* sp) y *Acromyrmex* sp.), los cuales pueden ocasionar daños esporádicos o localizados al cultivo. Estas se consideran plagas menores o generalistas, y pueden atacar el cultivo en forma oportunista, especialmente en periodos de sequía cuando la única fuente de alimento disponible es la yuca (Bellotti et. al, 2002).

Las enfermedades superalargamiento y cuero sapo, también presentaron un bajo porcentaje de presencia en la población estudiada.

El superalargamiento es una enfermedad causada por el hongo *Sphaceloma manihoticola*. Crece inicialmente en sobre la epidermis del hospedante; luego de su penetración, crece en los espacios intercelulares de los tejidos de la epidermis

y la corteza. El hongo produce giberelinas, las cuales promueven el crecimiento exagerado de los entrenudos de la planta. Los perjuicios causados por esta enfermedad son bastante variables, y depende del nivel de resistencia de los cultivares, condiciones climáticas, concentración del inóculo inicial y del material de propagación contaminado. Las pérdidas pueden superar el 80% de la producción total en plantaciones jóvenes, mientras que en plantaciones con más de 6 meses no se presentan pérdidas significativas (Álvarez et. al, 2002).

El “cuero de sapo”, es una de las enfermedades mas serias del cultivo de la yuca, puesto que afecta directamente la producción de raíces causando pérdidas hasta de 90% o más en el rendimiento. Diversas investigaciones científicas revelan que es probablemente una enfermedad de etiología viral. La expresión de síntomas en la planta es variable, según la temperatura y el genotipo. En la mayoría de las variedades, las plantas afectadas no presentan señales visibles en su parte aérea y, en algunos casos, hasta pueden lucir sanas y vigorosas. En muchos casos el tallo es más grueso y vigoroso y se reutilizan estas estacas. En general el sistema radical no alcanza a tener el mismo desarrollo de una planta sana, las raíces permanecen delgadas, leñosas, de cáscara gruesa y corchosa, y su contenido de almidón es muy bajo (Calvert, et al. 2002).

## 7. CONCLUSIONES

En el ACM se diferenciaron seis grupos genéticamente diferentes que explican el 81% de la variación, con un coeficiente de diferenciación bajo ( $G_{st}$  0.18), es decir que la variabilidad se debe a diferencias dentro de los grupos y no entre los grupos.

De los seis grupos diferenciados, cuatro (Grupo1, Grupo3, Grupo5 y Grupo6), fueron representados en un alto porcentaje por una variedad. Los grupos Grupo2 y Grupo4, presentaron el mayor número de genotipos y la mayor variabilidad genética de los grupos, no se logró establecer una variedad específica que los identificara.

La variedad Venezolana, ICA costeña y P-12, son las variedades mejoradas que más siembran los agricultores en la región. Sin embargo, un alto porcentaje de los materiales sembrados (46%) equivale a diversos genotipos o variedades locales. La adopción de variedades mejoradas es un proceso lento que requiere de muchos años para que una variedad sea acogida altamente por los agricultores.

No existe un adecuado sistema de compra de semilla de yuca certificada, el agricultor guarda la semilla de cosechas anteriores y la mayor parte de la producción es destinada al mercado fresco, es un cultivo predominantemente de tecnología campesina y esta muy comprometido con la seguridad alimentaría.

Existe baja asistencia técnica y aunque se reportó el 43.9% como cultivos sanos, se encontró principalmente la presencia de enfermedades como cercospora (*C. henningsii*) y bacteriosis (*Xanthomonas axonopodis* pv. *Manihotis*) e insectos como barrenador (*Chilomima clarkei* Amsel), ácaros (*Mononychellus tanajoa*) y gusano cachón (*Erinnyis ello*).

## BIBLIOGRAFÍA

- Alcántara, J., Guarino, L., Fregene, M. (2001). Análisis de la diversidad genética en *Manihot esculenta* "Yuca" mediante el uso de marcadores microsatélites-SSR. CIAT. Cali, Colombia. p. 9.
- Álvarez, E y Llano Germán, (2002). Enfermedades del cultivo de yuca y métodos de control. En: La yuca en el tercer milenio: Sistemas modernos de producción, procesamiento, utilización y comercialización. Publicación CIAT. Cali, p. 131-147.
- Barbadilla A (2009). Genética de Poblaciones. Departamento de Genética y Microbiología. Universidad Autónoma de Barcelona. <http://biologia.uab.es/divulgacio/genpob.html#factores>. Acceso: 6-04-2009
- Bertram, B. R. (1993). Application of Molecular Techniques to Genetic Resources of cassava (*Manihot esculenta* Crantz – Euphorbiaceae): Interspecific Evolutionary Relationships and Intraspecific Characterization. Ph.D. dissertation. University of Maryland, U:S.A. 464 p.
- Beeching J., Marmey P., Gavalda M. C., Noirot M., Haysom H., Hughes M., Charrier A. (1993). An assessment of genetic diversity within a collection of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) germplasm using molecular markers. En: Annals of Botany. Vol. 72 No. 6, December 1993.
- Bellotti A. Arias B. Vargas O. Reyes J. Guerrero J.M. (2002). Insectos y ácaros dañinos a la yuca y su control. En: La yuca en el tercer milenio: Sistemas modernos de producción, procesamiento, utilización y comercialización. Publicación CIAT. Cali, 160-203 p.
- Beovides Y. Barrera E., Gutiérrez J. P., Buitrago C., Marin J., Fregene M.. (2004). Characterization of genetic diversity: Simple Sequence Repeat (SSR) Assessment of Genetic Diversity of Local Cassava Varieties from Cuba. Funding: Cassava Biotechnology Network (CBN). CIAT. Cali. Annual Report: Output: 12-34.
- Buitrago, J.A. 1990. La yuca en la alimentación animal. Cali. CIAT. ISBN 958-9183-10-7.
- Calvert L. Cuervo M. (2002). Enfermedades virales de la yuca en América del Sur. En: La yuca en el tercer milenio: Sistemas modernos de producción, procesamiento, utilización y comercialización. Publicación CIAT. Cali, p. 262-268.

