

CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA Y GENÉTICA DE ETNOVARIEDADES DE LA YUCA *Manihot esculenta*, Cratz, EN SEIS LOCALIDADES DE LA CUENCA BAJA DEL RÍO UCAYALI – PERÚ

Jose MEJÍA¹, Rosa ELIAS-DA-SILVA², Kember MEJÍA³, Carmen GARCÍA-DÁVILA¹

- 1 Laboratorio de Biología y Genética Molecular – LBGM. Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana, IIAP, Carretera Iquitos-Nauta km. 4.5, Iquitos, Perú, e-mail: edu_345@hotmail.com
- 2 Universidad Federal de Santa Catarina, Programa de post-graduación en biología de hongos, algas y plantas, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil.
- 3 Programa de Investigación en Biodiversidad Amazónica-PIBA, Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana-IIAP, Av. A. Quiñonez, Km 2.5 Iquitos-Perú.

RESUMEN

La caracterización morfológica y genética de la yuca *Manihot esculenta* fue realizada mediante la evaluación de 22 descriptores morfológicos y 12 marcadores moleculares (microsatélites). La evaluación de los caracteres morfológicos, mostraron que si bien existe una sobre posición de caracteres entre algunas etnovariedades, siempre es posible diferenciarlos por al menos un carácter, validando morfológicamente las 26 etnovariedades evaluadas. El descriptor con mayor plasticidad fue la altura de la primera ramificación (APR) con coeficiente de variación (CV) de 89.3; mientras que el descriptor más estable para las 26 etnovariedades fue la longitud del lóbulo central de la hoja (LLP) con CV de 0.9. El análisis genético muestra que las etnovariedades están agrupadas en cinco grupos bien definidos, mientras 92 individuos (71.9%) compartieron su genotipo con uno o más individuos, en muchos de los casos de otras etnovariedades. El análisis de las cuatro variedades más comercializadas (señorita, cogollo morado, amarilla, piririca), mostraron que algunos individuos comparten genotipos con otros individuos de su misma etnovariación en las seis localidades analizadas. La excepción fue la etnovariación “señorita” proveniente de la comunidad de San José de Paranapúra, que compartieron el mismo genotipo que otros individuos de la etnovariación “cogollo morado” de Chingana. Esto podría significar que: i) los pobladores de estas localidades están confundiendo las etnovariedades, ii) que la similitud fenotípica observada en la yuca no es necesariamente producto de la similitud genotípica, o iii) que *Manihot esculenta*, a pesar de ser una especie con muchos años de domesticación encierra todavía una gran variabilidad genética.

PALABRAS CLAVE: Descriptores morfológicos, marcadores moleculares, variabilidad genética, genotipos, *Manihot esculenta*, yuca.

MORPHOLOGICAL AND GENETIC CHARACTERIZATION OF CASSAVA LANDRACES *Manihot esculenta*, Cratz IN SIX LOCATIONS IN THE LOWER RIVER BASIN UCAYALI – PERU

ABSTRACT

The morphological and genetic characterization of 26 cassava landraces from six locations in the lower basin of the Ucayali River was analysed using 22 morphological descriptors (15 qualitative and 7 quantitative) and twelve molecular markers (microsatellites). Morphological results showed that while there is an overlapping of characters between some landraces, it is always possible to differentiate them by at least one character, validating morphologically the 26 landraces evaluated. The descriptor with greater plasticity was the height of the first branch with coefficient of variation (CV) of 89.3. While the most stable descriptor among the 26 landraces was the length of the central lobe with 0.9 CV. The genetic analysis showed that landraces are grouped into five major groups, while a great number of individuals shared their genotype with one or more individuals (92 individuals = 71.9%), in many cases with individuals of other landraces. The analysis of the four most traded varieties showed that some individuals share genotypes with other individuals of the same landrace in six geographic locations analyzed. The exception was the etnovariación "señorita" from the community of San José de Paranapura, which shared the same genotype as other individuals of the etnovariación "cogollo morado" of Chingana. This may mean that: i) the local people are confusing landraces in the study localities, ii) the observed phenotypic similarity in cassava is not necessarily a product of genotypic similarity, or iii) *Manihot esculenta*, despite being a species with many years of domestication still holds a great genetic variability in crops.

KEYWORDS: Morphological descriptors, molecular markers, genetic variability, genotypes, *Manihot esculenta*, manioc.

INTRODUCCIÓN

En la Amazonía peruana una situación común de la agricultura tradicional, es la existencia de diferentes especies y variedades plantas cultivadas, en una misma chacra (Boster, 1983; Elias & Mckey, 2000). El cultivo de subsistencia más importante en estas chacras es la yuca *Manihot esculenta* de la que se distinguen un gran número de variedades locales (etnovariedades), que son identificadas por los agricultores con un nombre común o singular, el cual casi siempre está basado en características morfológicas, lugar de origen de las variedades o nombres de personas que introdujeron la variedad a la comunidad (Elias & Mckey, 2000; Mkumbira *et al.*, 2003). La diversidad morfológica y genética de esta especie ha sido caracterizada en términos de variedades cultivadas, estimándose alrededor de 7000 variedades encontradas en todo el mundo (Mühlen *et al.*, 2000), en su mayoría etnovariedades, mantenidas por agricultores tradicionales (Hershey, 1994; Empereire & Pinton, 1998).

En la región de estudio, los sistemas agrícolas tradicionales tienen como especie fundamental a la yuca *Manihot esculenta*, por presentar una elevada diversidad intra e intervarietal, sea dentro de los campos de cultivo, como dentro o entre comunidades (Peroni & Martins, 2000). Es por ello que la yuca viene siendo objeto de numerosos estudios de caracterización morfológica (descriptores) y molecular (marcadores moleculares), que buscan conocer la gran diversidad que encierra esta especie. El conocimiento de la diversidad genética de los cultivos, en cualquier región del mundo, permite aportar información básica en la toma de decisiones para propósitos de mejoramiento y conservación de la especie (Lobo, 2004). En este sentido, el presente estudio tiene como objetivo la caracterización morfológica y genética de las etnovariedades de yuca en seis localidades de la cuenca baja del río Ucayali, mediante el empleo de descriptores morfológicos y uso de marcadores microsatélites.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de colecta de material biológico

La colecta del material biológico se realizó en seis comunidades, pertenecientes al Distrito de Sapuena, Provincia de Requena, región Loreto, Amazonía peruana (Figura 1). Dos de las comunidades estaban ubicadas en zonas de tierra firme: Bagazán (UTM 9477981, 664235) y Flor de Castaña (UTM 9472663, 655402); en tanto que las cuatro restantes estaban ubicadas en zonas

inundables: San José de Paranapúra (UTM 9500610, 671041), Chingana (UTM 9478201, 66195), Sapuena (UTM 9472713, 651941) y Jorge Chávez (UTM 9471862, 649812).

