



Universidad Veracruzana

# UNIVERSIDAD VERACRUZANA

---

Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias  
Región Orizaba-Córdoba  
Maestría en Horticultura Tropical

**“Caracterización morfológica y  
distribución potencial de accesiones de  
yuca (*Manihot esculenta* Crantz).”**

**TESIS**

Que para obtener el Grado de:

**MAESTRO EN HORTICULTURA TROPICAL**

**P r e s e n t a:**

**Ing. JOSÉ LUIS DEL ROSARIO ARELLANO**

**Director:**

**Dr. PABLO ANDRÉS MEZA**

**Codirector:**

**Dr. ISAAC MENESES MÁRQUEZ**

**Peñuela, Municipio Amatlán de los Reyes, Ver. 2016**



Universidad Veracruzana

Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias  
Secretaría

AL C.  
**ING. JOSÉ LUIS DEL ROSARIO ARELLANO**  
ALUMNO DE LA MAESTRÍA EN  
HORTICULTURA TROPICAL  
P R E S E N T E .

Josefa Ortiz de Domínguez  
S/N, Col. Centro  
C.P. 94945  
Peñuela, Municipio de Amatlán  
de los Reyes, Ver.

Teléfono  
01 (271) 71 66129

Fax  
71 6 73 92

Extensión  
33653

Correo Electrónico  
gnoe@uv.mx

Por este medio, le informo, que habiendo sido debidamente revisado y aceptado el Trabajo Recepcional presentado por usted denominado: **“Caracterización morfológica y distribución potencial de accesiones de yuca (*Manihot esculenta* Crantz)”**, en la modalidad de **TESIS** y estando de acuerdo con los maestros que integran la Academia, que es satisfactorio su contenido como prueba escrita para sustentar el Examen de Grado, **AUTORIZO** a que proceda a la reproducción digital del trabajo.

ATENTAMENTE

“LIS DE VERACRUZ: ARTE, CIENCIA, LUZ”

Peñuela, Municipio de Amatlán de los Reyes, Ver., 20 de octubre de 2016.

BIOL. GUILLERMO GOLIAT NOE NAVA  
SRIO. DE LA FACULTAD DE CIENCIAS  
BIOLÓGICAS Y AGROPECUARIAS

Vc. Bo

DR. OTTO RAÚL LEYVA OVALLE  
DIRECTOR DE LA FAC. DE CIENCIAS  
BIOLÓGICAS Y AGROPECUARIAS

abmg.

FACULTAD DE CIENCIAS  
BIOLÓGICAS Y AGROPECUARIAS  
PEÑUELA  
  
SECRETARIA



# UNIVERSIDAD VERACRUZANA

## Maestría en Horticultura Tropical Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias – Córdoba Región Orizaba – Córdoba

La presente tesis titulada “**Caracterización morfológica y distribución potencial de accesiones de yuca (*Manihot esculenta Crantz*)**” realizada por el Ing. Agr. José Luis Del Rosario Arellano, bajo la codirección del Dr. Pablo Andrés Meza y Dr. Isaac Meneses Márquez y el arbitraje del cuerpo de lectores indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

### MAESTRO EN HORTICULTURA TROPICAL

#### DIRECTORES Y CUERPO DE LECTORES

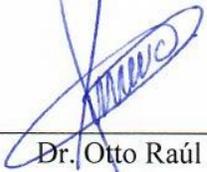
Director \_\_\_\_\_

  
Dr. Pablo Andrés Meza

Codirector \_\_\_\_\_

  
Dr. Isaac Meneses Márquez

Lector \_\_\_\_\_

  
Dr. Otto Raúl Leyva Ovalle

Lector \_\_\_\_\_

  
Dr. Ricardo Serna Lagunes

Lector \_\_\_\_\_

  
Dr. Enrique Noé Becerra Leor

Camino Peñuela - Amatlán Km 1, Municipio de Amatlán de los Reyes, Ver, CP 94945  
Tel. y Fax: 01 (271) 71-6-61-29 y 01 (271) 71-6-64-10 En Córdoba Apartado Postal 177