- Ceballos H., Morante N., Calle F., Lenis J., Jaramillo G., Perez J. (2002). Mejoramiento genético de la yuca. En: La yuca en el tercer milenio: Sistemas modernos de producción, procesamiento, utilización y comercialización. Publicación CIAT. Cali, Colombia, p. 295-325.
- Ceballos H. (2002). La yuca en Colombia y el Mundo: Nuevas perspectivas para un cultivo milenar En: La yuca en el tercer milenio: Sistemas modernos de producción, procesamiento, utilización y comercialización. Publicación CIAT. Cali, Colombia, p. 1-13.
- Ceballos H., De la Cruz, G.A. (2002). Taxonomía y morfología de la yuca. En: La yuca en el tercer milenio: Sistemas modernos de producción, procesamiento, utilización y comercialización. Publicación CIAT. Cali, Colombia, p. 17-33.
- Ceballos H. (2002). Investigación y Desarrollo para la Yuca Industrial en seis Polos Estratégicos de Colombia. Informe presentado al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR), Federación Nacional de Avicultores de Colombia – FENAVI. Reporte técnico de actividades. Centro Internacional de Agricultura Tropical – CIAT, p. 1-113.
- CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). (1981). CIAT in the 1980s. A longrange plant for the Centro Internacional de Agricultura Tropical. Cali, Colombia. p. 182.
- CIAT, CORPOICA, CLAYUCA, MADR. 2001. Nuevas variedades de yuca para uso industrial en la región Caribe Colombiana. Publicación de Corpoica. Centro de Investigación Tibaitatá. Córdoba, p.16.
- CLAYUCA. (2006). Aprobado proyecto para producción de alcohol carburante En: Boletín electrónico del Consorcio Latinoamericano y del Caribe de Apoyo a la Investigación y Desarrollo de la Yuca. Edición 9 Diciembre del 2006.
- DANE-ENA, Encuesta Nacional Agropecuaria – Estudios especiales. (2004). Censo de producción de yuca para uso industrial. Separata de resultados disponibles en: [http://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/ena/censo\\_yuca\\_industrial.pdf](http://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/ena/censo_yuca_industrial.pdf). Acceso: 12-04-09.
- Dellaporta SL, Wood J, Hicks JR (1983). A plant DNA miniprep: version II. Plant Mol Biol Rep 1: 19-21.
- Dixon A., Raji B., Marin J., Ospina C., Buitrago C., Fregene M. (2003). Characterization of genetic diversity: Simple Sequence Repeat (SSR) Assessment of Genetic Diversity of Local Cassava Varieties from Sierra Leone. Annual Report: Development and use of biotechnology tools for cassava improvement. CIAT, Cali – Colombia. Output 8-43.
- Dixon, et al. (2002). Simple Sequence Repeat (SSR) Marker Diversity in Cassava (*Manihot esculenta* Crantz) Landraces from Nigeria. Annual Report:

- Development and use of biotechnology tools for cassava improvement. CIAT. Cali. Annual Report: Output: 8-43.
- Dominguez, O., Ceballos, L. F., Fuentes, C. (1983). Morfología de la planta de yuca. En: Yuca: Investigación, producción y utilización. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Programa de Yuca; Programa de las Naciones Unidas para el desarrollo (PNUD). Cali, p. 29-49.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2007. <http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567#ancor>. Acceso: 24-01-2009.
- Ferreira, M. E.; Grattapaglia, D. (1998). Introducción al uso de Marcadores Moleculares en el Análisis Genético. 1 ed. Brasilia: EMBRAPA - CENARGEN. p. 220.
- Gamarra J. R. V. (2007). Pobreza rural y transferencia de tecnología en la Costa Caribe. Documentos de trabajo sobre economía regional. Banco de la República. Cartagena de Indias. p 5-21.
- Giraldo M. C. (1996). Contribución al entendimiento de la diversidad genética en clones tradicionales de yuca cultivada *Manihot esculenta Crantz* en Colombia. Universidad del Valle. Facultad de ciencias, programa académico de biología. Cali. 102 p.
- Gottret M. V., Escobar Z., Pérez S. (2002). El sector yuquero en Colombia: Desarrollo y competitividad. En: La yuca en el tercer milenio: Sistemas modernos de producción, procesamiento, utilización y comercialización. Publicación CIAT. Cali, Colombia, p. 340.
- Gottret M. V., Henry G. (1994). La importancia de los estudios de adopción e impacto, el caso del proyecto integrado de yuca en la Costa Norte de Colombia. En: Interfase entre los programas de mejoramiento, los campos de los agricultores y los mercados de la yuca en Latinoamérica. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. p. 193-223.
- Gottret M. V.; Raymond M. (2000). Análisis de un Enfoque Integrado de Investigación y Desarrollo en Yuca y su Contribución al Alivio de la Pobreza: El Caso de la Costa Norte de Colombia Proyecto de Desarrollo Agroempresarial Rural. Centro Internacional de Agricultura Tropical CIAT. Cali, Colombia p. 27.
- Gregorius H.. R. (1987). The relationship between the concepts of genetic diversity and differentiation. *Theoretical and Applied Genetics* 74: 397 – 401.
- Hernández L.A. (1993). Evaluación de nuevas variedades de yuca con la participación de agricultores. Documento de trabajo No. 130. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia, p. 85.