Análisis morfológico

Fueron analizados un total de cinco individuos por variedad en cada una de las localidades evaluadas. Los caracteres morfológicos evaluados estaban conformados por 15 caracteres cualitativos y siete cuantitativos, todos ellos publicados y validados por Fukuda & Guevara en el 1998.

Análisis molecular SSR

Extracción - amplificación del ADN y determinación del peso de los alelos

La extracción de ADN fue realizada a partir de tejido foliar mediante el método CTAB (Doyle & Doyle, 1987). La variabilidad genética fue determinada a partir de un total de 12 locus microsatélites, ocho de ellos amplificados utilizando los primers desarrollados por Chavarriaga-Aguirre *et al.* (1998): GA-5, GA-12, GA-21, GA-126, GA-131, GA-134, GA-136, GA-140 y cuatro desarrollados por Mba *et al.* (2001): SSRY4, SSRY9, SSRY20, SSRY21. La reacción de amplificación estuvo compuesta de 2.0 µl de Buffer (1x); 0.5 µl de MgCl₂ (1.25mM); 0.2 µl de cada dNTP (1mM); 0.4 µl de cada primer; 0.08 µl de taq polimerasa (5U/µl), 5.82 µl de agua mili-Q y 1 µl de ADN (100ng/µl). Las condiciones de temperatura fueron: una denaturación inicial a 96° C por 2 min., seguido de 30 ciclos conformados por Denaturación a 94° C por 1 min.; Hibridación a 56.6° C por 1 min.; y Extensión a 72° C por 1 min. Seguida de una extensión final a 72° C por 30 seg. El peso de los alelos fue determinado usando el software Peak Scanner versión 1.0 (<https://products.appliedbio systems.com>).

Tratamiento de datos

Datos morfológicos

La matriz de datos morfológicos se organizó en caracteres cuantitativos y cualitativos (en escala nominal) y fueron analizados mediante estadística descriptiva. El análisis de los datos morfológicos se realizó en el programa Statistica versión 8.0. Por cada carácter cuantitativo en cada etnovariación fue estimado el promedio, la desviación estándar, el coeficiente de variación, valor mínimo, valor máximo. En tanto que para los caracteres cualitativos se determinó la moda y la frecuencia.

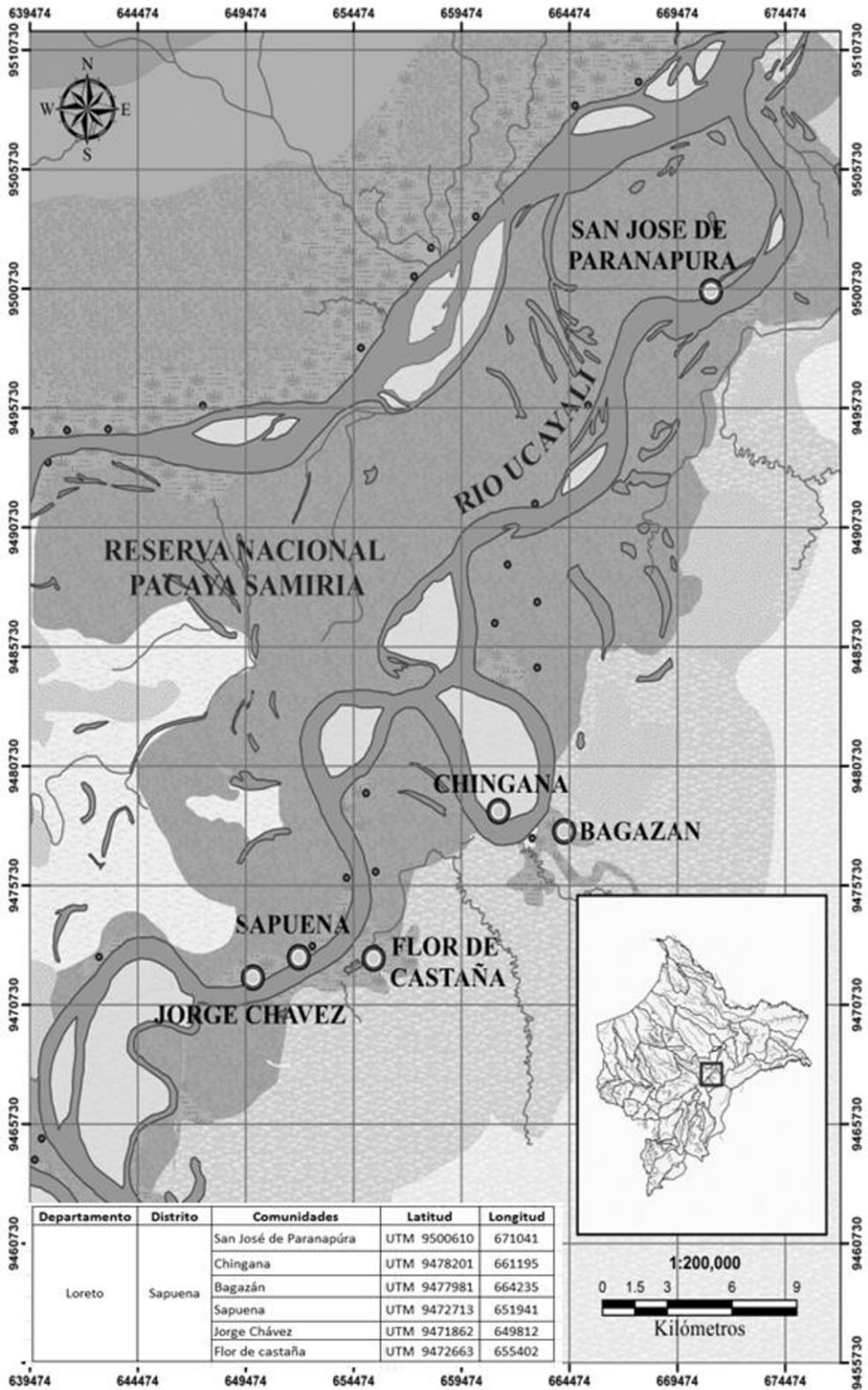


Figura 1. Mapa de ubicación de los lugares de colecta de los individuos de yuca *Manihot esculenta* Cratz.

Tabla 1. Etnovariedades de yuca colectadas en seis comunidades de la cuenca baja del río Ucayali.

