

Clasificación Morfológica de 23 Cultivares de *Manihot esculenta* Crantz. del Subtrópico Húmedo Boliviano¹

J. Lennis*, A. Alvarado**, R. Vera***

ABSTRACT

Twenty three cassava accessions were collected from the humid subtropical lowlands of Bolivia. The material was planted at La Jota Experimental Station where 33 properties from leaves, stems and roots were measured. After codification using the IBPGR's system, a matrix was created and statistically analyzed using the multivariate statistics package developed by Kovack. The accessions were grouped using Manhattan, Euclidean, and Pearson distance coefficients, correlation coefficients, and main components techniques to form 12 different entries. These are kept at the experimental stations of the Bolivian Institute for Agricultural Technology. Similar cassava entries were always grouped together independently of the technique employed.

COMPENDIO

Se recolectaron 23 cultivares de *Manihot esculenta* en el subtrópico húmedo boliviano. El material fue plantado en la Estación Experimental La Jota donde se evaluaron 33 características de las hojas, tallos y raíces de yuca. Después de su codificación, según el sistema del *International Board for Plant Genetic Resources* (IBPGR), se creó una matriz y se analizó con el paquete de estadística multivariado, desarrollado por Kovack. Los cultivares se agruparon según los coeficientes de distancia, los coeficientes de similitud y las técnicas de componentes principales de Manhattan, Euclidean y Pearson hasta formar 12 entradas diferentes, conservadas en las estaciones experimentales del Instituto Boliviano de Tecnología Agropecuaria (IBTA). Siempre se agruparon las entradas similares de yuca, independientemente de la técnica usada.

INTRODUCCION

Las características botánicas de la yuca (*Manihot esculenta* Crantz.) son muy variables, lo que indica un alto grado de hibridación intraespecífica; por lo tanto, existen numerosos cultivares de esta especie que se diferencian en sus caracteres morfológicos (3, 9).

La región del Chaparé cuenta con una amplia variabilidad clonal de yuca, la cual se identifica con una nomenclatura local adoptada por los agricultores. De esta manera, un mismo cultivar se denomina con varios nombres, o un mismo nombre es designado a cultivares diferentes, lo que complica y confunde la utilización del germoplasma. Este material requiere ser recolectado para estudios de caracterización, clasificación e identificación.

Las principales propuestas de descriptores para el estudio de las características y distinción de los cultivares de yuca provienen del *International Board for Plant Genetic Resources* (IBPGR) (5) y del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) (1), que establecen las normas

¹ Recibido para publicación el 24 de enero de 1990.
Parte de la tesis en agronomía del primer autor, presentada a la Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias de la Universidad Mayor de San Simón, Bolivia.

* Técnico en investigación de raíces y tubérculos tropicales.
** Asesor del Proyecto Instituto Boliviano de Tecnología Agropecuaria (IBTA)/Chaparé.
*** Técnico del Programa de Desarrollo Alternativo de Cochabamba.

internacionales para la codificación de los estados del carácter para cada órgano de la planta.

Los coeficientes de similitud de Manhattan, Euclideano y Pearson y los componentes principales en el análisis de agrupamiento de la taxonomía numérica, han demostrado ser eficientes en la formación de grupos de las unidades taxonómicas asociadas por su grado de similitud y sus relaciones en función de los caracteres empleados (2, 11).

El presente trabajo se realizó con los objetivos de caracterizar y clasificar los cultivares de yuca recolectados en el subtrópico húmedo boliviano, y de evaluar e identificar los cultivares de mayor rendimiento.

MATERIALES Y METODOS

El estudio se llevó a cabo en la Estación Experimental La Jota, Chimore, a 16°57' de latitud Sur y 65°10' de longitud Oeste, con una altura de 225 metros sobre el nivel del mar. La zona ecológica corresponde al bosque subtropical muy húmedo (12). De acuerdo con los datos de 1960-1979, la temperatura media es de 24.5°C y la precipitación media anual es de 3317 milímetros.