- Hernández P.N. (2003). El embrujo autoritario. Primer año de gobierno de Álvaro Uribe Vélez. Plataforma Colombiana de derechos Humanos, Democracia y Desarrollo. ISBN: 958-644-087-7. Ediciones Antropos Ltda. Bogotá, Colombia. p. 102-108.
- Hershey, C., Amaya, A. (1983). Germoplasma de yuca: Evolución, distribución y colección. En: Manual de producción de yuca. Programa de yuca. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Cali, p. E15-E27.
- Hillocks, R.J.; Thresh, J.M.; Bellotti, A.C. (2002). Cassava: biology, production and utilization. CABI publishing, Cambridge, Inglaterra. p. 352.
- Hoelzel A. R. (1998). Molecular Genetic Análisis of populations. A practical approach Oxford University Press Inc. New York. United States. 445 p.
- Iglesias C., Hernández L. A. (1994). Introducción de diversidad genética mejorada a nivel de campos de agricultores. En: Interfase entre los programas de mejoramiento, los campos de los agricultores y los mercados de la yuca en Latinoamérica. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. p. 151-157.
- Jaramillo G. (2002). Recursos genéticos de Manihot en el centro Internacional de Agricultura Tropical CIAT. En: La yuca en el tercer milenio: Sistemas modernos de producción, procesamiento, utilización y comercialización. Publicación CIAT. Cali, Colombia. P. 271-294.
- Karp G. (1998). Biología Celular y Molecular. McGraw-Hill Interamericana. México. 746p.
- Kizito E., Gullberg U., Bua A. Omara J., Egwang M., Castelblanco W., Gutierrez J., Buitrago C., Fregene M. 2003. Simple Sequence Repeat (SSR) Assessment of Genetic Diversity of Local Cassava Varieties from Uganda. Annual Report: Development and use of biotechnology tools for cassava improvement. CIAT, Cali – Colombia. Annual Report: Output: 8-36.
- López A. J. (2002). Semilla vegetativa de yuca. En: La yuca en el tercer milenio: Sistemas modernos de producción, procesamiento, utilización y comercialización. Publicación CIAT. Cali, 49-75 p.
- López A. J. (1999). Adopción de variedades de yuca generadas por el mejoramiento clásico y por la selección varietal participativa en la región Caribe Colombiana. En: PRGA Program 2000. Fitomejoramiento participativo en América Latina y el Caribe. Memorias Simposio Internacional. Quito, Ecuador. Agosto 31 a septiembre 3 de 1999. PRGA Program. Cali, Colombia. CD-ROM.
- López A. J.; Hernández L. A.; Iglesias C. (2007). Selección varietal participativa para el mejoramiento de la yuca con agricultores en la región Caribe

- colombiana: desarrollo de una metodología. En: Revista Corpoica – Ciencia y Tecnología Agropecuaria, 8(2), 32-41.
- López A., Jaramillo M. (2000). Corpoica Rojita: Variedades de yuca para consumo fresco e industrial, seleccionada por los agricultores de la región Caribe Colombiana. Plegable promocional. Publicación de CORPOICA, ICA, MINAGRICULTURA. Centro de Investigación Tibaitatá. Córdoba, p.3.
- López J. (1994). Esquema de producción de estacas de yuca. En: Interfase entre los programas de mejoramiento, los campos de los agricultores y los mercados de la yuca en Latinoamérica. Documento de trabajo No. 138. Centro Internacional de Agricultura Tropical – CIAT. Cali, p. 161-170.
- Lozano, J.C., Byrne, D., Bellotti, A. (1983). Influencia del ecosistema en las estrategias del mejoramiento genético de la yuca. En: Manual de producción de yuca. Programa de yuca. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Cali, p. E49-E55.
- Luna, R. J.M (1991). El cultivo de la yuca en Colombia. En: Mejoramiento Genético de la Yuca en América Latina. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Cali, p. 43-58.
- Mba R.E.C., Stephenson P., Edwards K., Melzer S., Nkumbira J., Gullberg U., Apel K., Gale M., Tohme J., Fregene M. (2001). Simple sequence repeat (SSR) markers survey of the cassava (*Manihot esculenta* Crantz) genome: towards an SSR-based molecular genetic map of cassava. *Theoretical and Applied Genetics*, 102:21–31.
- Monte Luis et al. (2003). Simple Sequence Repeat (SSR) Assessment of Genetic Diversity of Local Cassava Varieties from Guatemala. Annual Report: Development and use of biotechnology tools for cassava improvement. CIAT, Cali – Colombia. Annual Report: Output: 8-21.
- Nason J. D. (2002). La estructura genética de las poblaciones de árboles. *In* Guariguata, MR; Kattan, GH Eds. *Ecología y conservación de bosques neotropicales*. CR, Editorial. p 299–327.
- Nei M. (1978). Estimation of average heterozygosity and genetic distance from a small number of individuals. *Genetics* 89: 583 – 590.
- Nei M. (1987). *Molecular evolutionary genetics*. Columbia University Press, New York, p. 512.
- Okay E., Otoo J., Buitrago C., Fregene M., Dixon A. (2003). Characterization of genetic diversity: Simple Sequence Repeat (SSR) Assessment of Genetic Diversity of Local Cassava Varieties from Ghana and Predictability of Heterosis. Annual Report: Development and use of biotechnology tools for cassava improvement. CIAT, Cali – Colombia. Annual Report: Output: 8-28.