Etnovariedad	Código	Localidades					
		SAN JOSE DE PARANAPÚRA	CHINGANA	BAGAZÁN	SAPUENA	FLOR DE CASTAÑA	JORGE CHÁVEZ
señorita	SR	x	x		x	x	x
pinsha rumo	PS						x
piririca	PI	x	x		x	x	x
palo negro	PN					x	x
paloma rumo	PL	x					x
tijerilla	TJ				x		
yuca blanca	BL				x		
lacre rumo	LC				x		
cogollo morado	CO		x		x	x	
bolsa rumo	BO				x		
arauana rumo	AR				x	x	
wasahí rumo	WA				x		
cola de zorro	ZO	x					
sarayacu	SA	x					
yuca vidrillo	VI	x					
concha rumo	CR		x				
yuca tigre	TG		x				
señorita gigante	SG		x				
arpón rumo	AP			x			
tres mesina	TR			x			
piririca del alto	PA			x			
piririca del bajo	PB			x			
yuca pucallpina	PU			x			
tijerilla morada	TM					x	
ungurahui	UN				x	x	
yuca amarilla	AM	x	x	x		x	

Tabla 2. Principales descriptores morfológicos evaluados para las 26 etnovariedades estudiadas de *Manihot esculenta* yuca.

Código	COBR	FOLC	COVE	NULO	COPE	COCO	COET	COEI	HACR	CCEX	CCIN
AR	verde claro	Elíptica lanceolada	rojo	siete	verde	verde oscuro	marrón oscuro	marrón oscuro	recto	marrón oscuro	amarillo
CO	purpura	Elíptica lanceolada	rojo	siete	purpura	verde oscuro	marrón oscuro	marrón oscuro	recto	marrón claro	amarillo
LC	purpura	lanceolada	rojo	siete	verde rojo	verde claro	marrón claro	marrón claro	recto	marrón oscuro	blanco crema
PB	verde purpura	oblongo lanceolado	rojo	siete	Purpura	verde claro	marrón claro	marrón oscuro	recto	marrón oscuro	blanco crema
PI	purpura	Elíptica lanceolada	purpura	siete	Purpura	verde oscuro	marrón claro	marrón oscuro	recto	marrón oscuro	rosado
PL	verde purpura	lanceolada	rojo	siete	Purpura	verde claro	marrón claro	marrón claro	recto	marrón oscuro	amarillo
TG	verde claro	Elíptica lanceolada	rojo	siete	Purpura	verde claro	marrón oscuro	marrón oscuro	recto	marrón claro	rosado
TM	verde purpura	oblongo lanceolada	rojo	siete	Purpura	verde claro	marrón claro	marrón oscuro	recto	marrón oscuro	rosado
WA	verde claro	Elíptica lanceolada	verde	siete	Verde	verde claro	dorado	crema	recto	marrón oscuro	rosado
ZO	purpura	Elíptica lanceolada	verde	siete	Verde	morado	plateado	crema	recto	marrón claro	amarillo
AM	purpura	oblongo lanceolada	rojo	siete	Purpura	verde oscuro	marrón claro	marrón claro	recto	marrón claro	blanco crema
AP	verde purpura	lineal o recta	verde	siete	verde rojo	verde oscuro	marrón oscuro	marrón oscuro	recto	marrón oscuro	blanco crema
BL	verde oscuro	Elíptica lanceolada	verde	siete	Verde	verde oscuro	marrón oscuro	marrón oscuro	recto	marrón oscuro	blanco crema
BO	verde claro	lanceolada	verde	siete	Verde	verde oscuro	marrón oscuro	marrón oscuro	recto	marrón oscuro	blanco crema
CR	purpura	Elíptica lanceolada	verde	siete	purpura	verde claro	marrón claro	marrón oscuro	recto	blanco crema	blanco crema
PA	verde oscuro	oblongo lanceolada	rojo	siete	Purpura	verde oscuro	dorado	crema	recto	marrón claro	blanco crema
PS	purpura	lineal o recta	rojo	siete	Verde rojo	verde claro	marrón oscuro	marrón oscuro	recto	blanco crema	rosado
PN	verde purpura	oblongo lanceolada	verde	siete	verde rojo	verde claro	dorado	crema	recto	marrón claro	blanco crema
PU	verde oscuro	oblongo lanceolada	verde	siete	verde	verde oscuro	marrón oscuro	marrón oscuro	recto	marrón claro	blanco crema
SA	purpura	oblongo lanceolada	rojo	siete	Purpura	verde claro	marrón oscuro	marrón oscuro	recto	marrón claro	amarillo
SG	verde oscuro	ovoide	verde	siete	verde	verde claro	dorado	crema	recto	marrón claro	amarillo
SR	verde oscuro	ovoide	verde	siete	verde	verde oscuro	verde amarillento	marrón claro	recto	blanco crema	blanco crema
TJ	verde purpura	oblongo lanceolada	verde	siete	verde rojo	verde oscuro	verde amarillento	marrón claro	recto	blanco crema	blanco crema
TR	verde claro	ovoide	verde	siete	verde	verde claro	dorado	crema	recto	marrón oscuro	blanco crema
UN	verde claro	oblongo lanceolada	rojo	siete	purpura	verde claro	marrón oscuro	marrón oscuro	recto	marrón oscuro	amarillo
VI	purpura	Elíptica lanceolada	verde	siete	purpura	verde oscuro	marrón oscuro	marrón oscuro	recto	blanco crema	blanco crema

Abreviaciones: COBR: color brotes; FOLC: forma de lóbulo central de hojas; COVE: color vena de las hojas; número de lóbulos por hoja; COPE: color del peciolo; COCO: color del colequima del tallo; COET: color externo del tallo; COEI: color epidermis interna del tallo; HACR: hábito de crecimiento del tallo; CCEX: color corteza externa de la raíz; CCIN: color corteza interna de la raíz; **Etnovariedades:** SR = Señorita, PI = Piririca, CR = Concha rumpo, SG = Señorita gigante, AM = "yuca" amarilla, CO = Cogollo morado, PL = Paloma rumpo, TJ = Tijerilla, SA = Sarayacu, VI = Vidrillo, ZO = Cola de zorro, PS = Pishia rumpo, TG = Tigre, PB = Piririca del bajo, UN = Ungurathui, PU = Ungurathui, PU = Ungurathui, PU = Ungurathui, WA = Wasahi rumpo, PN = Palo negro, PL = Palo negro, AP = Arpón rumpo, BO = Bolsa rumpo, TR = Tres mesina, LC = Lacre rumpo, TM = Tijerilla morada, PA = Piririca del alto.

Tabla 3. Promedio, desviación estándar, coeficiente de variación, mínimos y máximos para los descriptores morfométricos evaluados en las 26 etnovariedades de *Manihot esculenta* Cratnz del bajo Ucayali.