En el Cuadro 1 se presentan los datos del número de entradas, el nombre local dado al germoplasma por los agricultores y el nombre del lugar de donde se recolectó el material vegetal (estacas), entre las latitudes 16°42' y 16°58' Sur y las longitudes 65°02' y 65°48' Oeste.

El material recolectado se sembró en un terreno con varios años de uso, en suelos de baja fertilidad (Cuadro 2). Las entradas se implantaron en parcelas distribuidas mediante el diseño estadístico de bloques completos al azar, con 23 tratamientos y cuatro repeticiones. La superficie de la unidad experimental fue de 25 m² (5 m x 5 m) y el área de la parcela efectiva fue de nueve metros cuadrados.

Durante el desarrollo del cultivo se realizaron carpidas manuales a los 35 d, 60 d y 92 d después de la siembra, y se aplicó el fertilizante 15-15-15 a razón de 150 kg/ha en la segunda etapa de la carpida.

Cuadro 1. Datos de entrada de 23 muestras de yuca de consumo humano recolectadas en el Chapare de áreas cultivadas.

No. de muestra	Nombre local	Localidad
1	Blanca	Santa Rosa (Chipiriri)
2	Suelakhara	Santa Rosa (Chipiriri)
3	Porvenir	Jatun Pampa
4	Amarilla	Bomborasama
5	Rosada	Bomborasama
6	Amarilla	Bomborasama
7	Blanca noventon	Bomborasama
8	Bobore	Bomborasama
9	Suelakhara grande	Eteramasama
10	Suelakhara chica	Eteramasama
11	Yuracare	Eteramasama
12	Blanca	Eteramasama
13	Blanquita	Villa General Roman
14	Amarilla	Villa General Roman
15	Blanca	Senda B (Chimore)
16	Quinsaquillero	Senda B (Chimore)
17	Noventon	Cesarsama
18	Tuna rosada	Cesarsama
19	Chaparral	Ivirgarsama
20	Blanca	Ivirgarsama
21	Tankhara	Jatun Pampa
22	Blanca	Jatun Pampa
23	Criolla	Jatun Pampa

Se caracterizó cada entrada en la colección, empleando 33 descriptores del IBPGR (5), entre ellos:

- . Vigor inicial de la planta.
- . Color y pubescencia del brote de la planta.
- . Color de las hojas, de las nervaduras y del pecíolo.
- . Forma de la hoja y número de lóbulos por hoja.
- . Longitud y distribución de pigmentación del pecíolo.
- . Longitud y ancho de las hojas.
- . Color y protuberancia del tallo.
- . Tiempo de aparición y altura de la primera ramificación.
- . Peso de tallos y hojas.

Cuadro 2. Características físico-químicas del suelo del área experimental.

Características	Profundidad (cm)	
	0-20	20-40
pH	4.5	4.5
Fósforo Bray-1 (pmm)	15.0	14.0
Materia orgánica (%)	4.8	2.4
Calcio (me/100 g)	1.0	1.0
Magnesio (me/100 g)	1.0	0.5
Sodio (me/100 g)	0.3	0.3
Potasio (me/100 g)	0.2	0.1
Total bases intercambiable	2.4	2.1
C.I.C. (me/100 g)	14.0	10.8
Saturación bases (%)	17.2	19.5
Al intercambiable (me/100 g)	2.9	3.80
Acidez intercambiable (me/100g)	3.1	3.9
Arcilla (%)	36.0	36.0
Arena (%)	26.0	22.0
Limo (%)	38.0	42.0

RESULTADOS Y DISCUSION

Análisis de agrupamiento

En las figuras 1, 2 y 3 se presentan los fenogramas que muestran las relaciones de similitud de las 23 entradas de yuca en función de los 33 caracteres empleados, obtenidos con los coeficientes de similitud de Manhattan, Euclideo y Pearson, respectivamente.