Córdoba, Veracruz, México

[www.uv.mx/orizaba/mht.html](http://www.uv.mx/orizaba/mht.html) Correo electrónico: hortiori@uv.mx

## **AGRADECIMIENTOS**

*A mi alma mater la Universidad Veracruzana y en especial a la Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, por haberme permitido concluir la carrera de Ing. Agrónomo, y la oportunidad de cursar la Maestría de Horticultura Tropical. Agradecido por toda enseñanza recibida y por forjarnos como nuevos profesionales.*

*Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por apoyarme con la beca para mis estudios en la Maestría de Horticultura Tropical de la Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias de la Universidad Veracruzana. A su vez por el apoyo de la beca mixta para mi estancia nacional.*

*Al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) Campo Experimental Cotaxtla por todas las facilidades dadas.*

*Gracias a mi director externo, el Dr. Isaac Meneses Márquez por haberme confiado la realización de este trabajo, por su espíritu de investigación y por haberme compartido sus conocimientos.*

*A mi director de tesis, Dr. Pablo Andres Meza por su apoyo incondicional en la dirección de la tesis, por sus enseñanzas, orientación en el manejo de la información, por su admirable espíritu de investigación y aplicación de la información y sobre todo por su gran amistad.*

*Muy agradecido con la investigadora Ing. Xochitl Rosas Gonzáles por guiarme en la parte práctico- teórico del experimento, por sus consejos y buenos deseos.*

*Al Dr. Enrique Noé Becerra Leor por el apoyo y amistad brindados.*

*Gracias a los que sin conocerme me tendieron la mano cuando más lo necesitaba en mi estancia por el Inifap.*

*A todos mis catedráticos de la Maestría en Horticultura Tropical de la Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias y en mención especial a la MC. María Del Rosario Dávila Lezama por animarme a seguir preparándome, considerada como una persona importante en mi vida profesional.*

*A todos mis amigos de la maestría, por su apoyo, su amistad y por compartir sus conocimientos con mi persona.*

## **DEDICATORIA**

*A Dios por haberme dado las oportunidades, fuerzas y ganas para conseguir otro logro en mi vida profesional.*

*A mis padres José Luis Tomas Del Rosario Morales y Angela Arellano Hernández por el apoyo incondicional en cada paso que doy, sin sus consejos no llegaría a cumplir otra meta más. Por su sacrificio, paciencia y amor, para sacarnos adelante a mi hermano y yo.*

*A todas aquellas personas que creyeron plenamente hacia mi persona.*

## ÍNDICE

Índice de cuadros .....	I
Índice de figuras .....	II
Resumen .....	IV
Summary .....	V
1. INTRODUCCIÓN .....	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1. Origen e historia de la yuca.....	3
2.2. Importancia económica .....	4
2.3. Usos y aplicaciones.....	5
2.4. Taxonomía .....	7
2.5. Morfología .....	8
2.5.1. Tallo.....	8
2.5.2. Hojas .....	11
2.5.3. Raíz .....	12
2.5.4. Inflorescencia.....	14
2.5.5. Fruto .....	15
2.5.6. Semilla .....	16
2.6. Aporte nutricional y composición química .....	16
2.7. Distribucion geografica del género <i>Manihot</i> y especies afines a yuca .....	17
2.8. Recursos fitogenéticos .....	19
2.9. Variabilidad genética .....	20
2.10. Nicho ecológico.....	22
2.11. Disponibilidad y conservación en bancos de germoplasma.....	25
2.12. Mejoramiento genético en <i>Manihot esculenta</i> Crantz. ....	26
2.13. Caracterización de germoplasma vegetal .....	28
2.13.1. Caracterización morfológica .....	29
2.13.2. Descriptores morfológicos .....	30
2.14. Métodos estadísticos aplicados a la caracterizacion morfológica.....	31
3. PLANTEAMIENTO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA DE ESTUDIO .....	34
4. OBJETIVOS E HIPÓTESIS.....	35
4.1. Objetivo general .....	35
4.2. Objetivos específicos .....	35
4.3. Hipótesis .....	35