Código	TI	PI	BL	UN	LA	SR	CO	BO	AR	WA	ZO	SA	VI	PA	PN	TM	CR	TG	SG	PN	AP	TR	PL	PB	PU	AM	
LLC (cm)	Prom	24.7	14.5	25.4	20.7	16.3	14.1	15.7	13.4	13.6	15.1	14.0	15.2	14.8	15.0	16.1	19.3	21.4	16.0	20.6	22.1	19.9	16.3	16.0	16.6	21.1	15.9
	mín.	23.7	13.8	24.9	19.9	15.7	13.5	14.2	13.0	13.2	14.7	13.8	14.7	14.7	14.7	15.0	18.9	20.7	15.4	19.8	20.8	18.7	15.4	14.5	14.3	19.0	15.7
	máx.	25.3	14.9	26.0	21.3	17.2	14.8	16.8	13.6	14.1	15.6	14.2	15.6	15.1	15.4	17.1	20.0	21.9	16.4	21.4	23.1	22.9	18.1	17.9	18.5	23.0	16.0
	DS	0.7	0.4	0.4	0.6	0.6	0.5	1.1	0.3	0.5	0.4	0.2	0.4	0.2	0.3	0.8	0.4	0.5	0.5	0.7	1.0	2.0	1.0	1.3	1.8	1.7	0.1
ALC (cm)	CV	2.8	2.9	1.6	2.7	3.6	3.6	6.9	2.0	3.3	2.5	1.2	2.4	1.3	2.1	5.3	2.1	2.2	3.0	3.6	4.7	10.0	6.3	8.3	11.1	8.3	0.9
	Prom	4.3	4.3	4.8	3.0	3.6	3.4	3.5	4.6	4.9	4.1	3.4	3.9	3.9	4.2	5.4	2.4	5.3	4.6	6.3	3.1	3.3	5.2	5.6	5.0	6.4	3.9
	mín.	3.8	4.2	4.4	2.8	3.2	2.9	2.8	4.5	4.6	3.6	2.7	3.3	3.5	3.4	4.9	2.0	5.0	4.3	6.1	3.0	3.0	5.0	4.9	3.7	5.7	3.3
	máx.	4.6	4.5	5.5	3.2	4.0	4.0	4.0	5.0	5.2	4.4	4.2	4.5	4.1	4.6	6.0	3.1	5.6	4.9	6.6	3.3	3.5	5.3	7.0	6.0	7.0	4.2
LP (cm)	DS	0.4	0.1	0.4	0.2	0.4	0.5	0.5	0.2	0.3	0.7	0.5	0.3	0.5	0.3	0.4	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.2	0.1	0.8	0.8	0.5	0.4
	CV	9.0	2.6	8.4	5.0	10.3	13.6	13.5	4.7	4.9	8.5	19.7	12.1	6.9	11.0	8.8	17.5	4.1	4.7	3.5	4.3	6.4	2.5	14.8	16.5	7.4	10.1
	Prom	27.3	14.7	27.2	14.7	15.5	17.2	17.8	16.8	16.2	15.6	16.6	16.0	19.2	23.5	24.3	21.0	23.4	21.0	23.4	20.7	20.1	20.5	21.7	22.5	26.2	17.5
	mín.	25.8	14.2	26.3	21.7	14.2	14.9	15.4	15.2	15.7	15.3	14.7	16.3	16.3	15.3	18.3	23.0	23.6	20.1	22.9	18.0	18.5	15.1	18.4	18.4	24.1	16.9
DC (cm)	máx.	29.2	17.4	28.3	23.7	15.3	16.2	18.5	20.0	18.5	16.8	16.0	17.2	17.2	16.9	20.3	24.1	24.7	21.9	23.9	23.3	22.4	25.6	28.7	24.5	30.0	18.0
	DS	1.3	1.3	0.7	0.8	0.4	0.6	1.2	2.0	1.1	0.6	0.4	0.6	0.4	0.6	0.8	0.4	0.8	0.5	2.1	1.8	4.4	4.1	2.5	2.3	0.5	
	CV	4.6	8.3	2.7	3.3	3.0	4.0	6.7	11.2	6.3	4.0	3.8	2.1	2.6	3.9	4.2	1.8	3.6	2.1	10.4	9.0	21.5	18.7	11.0	8.7	3.1	
	Prom	24.7	24.2	12.0	9.1	7.9	19.7	8.7	8.3	8.0	11.4	9.2	8.3	5.7	12.1	7.8	7.9	8.5	9.6	8.6	6.2	6.0	4.9	5.0	4.7	4.4	7.8
DT (cm)	mín.	23.6	8.0	8.0	7.0	8.5	5.5	6.0	6.0	5.0	8.0	7.5	5.0	10.0	6.0	7.0	7.5	5.4	8.0	5.4	5.4	4.3	4.8	3.8	3.9	6.4	
	máx.	25.8	27.2	28.1	11.0	10.0	29.0	11.0	10.5	10.0	23.7	11.3	9.6	7.0	13.0	9.0	10.0	11.4	9.6	7.5	6.5	5.8	5.3	5.5	4.8	9.7	
	DS	0.8	9.2	9.9	1.2	1.2	9.5	2.3	1.8	1.8	8.3	1.6	0.8	0.9	1.3	1.4	0.9	1.0	2.5	0.7	1.0	0.5	0.6	0.2	0.8	0.3	
	CV	3.4	48.4	57.7	13.7	15.8	48.3	26.8	22.4	22.1	73.0	17.0	9.8	16.6	10.4	18.5	11.8	25.9	8.7	15.7	24.7	3.6	2.2	2.0	2.7	4.0	2.7
ATP (cm)	Prom	260.7	286.4	335.0	410.6	356.4	279.6	382.2	330.3	270.0	310.3	398.3	321.8	264.6	278.8	310.0	302.8	331.0	372.0	339.8	292.8	319.3	309.6	295.0	322.2	275.8	372.3
	mín.	242.0	243.0	280.0	395.0	325.0	245.0	351.0	272.0	217.0	270.0	300.0	270.0	210.0	245.0	260.0	228.0	300.0	360.0	310.0	248.0	292.0	272.0	283.0	306.0	200.0	325.0
	máx.	293.0	362.0	410.0	435.0	382.0	333.0	415.0	394.0	335.0	348.0	470.0	387.0	300.0	300.0	350.0	356.0	370.0	395.0	383.0	356.0	385.0	356.0	321.0	341.0	359.0	410.0
	DS	20.4	49.9	53.6	18.1	27.2	41.5	25.3	53.2	46.4	39.4	72.7	52.8	34.0	22.7	40.6	48.8	29.1	16.1	27.3	50.6	31.8	32.8	15.3	13.8	57.5	39.8
APR (cm)	CV	7.8	17.4	16.0	4.4	7.6	14.8	6.6	16.1	17.2	12.7	18.2	16.4	12.8	8.1	13.1	16.1	8.8	4.3	8.0	17.3	10.0	10.6	5.2	4.3	20.8	10.7
	Prom	161.1	286.4	207.5	293.2	219.0	101.7	193.2	139.0	120.8	107.2	171.0	161.4	166.0	152.4	195.4	193.2	121.0	101.4	93.6	110.0	85.0	132.0	96.0	114.0	108.0	183.3
	mín.	128.3	243.0	167.0	205.0	167.0	30.0	150.0	35.0	20.0	20.0	60.0	0.0	0.0	129.0	147.0	133.0	38.0	30.0	33.0	90.0	70.0	120.0	80.0	80.0	80.0	170.0
	máx.	207.0	362.0	287.0	387.0	261.0	205.0	230.0	200.0	148.0	176.0	247.0	272.0	300.0	187.0	262.0	210.0	197.0	238.0	189.0	130.0	90.0	150.0	120.0	140.0	130.0	193.0
Bolsa rurno	DS	32.8	49.9	46.4	82.0	36.5	66.8	29.0	72.4	52.5	64.6	79.5	129.5	107.8	24.1	46.3	14.4	72.4	90.5	75.5	18.3	10.0	13.0	18.2	27.0	21.7	10.4
	CV	20.4	17.4	22.4	28.0	16.7	65.7	15.0	52.1	43.5	60.3	46.5	80.2	64.9	15.8	23.7	7.4	59.8	89.3	80.6	16.6	11.8	9.9	18.9	23.7	20.1	5.7