a) Método de Manhattan

El fenograma obtenido por este método, a un bajo nivel de similitud (inferior de 41.0), diferencia dos grandes grupos varietales de yuca, y los caracteres discriminantes son el color del tallo (8 - 10 meses) y el periderma de la raíz (Fig. 1). Cada uno de los grupos a niveles de similitud inferiores de 33.0 y 39.1, respectivamente, se divide en dos subgrupos, y el carácter discriminante es el color de las nervaduras de la hoja. A nivel de similitud, los subgrupos se dividen en siete conjuntos conformados por las entradas: 15, 16 y 17; 1 y 13; 5, 7 y 12; 3 y 21; 4 y 6; 2, 9 y 10; y 8, 18 y 19, y en cinco conjuntos individuales disímiles que corresponden a las entradas: 11, 14, 20, 22 y 23.

A este nivel de similitud, la entrada 11 es disímil del conjunto: 3 y 21, y los caracteres discriminantes son el color del brote de la planta, de las

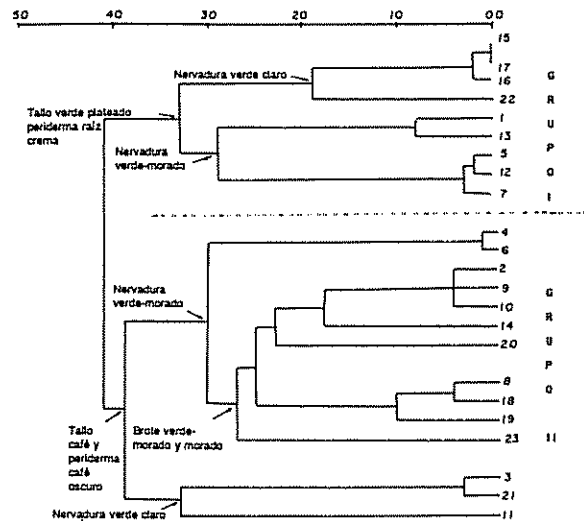


Fig. 1. Fenograma de las 23 OTU de yuca estudiadas, obtenido con base en la matriz de similitud de Manhattan.

hojas, del pecíolo y del tallo (Cuadro 3). Las entradas 14 y 20 son disímiles entre sí del conjunto: 2, 9 y 10, y los caracteres discriminantes son el color y la forma de las hojas, el color del tallo (8 - 10 meses), del periderma y de la pulpa de la raíz. La entrada 22 es disímil del conjunto: 15, 16 y 17 y los caracteres discriminantes son el color del brote de la planta y la forma de las hojas. La entrada 23 es disímil del conjunto: 8, 18 y 19, y el carácter discriminante es la forma de las hojas.

b) Método Euclideo

De acuerdo con el fenograma generado por este método, a un nivel de similitud inferior de 11.8, la entrada 11 es disímil de los dos grupos originados a un nivel de similitud inferior de 10.5, y el carácter discriminante es el color del pecíolo (Fig. 2). El primer grupo, a un nivel de similitud inferior de 10.3, diferencia dos subgrupos y el carácter discriminante es la forma de las hojas.

A nivel de similitud de 4.4, próximo al valor de la máxima similitud, se separan siete conjuntos conformados por las entradas: 15, 16 y 17; 1 y 13; 5, 7 y 12; 3 y 21; 4 y 6; 2, 9 y 10; y 8, 18, 19, y cinco conjuntos individuales disímiles correspondientes a las entradas: 11, 14, 20, 22 y 23.

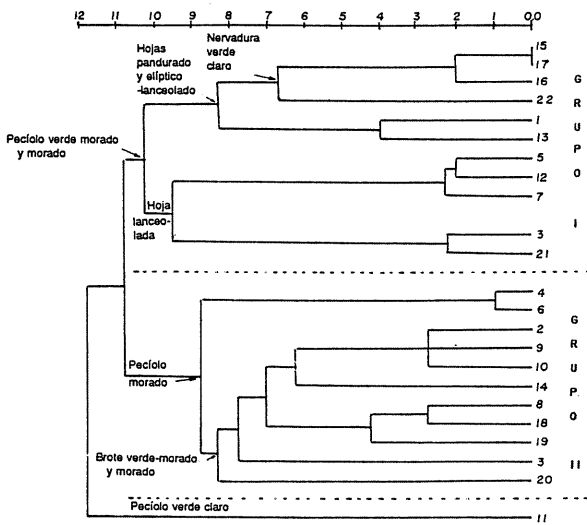


Fig. 2. Fenograma de las 23 OTU de yuca estudiadas, obtenido con base en la matriz de similitud Euclideano.