5. MATERIALES Y MÉTODOS .....	36
5.1. Ubicación del sitio experimental.....	36
5.2. Material vegetal.....	36
5.3. Diseño del experimento.....	37
5.4. Caracterización morfológica de accesiones de yuca .....	37
5.5. Análisis estadísticos .....	52
5.6. Distribución geográfica real y potencial de yuca .....	52
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	56
6.1. Análisis de datos cualitativos .....	56
6.1.1. Características de la hoja.....	56
6.1.2. Características del tallo .....	58
6.1.3. Características de la raíz.....	61
6.1.4. Características de la flor.....	65
6.1.5. Características del fruto .....	65
6.2. Análisis de Componentes Principales.....	66
6.3. Análisis de conglomerados .....	73
6.4. Distribución geográfica .....	73
6.4.1. Distribución real de las accesiones.....	73
6.4.2. Distribución potencial de yuca.....	73
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	77
8. LITERATURA CITADA.....	79
9. ANEXOS .....	87
Anexo I. Hoja pasaporte de las 40 accesiones colectadas en el estado de Chiapas y resguardas en el BGY.....	87
Anexo II. Descriptores cualitativos.....	88
Anexo III. Descriptores cuantitativos.....	91

## Índice de cuadros

Cuadro 1.	Producción de yuca en el ciclo agrícola otoño- invierno y primavera- verano del 2014 en la modalidad de riego y temporal en México.	4
Cuadro 2.	Características taxonómicas de yuca ( <i>Manihot esculenta</i> Crantz).	8
Cuadro 3.	Componentes físico- químicos en raíz y follaje de yuca en fresco y seco.	17
Cuadro 4.	Especies del género <i>Manihot</i> distribuidas en México.	19
Cuadro 5.	Variables bioclimáticas y del suelo utilizadas en el modelado de distribución potencial de Yuca con el software MaxEnt.	53
Cuadro 6.	Análisis de frecuencia de caracteres cualitativos en hoja para 40 accesiones de yuca ( <i>Manihot esculenta</i> Crantz).	57
Cuadro 7.	Análisis de frecuencia de caracteres cualitativos del tallo para 40 accesiones de yuca ( <i>Manihot esculenta</i> Crantz).	60
Cuadro 8.	Análisis de frecuencia para caracteres cualitativos de raíz para 40 accesiones de yuca ( <i>Manihot esculenta</i> Crantz).	64
Cuadro 9.	Análisis de frecuencia de caracteres cualitativos para flor en 40 accesiones de yuca ( <i>Manihot esculenta</i> Crantz).	65
Cuadro 10.	Análisis de frecuencia para caracteres cualitativos en fruto de 40 accesiones de yuca ( <i>Manihot esculenta</i> Crantz).	66
Cuadro 11.	Vectores y valores propios del análisis de componentes y valor descriptivo de la varianza total en colecciones de yuca ( <i>Manihot esculenta</i> Crantz) procedentes del estado de Chiapas.	67