- Patiño, V. M. (1964). Plantas cultivadas y animales domésticos en América equinoccial. Tomo 2. Plantas alimenticias, 1 ed. Imprenta departamental, Cali, Colombia, 364 p.
- Pérez C. A. (1989). Experiencias Sobre la Agroindustria de la Yuca en Colombia. En: Metodologías aplicadas a proyectos integrados de yuca. Memorias del Congreso Latinoamericano celebrado en México, 26 a 28 de Octubre. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias (INIFAP), Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Programa de las Naciones Unidas para el desarrollo (PNUD), Fundación Ford. 21- 28 p.
- Prieto H. S. (2003). Aplicación de marcadores moleculares de tipo ADN para detección de arcelina en *Phaseolus vulgars* L. Trabajo de grado. Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira. 89 p.
- Quintero L. E.; Salazar M.; Rodríguez R. (2004). Costos De Producción De Yuca En Colombia. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Documento de trabajo No. 44. Bogotá, Colombia, p. 9.
- Ramírez S. O. (1991). Desarrollo de una metodología morfo-bioquímica para identificar duplicados en yuca (*Manihot esculenta* Crantz). Trabajo de tesis. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Pamira, Valle del cauda, CO. 163 p.
- Simmonds N. (1976). Evolution of crop plants. 3 ed. Longman. London, p. 339.
- Verdier V. (2002). Bacteriosis vascular (o Añublo Bacteriano) de la yuca causada por *Xanthomonas axonopodis* pv. *Manihotis*. En: La yuca en el tercer milenio: Sistemas modernos de producción, procesamiento, utilización y comercialización. Publicación CIAT. Cali, p. 148-159.
- Zambrano A., Demey J., Fuenmayor F., Segovia V., Gutierrez Z. (2003). Diversidad genética de una colección de yuca a través de marcadores moleculares RAPDS. En: Agronomía Tropical. Vol 53 No. 2, p. 157-173.

## **ANEXOS**

**ANEXO 1.** Formato de encuesta realizado a los agricultores en los departamentos de Córdoba, Sucre, Atlántico y Magdalena.

ENCUESTA PARA EVALUACIÓN DE ADOPCION DE ESPECIES DE YUCA (Manihot esculenta) EN LA COSTA ATLÁNTICA DE COLOMBIA

ENCUESTA No. \_\_\_\_\_

Nombre del cultivador: \_\_\_\_\_

UbICación de la finca:  
 Depto.: \_\_\_\_\_ Municipio: \_\_\_\_\_ Vereda \_\_\_\_\_  
 Temperatura \_\_\_\_\_ a.s.n.m \_\_\_\_\_

Cuántas Ha sembradas de yuca posee: \_\_\_\_\_ Ha.

Qué variedades siembra y porqué (características de las variedades)

VARIEDAD	CARACTERÍSTICA	AREA

Donde adquiere la semilla \_\_\_\_\_

Cuál es la finalidad de la producción:  
 Mercado fresco \_\_\_ Industria \_\_\_ Consumo animal \_\_\_ Otro (Cuál) \_\_\_\_\_

Recibe asistencia técnica: No \_\_\_  
 Si : Particular \_\_\_ Institución (cuál) \_\_\_\_\_

Principales problemas del cultivo: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

**ANEXO 2.** Microsatélites para análisis de diversidad y diferenciación genética (Mba *et al*, 2001).

Nombre	Tipo de repetición	Primer R	Primer F	Tamaño(pb)	Temp	MgCl <sub>2</sub>
<b>SSRY4</b>	GA(16)	ATAGAGCAGAAGTGCAGGCG	CTAACGCACACGACTACGGA	287	55	1.5
<b>SSRY9</b>	GT(15)	ACAATTCATCATGAGTCATCAACT	CCGTTATTGTTCTGGTCCCT	278	55	1.5
<b>SSRY12</b>	CA(19)	AACTGTCAAACCATTTCTACTTGC	GCCAGCAAGGTTTGCTACAT	266	55	1.5
<b>SSRY19</b>	CT(8)CA(18)	TGTAAGGCATTCCAAGAATTATCA	TCTCCTGTGAAAAGTGCATGA	214	55	1.5
<b>SSRY20</b>	GT(14)	CATTGGACTTCTACAAATATGAAT	TGATGGAAAGTGGTTATGTCCTT	143	55	1.5
<b>SSRY21</b>	GA(26)	CCTGCCACAATATTGAAATGG	CAACAATTGGACTAAGCAGCA	192	55	1.5
<b>SSRY34</b>	GGC(7)	TTCCAGACCTGTTCCACCAT	ATTGCAGGGATTATTGCTCG	279	55	1.5
<b>SSRY38</b>	GT(18)	GGCTGTTCTGATCCTTATTAAC	GTAGTTGAGAAAACCTTGCATGAG	122	55	1.5
<b>SSRY51</b>	CT(22)CA(8)	AGGTTGGATGCTTGAAGGAA	GGATGCAGGAGTGCTCAACT	298	55	1.5
<b>SSRY59</b>	CA(20)	GCAATGCAGTGAACCATCTTT	CGTTTGTCTTTCTGATGTTT	158	55	1.5
<b>SSRY63</b>	GA(18)	TCAGAATCATCTACCTGGCA	AAGACAATCATTTTGTGCTCCA	290	55	1.5
<b>SSRY64</b>	CT(18)	CGACAAGTCGTATATGTAGTATTCACG	GCAGAGGTGGCTAACGAGAC	194	55	1.5
<b>SSRY69</b>	CT(25)	CGATCTCAGTCGATACCCAAG	CACTCCGTTGCAGGCATTA	239	55	1.5
<b>SSRY82</b>	GA(24)	TGTGACAATTTTCAGATAGCTTCA	CACCATCGGCATTAACCTTTG	211	55	1.5
<b>SSRY100</b>	GA(24)	ATCCTTGCCCTGACATTTTGC	TTCGCAGAGTCCAATTGTTG	210	55	1.5
<b>SSRY102</b>	GT(11)	TTGGCTGCTTTCACTAATGC	TTGAACACGTTGAACAACCA	179	55	1.5
<b>SSRY103</b>	GA(22)	TGAGAAGGAAACTGCTTGCAC	CAGCAAGACCATCACCAGTTT	272	55	1.5
<b>SSRY105</b>	CT(16)CA(8)	CAAACATCTGCACTTTTGGC	TCGAGTGGCTTCTGGTCTTC	225	55	1
<b>SSRY106</b>	CT(24)	GGAAACTGCTTGCACAAAGA	CAGCAAGACCATCACCAGTTT	270	55	1.5
<b>SSRY108</b>	GA(25)	ACGCTATGATGTCCAAAGGC	CATGCCACATAGTTCGTGCT	203	55	1.5
<b>SSRY110</b>	GT(12)	TTGAGTGGTGAATGCGAAAAG	AGTGCCACCTTGAAAGAGCA	247	55	1.5
<b>SSRY132</b>	CA(8)	CTTTTGGCAGTCTTCCTGC	TGTCCAATGTCTTCCTTTCCTT	196	55	1.5
<b>SSRY135</b>	CT(15)	CCAGAAACTGAAATGCATCG	AACATGTGCGACAGTGATTG	253	45	1.5
<b>SSRY147</b>		GTACATCACCACCAACGGGC	AGAGCGGTGGGGCGAAGAGC	113	45	1.5
<b>SSRY148</b>		GGCTTCATCATGAAAAACC	CAATGCTTTACGGAAGAGCC	114	45	1.5
<b>SSRY151</b>		AGTGGAATAAGCCATGTGATG	CCCATAATTGATGCCAGGTT	182	45	1.5
<b>SSRY155</b>		CGTTGATAAAGTGAAAGAGCA	ACTCCACTCCCGATGCTCGC	158	55	1
<b>SSRY161</b>	GT(11)GA(23)	AAGGAACACCTCTCCTAGAATCA	CCAGCTGTATGTTGAGTGAGC	220	55	1.5
<b>SSRY164</b>	GA(29)	TCAAACAAGAATTAGCAGAAGTGG	TGAGATTTTCGTAATATTCATTTCACTT	187	45	1.5
<b>SSRY169</b>	GA(19)	ACAGCTCTAAAAACTGCAGCC	AACGTAGGCCCTAACTAACCC	100	55	1
<b>SSRY171</b>	GA(23)	ACTGTGCCAAAATAGCCAAATAGT	TCATGAGTGTGGGATGTTTTATG	291	55	1.5
<b>SSRY177</b>	CT(21)	ACCACAAACATAGGCACGAG	CACCCAATTCACCAATTACCA	268	45	1.5
<b>SSRY179</b>	GA(29)	CAGGCTCAGGTGAAGTAAAGG	GCGAAAAGTAAAGTACAACCTTTCTAA	226	55	1.5
<b>SSRY180</b>	GA(13)	CCTTGGCAGAGATGAATTAGAG	GGGGCATTCTACATGATCAATAA	163	55	1.5
<b>SSRY181</b>	CT(31)	GGTAGATCTGGATCGAGGAGG	CAATCGAAACCGACGATACA	199	55	1.5