A este nivel de similitud, la entrada 14 es diferente del conjunto: 2, 9 y 10, y los caracteres discriminantes son el color de las hojas, del tallo (8 - 10 meses), del periderma y de la pulpa de la raíz. Las entradas 20 y 23 son disímiles entre sí del conjunto: 8, 18 y 19 y el carácter discriminante es la forma de las hojas. La entrada 22 es diferente del conjunto: 15, 16 y 17 y los caracteres discriminantes son el color del brote y la forma de las hojas (Cuadro 3).

c) Método de Pearson

Al igual que para el método Euclideano, a un nivel de similitud superior a 0.5, la entrada 11 se separa de los dos grupos originados a un nivel de similitud superior de 0.63 y el carácter discriminante es el color del pecíolo (Fig. 3). El primer grupo con un nivel de similitud superior de

Cuadro 3. Caracteres que discriminan la similitud de las entradas de yuca con índices superiores a 10.0, 4.4 y 0.97 por los métodos Manhattan, , Euclideano y Pearson respectivamente.

Entradas	Color brote	Color hojas	Color pecíolo	Forma hoja	Color tallo	Color corteza raíz	Color pulpa raíz
Método Manhattan							
15-16-17	verde morado			Pandurado			
22	morado			Eliplanc			
2-9-10		verdeoscuro		Eliplanc	cafeoscuro	rosada	blanca
14		verdeintermedio		Eliplanc	cafeclaro	crema	amarilla
20		verdeoscuro		Lanceolado	cafeoscuro	crema	blanca
8-18-19				Pandurado			Pres.
23				LinearPand			Ause.
3-21	morado	verde oscuro	verde morado		cafeclaro		
11	verde claro	verde claro	verde claro		cafeoscuro		
Método Euclideano							
15-16-17	verde morado			Pandurado			
22	morado			Eliplanc			
2-9-10		verdeoscuro			cafeoscuro	rosada	blanca
14		verdeintermedio			cafeclaro	crema	amarilla
8-18-19				Pandurado			
23				LinPand			
20				Lanceolado			
Método Pearson							
1-13				Pandurado			
22				Eliplanc	cafeoscuro	rosada	
2-9-10		verdeoscuro		Eliplanc	cafeoscuro	rosada	blanca
8-18-19		verdeoscuro		Pandurado	cafeoscuro	crema	blanca
14		verdeintermedio		Eliplanc	cafeclaro	crema	amarilla
23		verde oscuro		LinearPand	cafeoscuro	crema	blanca
20		verde oscuro		Lanceolado	cafeoscuro	crema	blanca

Nota:

Pand = pandurado; Elipl. lanc. = Elíptico lanceolado; Lin.pand. = Linear pandurado.

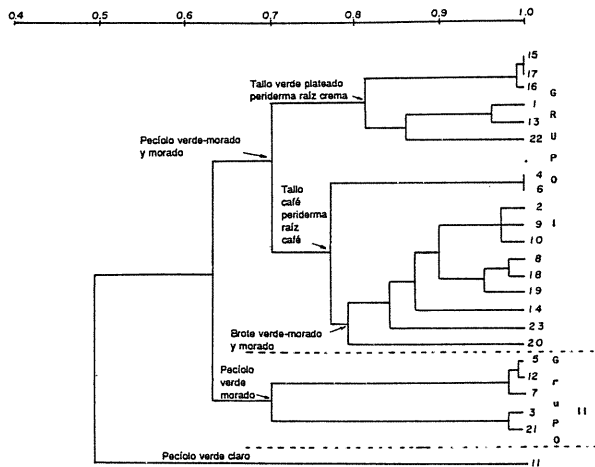


Fig. 3. Fenograma de las 23 OTU de yuca estudiadas, obtenido con base en la matriz de correlación de Pearson.