## Índice de figuras

Figura 1.	Tallo característico en yuca con sus protuberancias, nudos y entrenudos.	9
Figura 2.	Filotaxia de 2/5 característica en tallo de yuca ( <i>Manihot esculenta</i> Crantz).	10
Figura 3.	Hojas palmeadas con número de lóbulos, colores del haz y peciolo variables.	11
Figura 4.	Raíces tuberosas características en yuca ( <i>Manihot esculenta</i> Crantz).	14
Figura 5.	Cápsula ovoide de tamaño pequeño, provista de seis aristas perfectamente diferenciadas.	16
Figura 6.	Localización geográfica de Banco de Germoplasma <i>ex situ</i> de Yuca (BGY).	36
Figura 7.	Lóbulo central lanceolado en una accesión de yuca ( <i>Manihot esculenta</i> Crantz).	38
Figura 8.	Número de lóbulos de la hoja de yuca: a) cinco lóbulos y b) siete lóbulos.	39
Figura 9.	Longitud y ancho del lóbulo central en una hoja de yuca.	39
Figura 10.	Margen del lóbulo: a) margen de tipo suave, b) margen cerrado.	40
Figura 11.	Descriptorios de hoja: a) longitud del peciolo tomado de la parte media de la planta, b) color de la nervadura del envés de la hoja, c) orientación del peciolo, d) botones florales a los seis meses.	41
Figura 12.	Protuberancias o cicatrices foliares característicos en el tallo de yuca.	42
Figura 13.	Registro de colores en corteza, epidermis y color exterior del tallo de yuca.	43
Figura 14.	Distancia entre cicatrices foliares en tallos de yuca obtenida a partir de la filotaxia 2/5.	43
Figura 15.	Características morfológicas de la planta: a) fruto de yuca, b) altura a la primera ramificación, c) ángulo de la primera ramificación, d) forma de la planta.	45
Figura 16.	Cosecha de raíces de yuca	46
Figura 17.	Número de raíces: a) raíces reservantes totales, b) raíces comerciales mayores a 20 cm de longitud.	46
Figura 18.	Color en raíces de yuca: a) color externo, b) color de corteza, c) color de la pulpa.	48
Figura 19.	Grosor de la corteza de la raíz de yuca.	49
Figura 20.	Toma de datos en raíces de yuca: a) peso fresco de las raíces al aire (Wa) y b) peso fresco de las raíces en agua (Ww).	50
Figura 21.	Índice de cosecha: a) peso de raíz; b) peso de biomasa en una accesión de yuca.	51
Figura 22.	Patrones de dispersión de las 40 colecciones de yuca mediante los componentes principales 1 y 2.	68
Figura 23.	Relación morfológica en accesiones de yuca construido a partir de 15 variables cuantitativas.	72

- Figura 24. Distribución geográfica de las accesiones de yuca en el estado de Chiapas basado en los sitios de colecta. 73
- Figura 25. Distribución potencial del nicho ecológico de yuca (*Manihot esculenta* Crantz). 75