### ANEXO 3. Polymorphic information content – Contenido de Información Polimórfica

\*\*\*\* Summary statistics \*\*\*\*

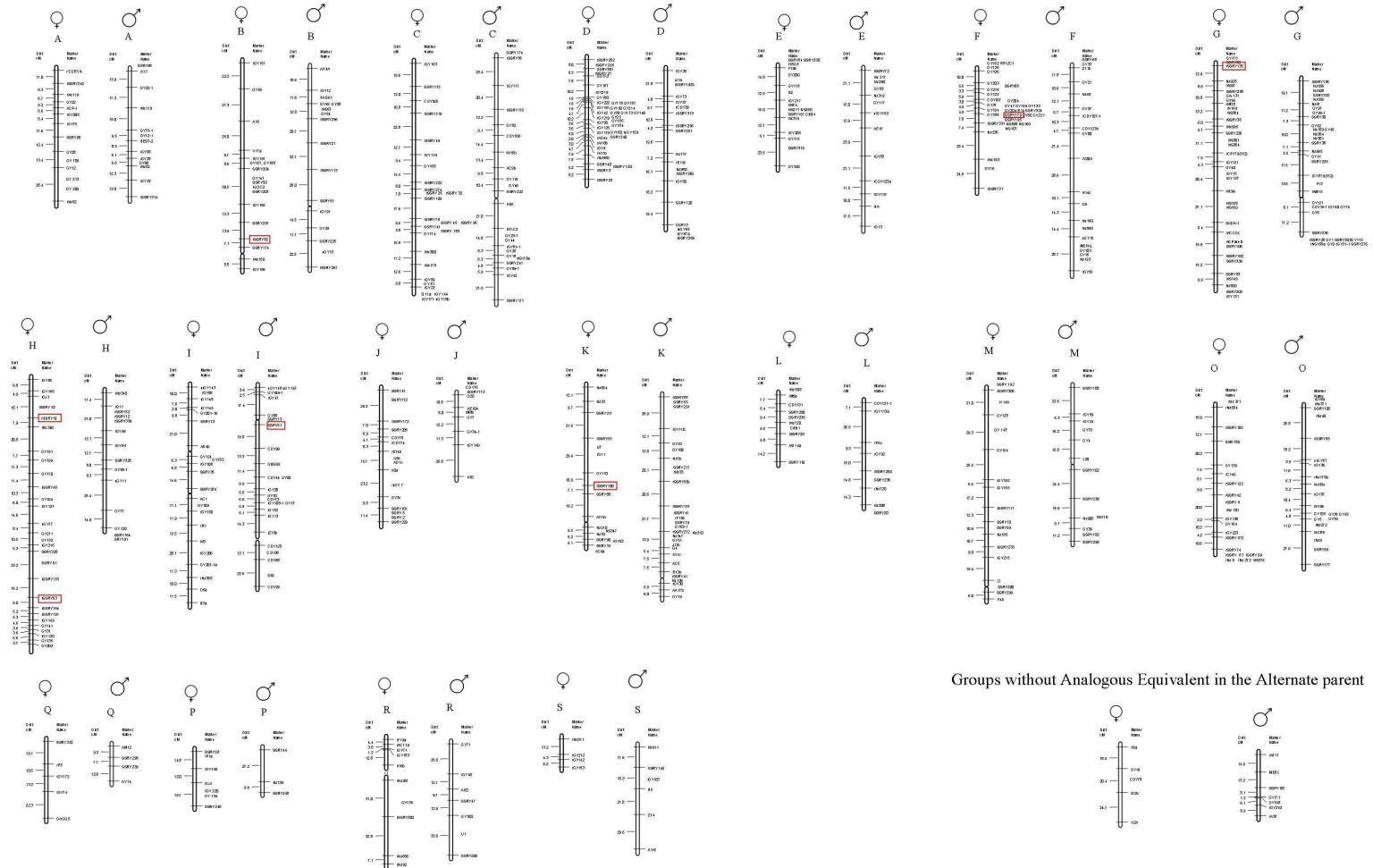
Number of loci: 18  
Number of individuals: 31