0.70 se divide en dos subgrupos, siendo los caracteres discriminantes el color del tallo (8 - 10 meses) y el periderma de la raíz. A un nivel de similitud de 0.97, valor próximo a la máxima similitud, se separan siete conjuntos conformados por las entradas: 15, 16 y 7; 1 y 13; 4 y 6; 2, 9 y 10; 8, 18 y 19; 5, 7 y 12; y 3 y 21, y cinco conjuntos individuales disímiles correspondientes a las entradas 11, 14, 20, 22 y 23.

A este nivel de similitud, las entradas 14, 20 y 23 son disímiles entre sí de los conjuntos: 2, 9 y 10 y 8, 18 y 19, y los caracteres discriminantes son el color de las hojas, la forma de éstas, el color del tallo (8 - 10 meses), del periderma y de la pulpa de la raíz. La entrada 22 es disímil del conjunto: 1 y 13, y el carácter discriminante es la forma de las hojas.

Análisis de los componentes principales

En el Cuadro 4 se presenta el valor-"eigen" de cada uno de los componentes principales (valor que representa la sumatoria de las variancias de todos los caracteres para cada componente principal); el porcentaje de variación expresado por ese valor-"eigen" y la acumulación de los porcentajes a medida que se extraen los componentes principales hasta llegar al 100 por ciento.

Los 20 componentes generados acumularon el total de la variación de las entradas, de los cuales los

Cuadro 4. Componentes principales, valor "eigen", porcentaje de variación y porcentaje acumulado obtenido de la matriz de correlación.

Número del componente	Valor-"eigen"	Porcentaje de variación total	Porcentaje acumulado
1	16.62	72.27	72.27
2	1.70	7.41	79.68
3	1.25	5.43	85.11
4	1.14	4.94	90.05
5	0.61	2.65	92.70
6	0.44	1.98	94.68
7	0.37	1.63	96.31
8	0.26	1.11	97.42
9	0.17	0.76	98.18
10	0.10	0.46	98.64
11	0.09	0.40	99.04
12	0.08	0.34	99.38
13	0.05	0.21	99.59
14	0.04	0.16	99.75
15	0.03	0.11	99.86
16	0.02	0.07	99.93
17	0.01	0.03	99.96
18	0.00	0.02	99.98
19	0.00	0.01	99.99
20	0.00	0.01	100.00

tres primeros componentes expresaron el 85.11% de la variación y fueron elegidos para elaborar la Figura 4.

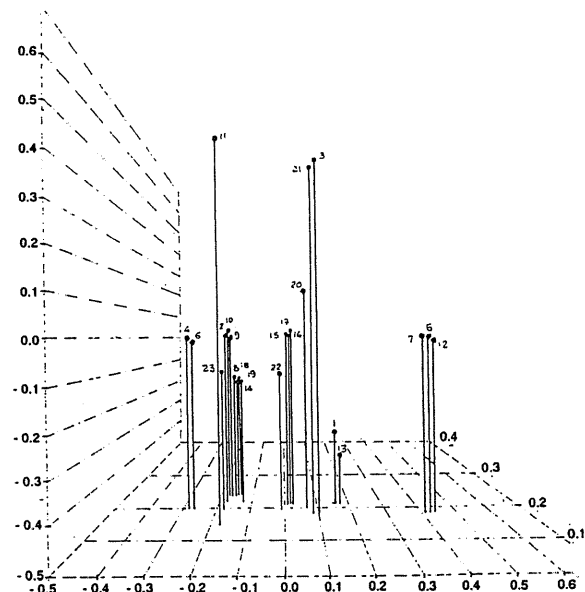


Fig. 4. Análisis de los componentes principales constituidos por 23 OTU. Proyección tridimensional de las OTU en los tres primeros componentes: 1, 2 y 3. Esta representación expresa el 85.11% de la variación total.