Abreviaciones: LLC = Longitud del lóbulo central; ALC = Ancho del lóbulo central; LP = Largo del peciolo; DC = Distancia entre las cicatrices; DT = Diámetro del tallo; ATP = Altura total de la planta; APR = Altura de la primera ramificación. Etnovarietades: SR = Señorita, PI = Pirrica, CR = Concha rurno, SG = Señorita gigante, AM = "yuca" amarilla, CO = Cogollo morado, PL = Paloma rurno, TJ = Tijerilla, SA = Sarayacu, VI = Vidrillo, ZO = Cola de zorro, PS = Pinsha rurno, TG = Tigre, PB = Pirrica del bajo, UN = Ungurahui, PU = Pucalpina, AR = Arahua, WA = Wesahi rurno, PN = Palo negro, BL = "yuca" blanca, AP = Arpón rurno, BO = Bolsa rurno, TR = Tres mesina, LC = Lacre rurno, TM = Tijerilla morada, PA = Pirrica del alto.

Datos moleculares

La estimación del número y la frecuencia de alelos por locus, así como el polimorfismo de los alelos, fueron calculadas con la ayuda del software GenAlex versión 6.0 (Peakall & Smouse, 2005). La distancia genética de Nei (1972) entre las etnovariedades comerciales (aquellas que presentaron la misma denominación en por lo menos tres comunidades; “piririca”, “yuca amarilla”, “cogollo morado” y “señorita”); fue estimada con la ayuda del software Genetix versión 4.05 (Belkhir *et al.*, 2004). Las relaciones genéticas entre las 26 etnovariedades, así como entre las cuatro comerciales (señorita, cogollo morado, piririca y amarilla) fueron determinadas utilizando el software PHYLIP versión 3.5 (Felsenstein, 1993). Las etnovariedades de cada comunidad fueron tratadas como unidades taxonómicas operacionales (OTUs) y el soporte estadístico para los nudos correspondió a los valores de bootstrap obtenidos con 1000 réplicas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis morfológico

Se logró caracterizar morfológicamente un total de 26 etnovariedades de yuca para las seis localidades estudiadas (Tabla 1), ocho de estas etnovariedades estuvieron presentes en más de una comunidad (“señorita”, “piririca”, “yuca amarilla”, “cogollo morado”, “palo negro”, “paloma rumo”, “arahuana rumo” y “ungurahui rumo”). En la zona de estudio se han reportado 38 variedades locales de yuca; los resultados confirman la continua disminución y pérdida de etnovariedades reportadas para esta zona, desde el año 1984 a la actualidad (Inga & Parodi 2001; Gonzales, 2002). Esta pérdida de etnovariedades podría estar relacionada a la inviabilidad de estacas de las diferentes etnovariedades como consecuencia de las crecientes excepcionales del río Ucayali en este periodo de tiempo, especialmente el año 2012. Así como, por el desplazamiento o pérdida de algunas etnovariedades por selección y masificación del cultivo de otras etnovariedades con características específicas deseadas (color de pulpa, calidad de productos derivados, etc.) para el comercio en los distintos mercados de consumo.

Variables Cualitativas

Los caracteres cualitativos evaluados fueron muy variables entre las etnovariedades, siendo que los más variables fueron: la coloración de los brotes, el color de los peciolo y el color de la Corteza

interna y externa de las raíces. Sin embargo caracteres como: el número de lóbulos por hoja y el hábito de crecimiento de los tallos no presentaron ninguna variación entre las etnovariedades evaluadas (Tabla 2). Los resultados demuestran que a pesar de haberse encontrado una sobreposición parcial de caracteres (colores y formas) entre algunas etnovariedades, todas ellas se diferenciaron en al menos un carácter, demostrando que las 26 etnovariedades evaluadas son válidas. Numerosos estudios sugieren que algunos descriptores como el color de la hoja apical, la forma del lóbulo central, número de lóbulos por hoja, color del peciolo, color del tallo, color de la corteza del tallo, color de la corteza de la raíz y color de la pulpa de la raíz presentan baja influencia ambiental, por lo que son características sinópticas importantes para la identificación y diferenciación de variedades de yuca *Manihot esculenta* (Peroni *et al.*, 1999; Lobo, 2004; Acosta *et al.*, 2006).

Variables cuantitativas

La caracterización morfométrica (Tabla 3), mostró que los descriptores con mayor plasticidad (variación) fueron la altura de la primera ramificación (APR) y la distancia entre las cicatrices de las hojas (DC) con Coeficientes de variación (CV) de 89.3 y 73.00 respectivamente; mientras que los descriptores más estables (menos variables) fueron la longitud del lóbulo central (LLP) y el largo del peciolo (LP) con CV de 0.9 y 1.8 respectivamente.