Locus	k	N	Hets	Homs	Hetz.	PIC	Excl(1)	Excl(2)	X <sup>2</sup>	v	Null freq
SSRY9	4	31	17	14	0.493	<b>0.433</b>	0.121	0.257	0.00	0	-0.0443
<b>SSRY12</b>	7	29	26	3	0.831	<b>0.792</b>	0.462	0.637	0.00	0	-0.0478
SSRY19	3	29	18	11	0.484	<b>0.428</b>	0.113	0.252	0.00	0	-0.1645
SSRY34	4	28	11	17	0.660	<b>0.579</b>	0.221	0.371	18.73	1	0.2667
<b>SSRY51</b>	8	30	28	2	0.828	<b>0.788</b>	0.456	0.631	0.00	0	-0.0700
SSRY52	5	30	17	13	0.613	<b>0.552</b>	0.200	0.362	0.69	1	0.0480
<b>SSRY63</b>	3	31	20	11	0.676	<b>0.591</b>	0.221	0.369	0.00	0	0.0136
SSRY64	4	31	15	16	0.656	<b>0.576</b>	0.219	0.367	0.41	1	0.1470
<b>SSRY69</b>	7	31	23	8	0.649	<b>0.610</b>	0.248	0.433	1.02	1	-0.0878
<b>SSRY82</b>	5	31	25	6	0.797	<b>0.749</b>	0.392	0.571	0.00	0	-0.0211
<b>SSRY100</b>	6	30	24	6	0.740	<b>0.688</b>	0.323	0.501	1.65	1	-0.0661
SSRY105	4	30	17	13	0.544	<b>0.483</b>	0.151	0.298	0.00	0	-0.0199
SSRY106	5	30	15	15	0.547	<b>0.504</b>	0.160	0.327	0.00	0	0.0002
SSRY110	4	31	14	17	0.487	<b>0.440</b>	0.120	0.268	0.00	0	0.0203
<b>SSRY135</b>	3	24	21	3	0.669	<b>0.581</b>	0.215	0.361	0.00	0	0.0000
<b>SSRY151</b>	5	28	27	1	0.736	<b>0.682</b>	0.314	0.494	7.91	1	-0.1628
<b>SSRY155</b>	4	30	19	11	0.674	<b>0.615</b>	0.246	0.417	5.64	1	0.0547
<b>SSRY179</b>	3	27	8	19	0.670	<b>0.583</b>	0.216	0.363	0.00	0	0.3815

k= Number of alleles  
N=Number of individuals typed  
Hets= Heterozygotes  
Homs= Homozygotes  
Hetz=Expected heterozygosity  
PIC= Polymorphic information content  
Excl(1)= Average exclusion probability  
Excl(2)=Average exclusion probability  
Hardy-Weinberg equilibrium test  
X<sup>2</sup>=Chi-square value  
v= Degrees of freedom  
Null freq= Null allele frequency estimate

Mean number of alleles per locus: 4.67  
Mean proportion of individuals typed: 0.952  
Mean expected heterozygosity: 0.653  
Mean PIC: 0.593  
Total exclusionary power (first parent): 0.994647  
Total exclusionary power (second parent): 0.999940

# ANEXO 4. Ubicación de los marcadores : SSRY 12, SSRY 51, SSRY 63, SSRY 82, SSRY 100, SSRY 135, SSRY 179 en el Mapa genético de yuca



**ANEXO 5. Asociación de grupos según Análisis de Correspondencia Múltiple (ACM) de genotipos evaluados de la Costa Atlántica Colombiana**

microsatelites yuca 2008-faltantes=0 (acm.sas)  
Cluster History

Norm	T								
RMS	i								
Dist	e	-----Clusters Joined-----			FREQ	RMS	SPRSQ	RSQ	
						STD			
733	023_		024_		2	0	0.0000	1.00	0
19	CL38		CL27		105	0.4112	0.0109	.889	
0.4956	18		CL39		25	0.3718	0.0017	.887	
0.5052	17		CL64		110	0.4106	0.0034	.884	
0.5159	16		CL65		54	0.4071	0.0075	.877	
0.5163	15		CL26		51	0.3538	0.0010	.876	
0.5169	14		CL21		222	0.3578	0.0080	.868	
0.5188	13		CL23		24	0.4533	0.0030	.865	
0.5442	12		CL46		27	0.2970	0.0007	.864	
0.5485	11		CL19		159	0.4881	0.0154	.848	
0.5685	10		CL28		117	0.4341	0.0042	.844	
0.5886	9		CL35		68	0.4684	0.0130	.831	
0.6089	8		CL13		75	0.4929	0.0095	.822	
0.6116	7		CL10		142	0.4916	0.0121	.810	
0.6129									

6	CL20	CL25	68	0.4886	0.0124	.797
0.6311						
5	CL11	CL6	227	0.6242	0.0469	.750
0.7728						
4	CL9	CL7	210	0.7274	0.0843	.666
0.9488						
3	CL14	CL5	449	0.7867	0.2195	.446
0.9871						
2	CL3	CL4	659	0.9325	0.2515	.195
1.1029						
1	CL2	CL8	734	1.0000	0.1949	.000
1.2707						