En el Cuadro 5 se muestra la contribución de cada OTU (entrada) a los tres primeros componentes principales. Con base en estos valores en el espacio tridimensional, delimitado por estos componentes (Fig. 4), se ubicaron las entradas, facilitando la representación de ellas y sus relaciones en función de los caracteres empleados.

Las relaciones entre entradas (Fig. 4) están reflejadas en la posición en que se disponen en ese espacio. Cuanto más cerca se encuentran entre sí las entradas, más estrechamente relacionadas están, como lo muestran las entradas: 15, 16 y 17; 1 y 13; 5, 7 y 12; 4 y 6; 2, 9 y 10; 2, 21 y 8, 18 y 19. De este último grupo se encuentra menos distante la entrada 14 y más alejada la entrada 23. Las entradas 20 y 22 están aisladas entre sí de los grupos: 15, 16 y 17. La entrada 11 se encuentra aislada significativamente de las demás.

Cuadro 5. Valores de contribución de cada una de las 23 OTU de yuca a los tres primeros componentes principales.

OTU	Componente 1	Componente 2	Componente 3
1	0.21	0.16	-0.29
2	0.22	0.18	0.00
3	0.19	0.10	0.49
4	0.20	0.20	-0.04
5	0.19	0.42	-0.02
6	0.20	-0.29	-0.04
7	0.19	0.41	-0.01
8	0.23	-0.15	-0.12
9	0.22	-0.15	0.00
10	0.22	-0.15	0.01
11	0.15	-0.18	0.51
12	0.19	0.43	-0.02
13	0.21	0.17	-0.31
14	0.22	-0.12	-0.13
15	0.22	0.06	-0.01
16	0.22	0.08	0.03
17	0.22	0.06	0.01
18	0.22	-0.17	-0.14
19	0.23	-0.12	-0.11
20	0.20	0.07	0.12
21	0.19	0.09	0.47
22	0.20	-0.01	-0.10
23	0.20	-0.16	-0.07

Relación entre técnicas utilizadas

Los tres coeficientes de similitud en los análisis de agrupamiento y los componentes principales permitie-

ron obtener resultados gráficos diferentes. Sin embargo, por cualquiera de las técnicas empleadas, cuando los niveles de similitud fueron altos (Manhattan = 10.0, Euclideo = 4.4 y Pearson = 0.94), así como los tres componentes principales (aporte del 85.11% de la variabilidad), se logró la mayor similitud y/o relación de las entradas: 15, 16 y 17; 1 y 13; 5, 7 y 12; 4 y 6; 2, 9 y 10; 8, 18 y 19; 3, 21, y disimiles entre sí las entradas 11, 14, 20, 22 y 23. La ventaja de la utilización de más de una técnica permitió minimizar los efectos metodológicos y los resultados surgieron de la complementación de las técnicas comparadas.

A todos los caracteres se les asignó la misma significación e importancia en los análisis de agrupamiento y componentes principales. Sin embargo, en el análisis visual de los fenogramas, se consideraron de mayor significación los caracteres discriminatorios cualitativos, debido a que éstos permitieron diferenciar e identificar los cultivares con más claridad y facilidad cuando los cultivares de yuca se encuentran en colección viva que los caracteres cuantitativos, y que éstos están más condicionados por el medio en que se desarrolla el cultivo (3, 4, 7, 8, 10).

Duplicados en la colección

Utilizando los coeficientes de similitud de Manhattan, Euclideo y Pearson en los análisis de

Cuadro 6. Agrupamientos de entradas por la similitud de sus caracteres morfológicos de la hoja, tallo y raíz.