Análisis molecular

Las etnovariedades de *Manihot esculenta* evaluadas en este estudio presentaron una alta variabilidad genética en todos los microsátélites evaluados. Fueron encontrados un total de 47 alelos en las 12 *loci* microsátélites evaluadas (tabla 4). La mayor diversidad alélica fue encontrada en el *locus* Ga-126 (9 alelos), y la más baja en los *loci* Ga-5, Ga-134 y Ga-12 (2 alelos cada uno), con un promedio de 3.75 alelos por *locus*. Los pesos de los alelos variaron entre los 93 pb y 319 pb. La heterosigocidad observada fue mayor que la heterosigocidad esperada (media $H_o = 0.599$ y media $H_e = 0.407$). Este elevado polimorfismo puede deberse a que *Manihot esculenta* a pesar de tener una reproducción asexual por estacas, también podría estar combinada con ciclos de reproducción sexual, permitiendo la recombinación de la variación actual y como tal la generación de nuevas formas o combinaciones.

Tabla 4. Número de alelos y heterocigocidad observada y esperada para cada *locus* de *Manihot esculenta* Cratnz.

	Alelos por locus	H _o	H _e
GA-5	2	0.616	0.383
GA-136	3	0.728	0.451
GA-126	9	0.877	0.613
GA-21	3	0.506	0.354
SSRY20	4	0.694	0.500
GA-134	2	0.475	0.313
GA-131	5	0.780	0.521
GA-140	4	0.418	0.297
SSRY4	6	0.680	0.522
GA-12	2	0.025	0.020
SSRY21	3	0.555	0.361
SSRY9	4	0.829	0.550
Promedio	47	0.599	0.407
Desviación estándar	-	0.230	0.158

Es decir, la variabilidad a nivel de chacras no es estática y con el paso del tiempo hay genotipos que desaparecen y otros que se incorporan al sistema de producción del agricultor (Iglesias & Hernández, 1994; Alzate *et al.*, 2009). Esto podría ser una posible explicación al gran número de etnovariedades encontradas en un área geográfica restringida como la estudiada.

Relación genética entre las etnovariedades

Los valores de distancia genética (Nei, 1972) mostraron que las etnovariedades más cercanas fueron “yuca amarilla” y “tigre” (0.01), seguida de “tres mesina” y “señorita gigante” (0.03); mientras que las más distantes fueron “sarayacu y tijerilla” (0.99).

Esto fue confirmado por los resultados de relacionamiento genético (análisis de Neighbor Joining) que demuestra que las 26 etnovariedades están conformando cinco grupos genéticos bien definidos (Figura 2). El grupo 1 está formado por tres subgrupos (subgrupo 1=TM, TJ, LC, AP, WA; subgrupo 2= BO, PA, CO y subgrupo 3= ZO, CR); mientras que el grupo cuatro está formado por dos subgrupos (subgrupo 1 = PU, BL, PN y subgrupo 2= UN, SA, TG, AM); en tanto que los grupos 3, 2 y 5 no estaban subdivididos. Cuando analizamos estas

etnovariedades tanto desde el punto de vista de los caracteres morfológicos, como de los genéticos, encontramos que no existe un 100% de correspondencia entre estos dos grupos de variables, demostrándose que etnovariedades genéticamente cercanas, no siempre son las más semejantes desde el punto de vista morfológico. Esto podría deberse a que la caracterización mediante descriptores morfológicos (cuantitativos y cualitativos) no siempre refleja la variación real, debido a que el fenotipo está determinado parcialmente por la información genética del individuo, e influenciado por el ambiente donde se desarrolla (Valadez *et al.*, 2001; Vaz *et al.*, 2004).

El análisis de las cuatro etnovariedades comerciales en las seis localidades de la cuenca baja del Ucayali mostró que individuos reconocidos por los agricultores como etnovariedades diferentes, presentaron el mismo genotipo (2 individuos de “señorita” provenientes de la localidad de San José de Paranapura con cuatro individuos de “cogollo morado” de la localidad de Chingana). Esto puede tener dos interpretaciones: i) que la similitud fenotípica no es necesariamente producto de la similitud genotípica, siendo así que diferentes pool de genes pueden generar fenotipos similares (Demey *et al.*, 2003), como fue registrado entre variedades de maíz *Zea mays* (Ben-Har *et al.*, 1995) y *Musa sp.* (Ortiz, 1997; Crouch, 2000). O en su defecto, ii) que el agricultor haya confundido las etnovariedades en el momento de sembrar, ya que no siempre es posible la diferenciación de especies basada solamente en características morfológicas (Nye, 1991), más aun entre variedades dentro de una misma especie, donde existe un gran porcentaje de caracteres morfológicos sobrepuestos y plasticidad morfológica.

La presencia de dos genotipos compartidos entre un buen número de individuos dentro de las etnovariedades comerciales “piririca” y “señorita” provenientes de diferentes comunidades, muestra que las etnovariedades dentro de cada chacra y cada localidad, están sujetas a la acción de varias fuerzas evolutivas, como la selección artificial realizada por los agricultores locales, el cruzamiento entre diferentes etnovariedades y la migración de genotipos de un lugar a otro, que se produce debido al constante intercambio de material de siembra (estacas) entre los pobladores, sin una aparente relación con la distancia geográfica de las comunidades, esto ya fue observado en otros países en este tipo de cultivo (Fregene *et al.*, 2001; Pujol, 2005; Sardos *et al.*; 2008).