## Resumen

Con el objetivo de realizar la caracterización morfológica, la distribución real y potencial de la yuca (*Manihot esculenta* Crantz) de 40 accesiones provenientes del estado de Chiapas y resguardadas *ex situ* en el Banco de Germoplasma de Yuca (BGY) ubicado en el campo experimental Cotaxtla del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) en Medellín de Bravo Ver, se utilizaron 48 descriptores morfológicos (33 cualitativos y 15 cuantitativos) basados en el manual de caracterización de yuca propuesto por Fakuda y colaboradores. Se determinó por medio de estadística descriptiva que los descriptores cualitativos que presentan mayor variabilidad son: longitud y ancho del lóbulo central de la hoja, longitud y color del peciolo, color de la superficie externa del tallo maduro, extensión del pedúnculo radicular, forma y color de la corteza de la raíz. Mientras que, con estadística multivariada y con el uso del análisis de componentes principales por medio del paquete estadístico SAS/STAT® versión 9.0, se determinó que con los primeros cuatro componentes se explica el 68.977% de la variación de los descriptores cuantitativos. Por medio del CP2 y CP1 se construyó una gráfica bidimensional que mostró el conjunto de las 40 accesiones y 15 vectores que representan a las variables originales, esto permitió corroborar que: longitud y ancho del lóbulo de la hoja, longitud del peciolo, número de raíces de almacenamiento y número de raíces comerciales, son en los que existe gran variabilidad entre las accesiones. Con el análisis de conglomerados obtenidos con el programa estadístico INFOSAT 2016e, se definieron seis grupos de accesiones, dentro de los cuales destacaron materiales con alto porcentaje de materia seca (>35 %) y contenido de almidón, catalogados como parámetros de calidad. Los resultados muestran la existencia de variabilidad significativa que contribuye a promover el uso de la biodiversidad autóctona y promover su conservación, esta información permite a su vez ser tomada como referencia para el mejoramiento genético. Por otra parte, con el uso de los valores de latitud y longitud de los 40 sitios de colecta y capturados en Google Earth®, se generó el mapa de distribución real de yuca del estado de Chiapas. A su vez se elaboró un mapa de distribución potencial, modelado por el software MaxEnt versión 3.3.1. el cual obtuvo un valor del área bajo la curva (AUC) de 96.7%, para *M. esculenta*, es decir que el modelo generado es mejor que los realizados al azar. Los resultados muestran presencia de yuca en los estados de Tabasco y Veracruz (Golfo de México) mientras que en el Océano Pacífico resaltan los estados de Chiapas, Oaxaca, Guerrero, Jalisco, Nayarit y Colima. Con respecto a las condiciones ambientales favorables para la especie, la temperatura, evapotranspiración y la precipitación de los meses húmedos juegan un papel importante. A nivel nacional se estimó una superficie potencial de 8,365,520 ha<sup>-1</sup>. Estos resultados nos dan pauta a que en el futuro el Banco de Germoplasma o instituciones de investigación de la especie puedan tomarlo como referencia en futuras colectas, así como para agricultores que deseen incursionar y explotar el cultivo.

**Palabras clave:** *Manihot esculenta*, caracterización, variabilidad, accesiones, distribución.

## Summary

With the objective to realize the morphological characterization, actual and potential distribution of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) of 40 accessions from the state of Chiapas and sheltered *ex situ* in the Germplasm Bank Yuca (BGY) on the experimental field Cotaxtla, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) in Medellín de Bravo Ver, 48 morphological descriptors (33 qualitative and quantitative 15) based on the characterization of cassava manual proposed by Fukuda et al., were used. It was determined by means of descriptive statistics that qualitative descriptors have greater variability are: length and width of the central lobe of the leaf length and color of the petiole, color of the outer surface of mature stem extension root stalk, shape and color the root bark. Whereas with multivariate statistics and the use of principal component analysis using the statistical package SAS/ STAT® v9.0, it was determined that the first four components of the 68,977% of the variation of quantitative descriptors explained. Through CP2 and CP1 a two-dimensional graph that showed all the 40 accessions and 15 vectors representing the original variables was built, it corroborated that: length and width of leaf lobe, length of petiole, number of roots storage and number of commercial real estate, are where there is great variability among accessions. With cluster analysis obtained using the statistical software INFOSTAT 2016e, six groups of accessions, within which highlighted materials with high solids content (>35 %) and starch content, classified as quality parameters were defined. The results show the existence of significant variability that contributes to promote the use of indigenous biodiversity and promote conservation, this information can in turn be taken as a reference for genetic improvement. Moreover, with the use of the latitude and longitude of 40 collection sites and captured on Google Earth®, the map of actual distribution of cassava Chiapas state was generated. In turn a map of potential distribution modeling software by Maxent v3.3.1 was developed. Which he obtained a value of area under the curve (AUC) of 96.7 % for *M. esculenta*, the generated model is better than those made at random. The results indicate the presence of cassava in the states of Tabasco and Veracruz (Gulf of Mexico) while in the Pacific Ocean highlight the states of Chiapas, Oaxaca, Guerrero, Jalisco, Nayarit and Colima. With regard to favorable environmental conditions for the species, temperature, evapotranspiration and precipitation of the wettest months play a major role. Nationally a potential area of 8,365,520 ha<sup>-1</sup> was estimated. These results give us guidelines to that in the future the gene bank or research institutions of the species can be taken as reference for future collections, as well as for farmers who wish to adopt and exploit the crop.