Entradas muy similares	Nombre propuesto*
1 Blanca = 13 Blanquita	= M bol 1
2 Suelakhara = 9 Suelakhara grande = 10 Suelakhara chica	= M bol 2
3 Porvenir = 21 Tankhara	= M bol 3
4 Amarilla = 6 Amarilla	= M bol 4
5 Rosada = 7 Blanca noventon = 12 Blanca	= M bol 5
11 Yuracare	= M bol 6
14 Amarilla	= M bol 7
15 Blanca = 16 Quinsaquillero = 17 Noventon	= M bol 8
18 Una rosada = 19 Chaparral = 8 Bobore	= M bol 9
20 Blanca	= M bol 10
22 Blanca	= M bol 11
23 Criolla	= M bol 12

* M bol = *Manihot* boliviana.

agrupamiento y los tres componentes principales con 33 caracteres por entradas, las 23 entradas se agruparon en 12 cultivares (Cuadro 6). Con el objetivo de facilitar la utilización del germoplasma se propone una nomenclatura similar a la usada en otros centros de investigación.

CONCLUSIONES

Considerando los resultados del análisis desarrollado en el presente estudio, se establecen las siguientes conclusiones:

1. Mediante un análisis de agrupamiento a altos niveles de similitud de Manhattan de 10.0, Euclideo de 4.4 y Pearson de 0.94, y tomando en cuenta 33 caracteres por entrada, las 23 entradas se agruparon en 12 cultivares.
2. El método de componentes principales consolidó los 12 grupos de cultivares logrados en los métodos anteriores y mostró que los tres primeros componentes principales aportaron el 85.1% de la variabilidad.
3. Los caracteres discriminatorios de tipo cualitativo se consideraron de más utilidad en las disimilitudes establecidas entre las entradas, debido a que permitieron diferenciar e identificar los cultivares con más claridad y facilidad cuando se encuentran en colección viva que los caracteres cuantitativos, y que están más condicionados por el medio en que se desarrolla el cultivo.

LITERATURA CITADA

1. CATIE (CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACION Y ENSEÑANZA). 1981. Catálogo de la colección de yuca (*M. esculenta* Crantz.) del CATIE. Turrialba, C.R. Serie Técnica. Boletín Técnico no. 2. 40 p.
2. CRISCI, J.V.; LOPEZ, F. 1983. Introducción a la práctica de la taxonomía. Washington, D.C., OEA. Monografía no. 26. Serie de Biología. 119 p.
3. CIAT (CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL). 1981. Morfología de la planta de yuca: Guía de estudio para ser usada como complemento de la unidad audiotutorial sobre el mismo tema. Cali, Col. Serie 04sd-02-03. 44 p.
4. DOMINGUEZ O., C.E.; CEBALLOS, L.F. 1979. Clasificación taxonómica y morfología de la planta de yuca (*M. esculenta*). Cali, Col., CIAT. 10 p.
5. GULICK, P.; HERSHEY, C.; ESQUINAS, A.J. 1983. Genetic resources of cassava and wild relatives. Roma, International Board for Plant Genetic Resources. 56 p.
6. KOVACH, W.L. 1985. A multivariate statistics package for the IBM PC and compatibles. Bloomington, Indiana University. 10 p.
7. LEITAO FILHO, H.F. 1971. Caracterização botânica de cultivares de mandioca (*M. esculenta*). Instituto Agronómico. 29 p.
8. LEON, J. 1968. Fundamentos de los cultivos tropicales. San José, C.R.; IICA. 577 p.
9. LIAN, T.S. 1982. Utilization of genetic resources in cassava breeding programmes. In Genetic resources and the plant breeder. R.B. Sinh, N. Chomchalow. Rome, International Board for Plant Genetic Resources, Southeast Asian Programme. p. 69-78.
10. MONTALDO, A. 1979. La yuca o mandioca. San José, C.R., IICA. Serie Libros y Materiales Educativos no. 38. 386 p.
11. SNEATH, P.H.A.; SOKAL, R.R. 1973. Numerical taxonomy: The principle and practice of numerical classification. San Francisco, USA, W.H. Freeman. 573 p.
12. TOSI, J. 1983. Análisis ecológico y capacidad de uso de la tierra en el área del Proyecto Chapare. Informe USAID/Bolivia. La Paz, Bol. 48 p.