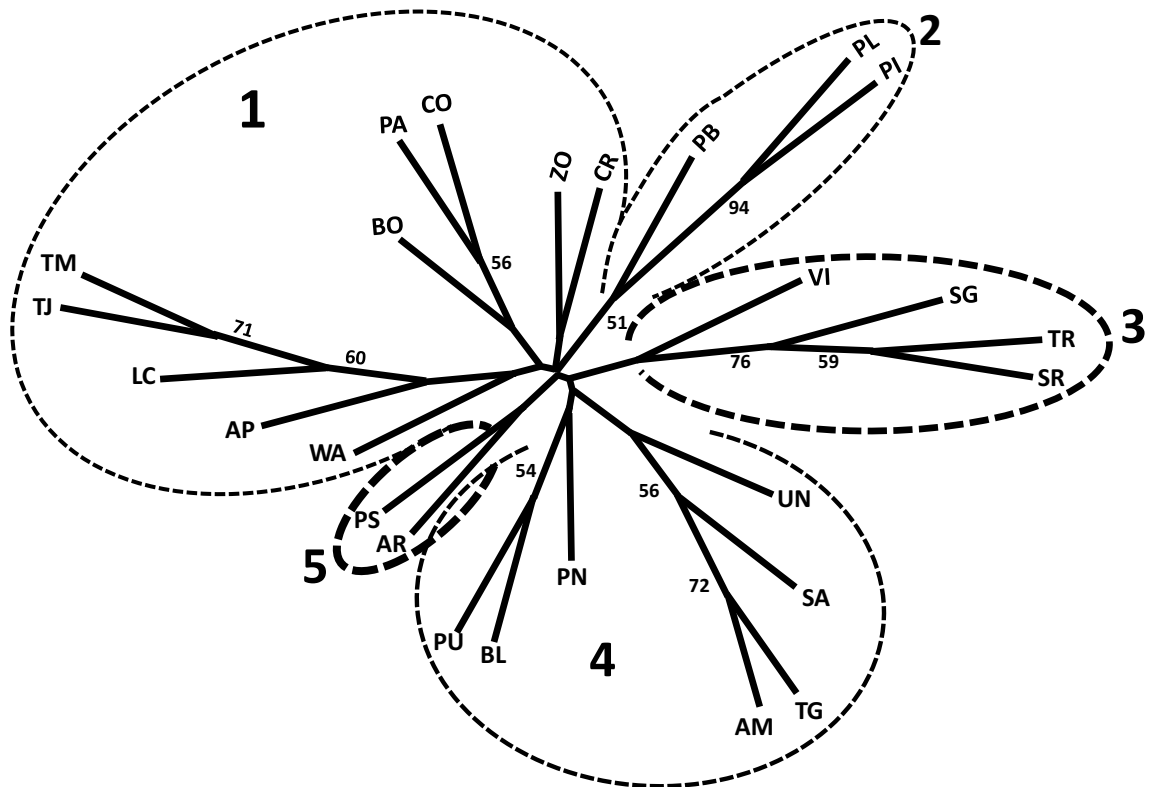


Figura 2. Etnovarietades de *Manihot esculenta*, Cratnz proveniente de seis comunidades de la cuenca baja del río Ucayali. Abreviaciones: SR= “señorita”, PI= “Piririca”, CR= “concha rumo”, SG= “señorita gigante”, AM= “yuca amarilla”, CO= “cogollo morado”, PL= “paloma rumo”, TJ= “tijerilla”, SA= “sarayacu”, VI= “vidrillo”, ZO= “cola de zorro”, PS= “pinsha rumo”, TG= “tigre”, PB= “piririca del bajo”, UN= “ungurahui”, PU= “pucallpina”, AR= “Arahua rumo”, WA= “wasahi rumo”, PN= “palo negro”, BL= “yuca blanca”, AP= “arpón rumo”, BO= “bolsa rumo”, TR= “tres mesina”, LC= “lacre rumo”, TM= “tijerilla morada”, PA= “piririca del alto”.

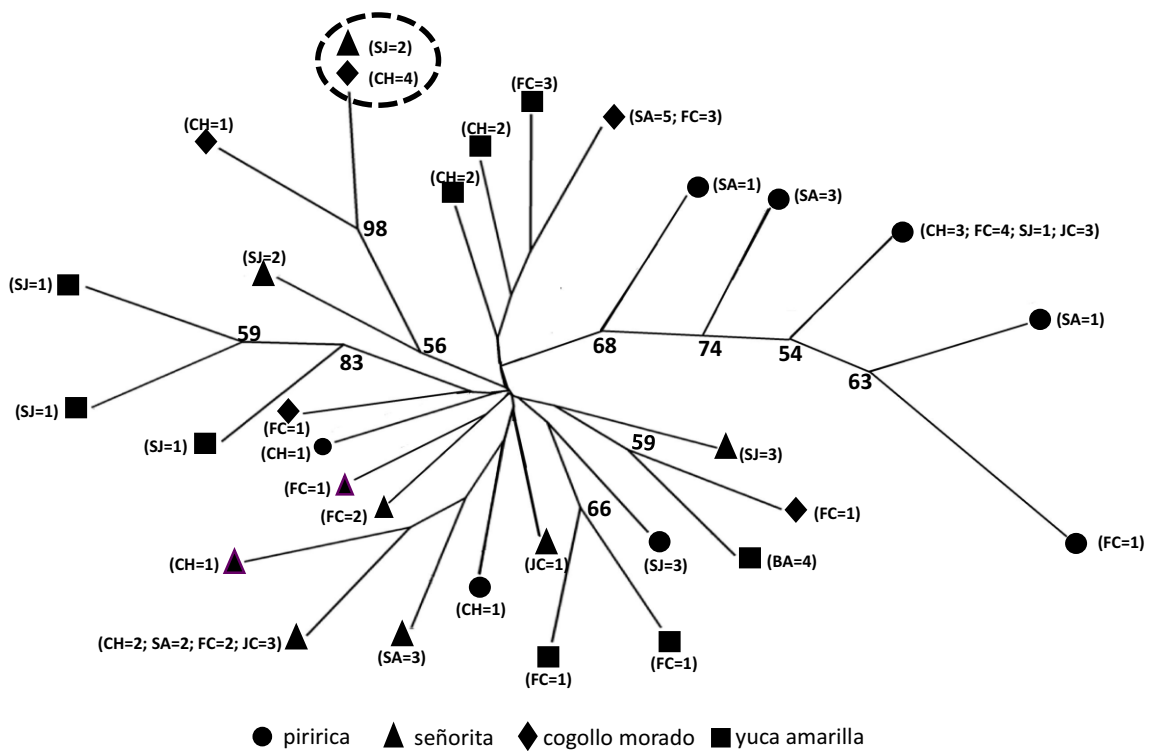


Figura 2. Dendrograma mostrando los resultados del análisis Neighbor Joining para las 4 etnovariedades comerciales de la baja del río Ucayali. Abreviaciones: Localidades: CH = Chingana, FC = Flor de Castaña, SA = Sapuena, SJ = San José, BA = Bagazán.