**ANEXO 6.** Distribución general de los diferentes genotipos sembrados por los pequeños agricultores de la Costa Atlántica en los seis grupos identificados en el Análisis de Correspondencia Múltiple (ACM)

Grupo ACM	GENOTIPO	No genotipos	Grupo ACM	GENOTIPO	No genotipos	Grupo ACM	GENOTIPO	No genotipos
1	VENEZOLANA (MCOL2215)	188	2	CORPOICA GINES (CM4843-1)	4	2	LA NEGRA	1
1	VERONICA (CM 4919-1)	6	2	ICA P-12 A	4	2	JARTA VIEJO	1
1	BLANCA MONA A	3	2	MVEN 25	4	2	INDIGENA	1
1	ICA COSTENA A	2	2	SABROCITA	3	2	ICA COSTENA II	1
1	ICA NEGRITA (NEGRITA)	2	2	POLVO DE LA PRIMA	3	2	GUARUMERA	1
1	MOMPOSINA	2	2	BLANCA MONA B	3	2	ENANA	1
1	MTAI - 8 A	1	2	ICA SUCRENA (CM 3555-6)	2	2	COGOLLO DE SEIVA	1
1	LENGUA DE VENADO	1	2	YEMA DE HUEVO	4	2	CARTAGENA	1
1	BRASILERA	1	2	MONTERO	2	2	CANILLA DE GOLER	1
1	CM 4843-1 GINES	1	2	JUANA LA VERDE	2	2	CAMARON	1

1	YEMA DE HUEVO	1	2	VERONICA	2	2	AMARGA	1
1	PALANCA	1	2	CARIBENA	2	3	BLANCA MONA C	1
1	ROMPECOLETA	1	2	COLOMBIANA (CM 3306-19)	1	3	CHIROSA	1
1	LIGERITA	1	2	VILLA	1	3	ENANA	1
1	MAJATERA	1	2	SM 1433-41	1	3	HERNANDO	1
1	TRES COLORES	1	2	SIN NOMBRE	1	3	LA MONTUNA	1
1	BOTONCITO	1	2	SEIVA	1	3	SABROCITA	1
1	GUAJIRA	1	2	SABANERA	1	3	VENEZOLANA B	1
1	LOMITA 1	1	2	PRIETA	1	3	SECUNDINA A	4
1	PEZ ESPADA	1	2	PININA	1	3	ICA COSTENA (CG 1141-1)	63
1	RIO GRANDE	1	2	PIE SANTO	1	4	SECUNDINA (COL 2063)	17
1	YUCA NEGRA	1	2	PATA PANDA	1	4	BLANCA MONA D	13
1	YUCA VERDE	1	2	PALANCA	1	4	LENGUA DE VENADO	8
2	Venezolana A	35	2	NOTESEVE	1	4	PIE DE PALOMA	7
2	MTAI - 8	22	2	MAJATERA	1	4	MONTERO	7
2	CUBANA (CM 4574-7)	18	2	LOMITA 3	1	4	Venezolana B	6
2	LUIS	8	2	LLANERA	1	4	SM 1433-4	5
2	ICA NEGRITA (CM 3306-4)	5	2	LA REINA	1	4	MANTECA	3
<b>Grupo ACM</b>	<b>GENOTIPO</b>	<b>No genotipos</b>	<b>Grupo ACM</b>	<b>GENOTIPO</b>	<b>No genotipos</b>	<b>Grupo ACM</b>	<b>GENOTIPO</b>	<b>No genotipos</b>
4	GUARUMERA	3	4	MANANITA	1	5	MTAI - 8 C	1
4	SANTANERA	4	4	LOMITA 2	1	5	JUANA LA VERDE	1
4	BRASILERA	4	4	LIGERITA	1	5	ICA COSTENA B	1
4	ROMPECOLETA	2	4	LENGUA DE LOBO	1	5	CORPOICA ROJITA	1
4	PALANCA	2	4	LAS FLORES	1	5	CARIBENA	1
4	MTAI - 8 B	2	4	LA CARTAGENA	1	6	BLANCA MONA (COL 2253)	48
4	ICA NEGRITA	2	4	JILE	1	6	SOFA	6
4	DOS COLORES	2	4	JARTA VIEJO	1	6	MONTERO	2
4	DESPELUCADA	2	4	GONGORA	1	6	ICA P-12 B	1
4	CUBITA	2	4	EFRAIN	1	6	NEGRITA	1
4	CORPOICA SUCRENA	2	4	CONEJA	1	6	PIE DE PALOMA	1
4	COGOLLO DE SEIVA	2	4	COCO	1	6	YEMA DE HUEVO	1
4	BOTON	2	4	CHINU	1	6	MOMPOSINA	1
4	BETO	2	4	CHINGALE	1	6	MANGO	1

4	YUCA BLANCA	1	4	CG 1141-1	1	6	SARDINA	1
4	YEMA DE HUEVO	1	4	CARTAGENA	1	6	BOGOTANA	1
4	TRES COLORES	1	4	CARNE AMARILLA	1	6	COGOLLO VERDE	1
4	SOLITA	1	4	CARAQUENA	1	6	NINA SOFA	1
4	SOFA	1	4	BEDOYANA	1	6	RUIZ	1
4	SIN NOMBRE	1	4	AZULITA	1		<b>TOTAL GENOTIPOS</b>	<b>717</b>
4	SARDINA	1	4	ALKASAR 2	1			
4	RODEO	1	4	ALKASAR 1	1			
4	RAIZ AMARILLA	1	4	ALGODÓN	1			
4	PUNTA ESPADA	1	5	ICA P-12 (MCO1505) (ICA VERDECITA)	29			
4	PININA	1	5	Venezolana C	14			
4	NOTESEVE	1	5	BLANCA MONA E	7			
4	MONTERO BLANCO	1	5	ICA NEGRITA A	4			
4	MATRIMONIO	1	5	POLVO DE LA PRIMA	3			
4	MARIA PRIETA	1	5	CHIROSA	3			
4	MARIA CONCE	1	5	SIN NOMBRE	1			
4	MANGO	1	5	ORLANDO POLO	1			

### ANEXO 7. Número de alelos observados en genotipos evaluados de la Costa Atlántica Colombiana

ANALISIS DE PESOS MOLECULARES DIPLOIDES CONVERTIDOS A DATOS BINARIOS (JSBD.SAS)  
data ib

Obs	mm Name	Num Alelos
1	y82	6
2	y179	5
3	y135	4
4	y12	4
5	y63	4
6	y51	5
7	y100	7

8	y151	4
9	y155	3

ANALISIS DE PESOS MOLECULARES DIPLOIDES CONVERTIDOS A DATOS BINARIOS (JSBD.SAS)  
 NUMERO DE ALELOS Y RANGOS DE BANDAS

Obs	mm Name	Num Alelos	Banda Ini	Banda Fin
1	y82	6	1	6
2	y179	5	7	11
3	y135	4	12	15
4	y12	4	16	19
5	y63	4	20	23
6	y51	5	24	28
7	y100	7	29	35
8	y151	4	36	39
9	y155	3	40	42

**ANEXO 8. Frecuencia alélica y heterocigosidad en genotipos evaluados de la Costa Atlántica Colombiana**

ANALISIS DE PESOS MOLECULARES DIPLOIDES CONVERTIDOS A DATOS BINARIOS (JSBD.SAS)  
 Heterocigosidad

g	T	F	Heterocigosidad										
r	Y	R		Y	Y		Y	Y	Y	Y	Y	Y	
O	u	P	E	y	1	1	y	y	y	1	1	1	
b	p	E	Q	8	7	3	1	6	5	0	5	5	h
s	o	-	-	2	9	5	2	3	1	0	1	5	e
1	.	0	734	0.67468	0.57372	0.65305	0.51618	0.59178	0.63611	0.61946	0.69709	0.59021	0.61692
2	1	1	222	0.52343	0.38875	0.60150	0.14475	0.22867	0.41011	0.35280	0.54892	0.19864	0.37751
3	2	1	159	0.65852	0.55172	0.60227	0.60150	0.55894	0.69115	0.45315	0.59208	0.41958	0.56988
4	3	1	75	0.54356	0.41591	0.58124	0.12649	0.50747	0.61022	0.56107	0.54338	0.61538	0.50052
5	4	1	142	0.52809	0.41998	0.61007	0.62755	0.64414	0.66683	0.76532	0.53340	0.66487	0.60670
6	5	1	68	0.36624	0.38041	0.22686	0.51730	0.64782	0.67896	0.64263	0.57958	0.60824	0.51645
7	6	1	68	0.49611	0.43047	0.56704	0.54174	0.39749	0.52130	0.72005	0.51698	0.55093	0.52690

ANALISIS DE PESOS MOLECULARES DIPLOIDES CONVERTIDOS A DATOS BINARIOS (JSBD.SAS)

Obs	he_y82	he_y179	he_y135	he_y12	he_y63	he_y51	he_y100	he_y151	he_y155	he
1	0.53856	0.43596	0.56336	0.40652	0.46355	0.57631	0.53650	0.55458	0.44987	0.50280

Obs	vh_y82	h_y179	vh_y135	vh_y12	vh_y63	vh_y51	vh_y100	vh_y151	vh_y155	vhe
1	0.006136434	0.003961500	0.011730	0.049322	0.028752	0.014190	0.026103	0.000603435	0.034346	0.007893223

ANALISIS DE PESOS MOLECULARES DIPLOIDES CONVERTIDOS A DATOS BINARIOS (JSBD.SAS)  
Diferenciación

Obs	g_y82	g_y179	g_y135	g_y12	g_y63	g_y51	g_y100	g_y151	g_y155	g
Hst 1	0.79824	0.75989	0.86265	0.78757	0.78331	0.90599	0.86607	0.79557	0.76221	0.81502
Gst	0.20176	0.24011	0.13735	0.21243	0.21669	0.09401	0.13393	0.20443	0.23779	0.18498

ANALISIS DE PESOS MOLECULARES DIPLOIDES CONVERTIDOS A DATOS BINARIOS (JSBD.SAS)  
ANALISIS DE FRECUENCIAS PARA TIPOS DE ALELOS

The FREQ Procedure

y82hz	Frequency	Percent	Cumulative Frequency	Cumulative Percent
Homocig	185	25.20	185	25.20
Heteroc	549	74.80	734	100.00

y179hz	Frequency	Percent	Cumulative Frequency	Cumulative Percent
Homocig	474	64.58	474	64.58
Heteroc	260	35.42	734	100.00

y135hz	Frequency	Percent	Cumulative Frequency	Cumulative Percent
Homocig	239	32.56	239	32.56
Heteroc	495	67.44	734	100.00

y12hz	Frequency	Percent	Cumulative Frequency	Cumulative Percent
Homocig	385	52.45	385	52.45
Heteroc	349	47.55	734	100.00

y63hz	Frequency	Percent	Cumulative Frequency	Cumulative Percent
Homocig	427	58.17	427	58.17
Heteroc	307	41.83	734	100.00

y51hz	Frequency	Percent	Cumulative Frequency	Cumulative Percent
Homocig	281	38.28	281	38.28
Heteroc	453	61.72	734	100.00

y100hz	Frequency	Percent	Cumulative Frequency	Cumulative Percent
Homocig	368	50.14	368	50.14
Heteroc	366	49.86	734	100.00

y151hz	Frequency	Percent	Cumulative Frequency	Cumulative Percent
Homocig	108	14.71	108	14.71
Heteroc	626	85.29	734	100.00

y155hz	Frequency	Percent	Cumulative Frequency	Cumulative Percent
Homocig	434	59.13	434	59.13
Heteroc	300	40.87	734	100.00

Promedio Heterogeneidad observada: 0.56087