BIBLIOGRAFÍA CITADA

- Acosta, R.A.; Tamayo, A.C.; Palacios, R. 2006. Caracterización morfológica y extracción de ADN de 11 clones de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) en la universidad EARTH, Costa Rica. *Tierra Tropical*, 2 (1): 67-75.
- Alzate, G.; Vallejo, C.; Ceballos, L.H.; Pérez, J.C.; Fregene, M. 2009. Variabilidad genética de la “yuca” cultivada por pequeños agricultores de la región Caribe de Colombia. *Acta Agronómica*, 59(4): 385-393.
- Belkhir, K.; Borsa, P.; Chichi, I.; Raufast, N.; Bonhomme, F. 2004. GENETIX 4.05.2, logiciel sous windows TM pour la génétique des populations. Laboratoire génome, populations, interactions, CNRS UMR 5000, Université de Montpellier II, Montpellier, France.
- Ben-Har, A.; Charcosset, A.; Bourgoïn, M.; Guiard, J. 1995. Relationships between genetic markers and morphological traits in a maize inbred lines collection. *Euphytica*, 84:145-154.
- Boster, J.S. 1983. A comparison of the diversity of Jivaroan gardens with that of the tropical forest. *Human Ecology*. 11: 47–68.
- Bravo, C. 2009. Caracterización morfológica y molecular de accesiones de maíz negro (*Zea mays L.*) mediante Análisis de Secuencias Simples Repetidas. Tesis de pre-grado. Universidad san francisco de Quito. 61pp.
- Chavarriaga-Aguirre, P.; Maya, M.M.; Bonierbale, M.W.; Kresovich, S.; Fregene, M.A.; Tohme, J.; Kochert, G. 1998. Microsatellites in cassava (*Manihot esculenta* Crantz): Discovery, inheritance and variability. *Theor Appl Genet.*, 97:493-501.
- Crouch, H.; Crouch, J.; Madsen, S.; Vuylsteke, D.; Ortiz, R. 2000. Comparative analysis of phenotypic and genotypic diversity among plantain landraces (*Musa spp.*, AAB group). *Theor. Appl. Genet.*, 101: 1056-1065.
- Demey, J.R.; Zambrano, A.Y.; Fuenmayor, F.; Segovia V. 2003. Relación entre caracterizaciones molecular y morfológica en una colección de “yuca”. Venezuela. INCI. 28(12): 684-689
- Doyle, J.J.; Doyle, J.L. 1987. Isolation of plant DNA from fresh tissue. *Focus*, 12: 13-15.
- Elias, M.; Mckey, D. 2000. The unmanaged reproductive ecology of domesticated plants in traditional agroecosystems: an example involving cassava and a call for data. *Acta Oecol.*, 21: 223–230.
- Empereire, L.; Pinton, F. 1998. Second, g. gestion dynamique de la diversité variétale du manioc en Amazonie du nord-ouest. *Natures Sciences Sociétés*, 6(2):27-42.
- Felsenstein, J. 1993. Phylogeny Inference Package (PHYLIP). Version 3.5. University of Washington, Seattle. Washington. 132pp.
- Fregene, M.; Roca, W.; Okogbenin, E.; Akano, A.; MBA, C.; Chavarriaga, A. 2001. Cassava's potencial in Asia in the 21st century present situation and future research and development needs. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) and Institute of Agricultural Sciences of South Vietnam (IAS). Cali, Colombia. 150 pp.
- Fukuda, W.M.G.; Guevara, C.L. 1998. Descriptores morfológicos e Agronómicos para a caracterização de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz). Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), Bahia, BA. 38pp.
- Hershey, C.H. 1994. *Manihot* genetic diversity In: Internacional network for cassava genetic resources. Internacional Crop Network Series (IPGRI), Rome, v.10. p. 111-134.
- 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. 151–157pp.
- Inga Sánchez H.; López Parodi J. 2001. Diversidad de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) en Jenaro Herrera, Loreto - Perú. Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana. Documento Técnico N° 28.
- Lobo, R. 2004. Caracterización de yuca (*Manihot esculenta* Crantz). En: Palma, R. Conservación *in situ* de cultivos nativos y parientes silvestres. Chosica, PE. Seminario taller. p. 136-169.
- Mba, R.E.C.; Stephenson, P.; Edwards, K.; Melzer, S.; Nkumbira, J.; Gullberg, U.; *et al.* 2001. Simple sequence repeat (SSR) markers survey of the cassava (*Manihot esculenta* Crantz) genome: towards an SSR-based molecular genetic map of cassava. *Theor. Appl. Genet.*, 102: 21–31.
- Mkumbira, J.; Chiwona-Karltun, L.; Langercrantz, U.; Mahungu, N.; Saka, J.; Mhone, A.; Bokanga, M.; Brimer, L.; Gullberg, U.; Rosling, H. 2003. Classification of cassava into 'bitter' and 'cool' in Malawi: from farmers' perception to characterisation by molecular markers. *Euphytica*, 132:7-22.

- Mühlen, G.S.; Martins, P.S.; Ando, A. 2000. Variabilidade genética de etnovariedades de mandioca, avaliada por marcadores de DNA. *Sci Agric.*, 57:319-328.
- Nei M. 1972. Genetic Distance between Populations. *American Naturalist.*, 106: 283-292.
- Nye, M.M. 1991. Mis-measure of manioc (*Manihot esculenta*, Euphorbiaceae). *Economic Botany*, 45:47-57.
- Ortiz, R. 1997. Morphological variation in Musa germplasm. *Genet. Res. Crop. Evol.*, 44: 393-404
- Peakall, R.; Smouse, P.E.; 2006. GENALEX 6: Genetic analysis in excel. Population genetic software for teaching and research. *Molecular ecology Notes*, 6:288-295.
- Peroni, N.; Martins, P.S.; Ando, A. 1999. Diversidade inter e intra-específica e uso de análise multivariada para morfologia da mandioca (*Manihot esculenta* Crantz): um estudo de caso. *Scientia Agricola*, 56(3): 587-595.
- Peroni, N.; Martins, P.S. 2000. Influência da dinâmica agrícola itinerante na geração de diversidade de etnovariedades cultivadas vegetativamente. *Interciencia*, 25(1): 22-29.
- Pujol B.; Gigot, G.; Laurent, G.; Pinheiro-Kluppel, M.; Elias, M.; Mckey, H.M.; Mckey, D. 2005. Germination ecology of cassava (*Manihot esculenta* Crantz, Euphorbiaceae) in traditional agroecosystems: Seed and seedling biology of a vegetatively propagated domesticated plant. *Econ. Bot.*, 56: 366-379.
- Sardos, J.; Mackey, E.; Duval, M.F.; Malapa, R.; Noyer, J.L.; Lebot, V. 2008. Evolution of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) after recent introduction into a South Pacific Island system: the contribution of sex to the diversification of a clonally propagated crop. *Genome*, 51: 912–921.
- Valadez-Moctezuma, E.; Kahl, G.; Ramser, J.; Hüttel, B.; Rublío-Islas, A. 2001. Técnicas moleculares para la caracterización de genomas vegetales (Garbanzo) y algunas aplicaciones potenciales. *Fitotec. Mex.*, 24(1): 103-120.
- Vaz, M.; Satovic, Z.; Pego, S.; Fevereiro, P. 2004. Assessing the genetic diversity of Portuguese maize germplasm using microsatellite markers. *Euphytica*, 137: 63-72.

Recibido: 05 de marzo del 2015

Aceptado para publicación: 23 mayo del 2015