**Keywords:** *Manihot esculenta*, characterization, variability, accessions, distribution.

## 1. INTRODUCCIÓN

La yuca (*Manihot esculenta* Crantz. 1938) pertenece a la familia Euphorbiaceae, la cual está constituida por cinco subfamilias, 49 tribus, 317 géneros y alrededor de 8100 especies, con distribución principalmente en zonas tropicales y subtropicales. El centro de origen de la especie es la cuenca amazónica, pero se reconocen dos centros de domesticación: Brasil y México (Martínez *et al.*, 2002; Olsen y Schaal, 2010). En México, se encuentra habitualmente en huertos familiares, cultivada con baja tecnología tipo tradicional y con rendimientos de 8 a 10 t ha<sup>-1</sup> (Meneses *et al.*, 2014).

La yuca es catalogada mundialmente como el cuarto producto básico más importante después del arroz, trigo y maíz, formando parte de la dieta básica de aproximadamente 1000 millones de personas, especialmente consumida por familias de escasos recursos. Sin embargo, también se utiliza como materia prima para elaborar concentrados comerciales para animales, fibra para papel, textiles, biocombustible, almidón para la industria de alimentos y la farmacéutica (Beovides *et al.*, 2014).

En la actualidad, los recursos fitogenéticos son un recurso esencial para la producción agrícola sostenible. Su conservación y uso eficaz, es fundamental para salvaguardar la seguridad alimentaria y nutricional en el contexto de la sustentabilidad. Para cumplir este desafío, se requiere de un flujo continuo de cultivos mejorados y variedades adaptadas a condiciones de agroecosistemas particulares. Por lo anterior, surge la necesidad de explorar germoplasma, que como en el caso de la yuca, resulta útil para evidenciar su plasticidad fenotípica, desarrollar estrategias para su conservación *in situ* y *ex situ* y la búsqueda de nuevos cultivares con genotipos más productivos que se adapten a las condiciones que impone el cambio climático y posteriormente, establecer plantaciones con genotipos basados en las necesidades del productor- consumidor y del mercado (FAO, 2014).

Cabe recalcar que la conservación *ex situ* de *Manihot esculenta* en bancos de germoplasma, tan solo en el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT-Colombia), resguarda 5,709 accesiones y 883 de especies silvestres (CIAT, 2016). Ese material de un total de 20,000 accesiones distribuidas a su vez en: Brasil, Instituto Internacional de Agricultura Tropical (IITA- Nigeria), Uganda, India, Malawi, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE- Costa Rica), Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP- México) y programas nacionales en más de 45 países (Mafla, 2007; Meneses *et al.*, 2014).

Por los argumentos expuestos, se planteó el objetivo de documentar la variabilidad morfológica de 40 accesiones de yuca provenientes del estado de Chiapas y conservadas *ex situ* en el Banco de Germoplasma de Yuca (BGY), ubicado en el Campo Experimental Cotaxtla del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), así como determinar la distribución potencial en México con base al modelo de nicho ecológico, y con ello enriquecer la información del Banco y por ende de la Red Yuca del Sistema Nacional de Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura (SINAREFI).

## 2. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. Origen e historia de la yuca

La yuca es originaria y domesticada en América del sur desde hace unos 5,000 años. Posteriormente se cultivó extensivamente en zonas tropicales y subtropicales del continente (Olsen y Schaal, 2001). Aunque no se tiene un sitio exacto, gran parte de la evidencia apunta a la amazonia del Brasil (Nordeste) como centro de origen y domesticación. Sin embargo, México y parte de América central, se considera un segundo lugar de domesticación, debido a núcleos de abundante variabilidad genética de la especie. Por ejemplo, en México se han encontrado restos de hojas de yuca de aproximadamente 2,500 años de antigüedad, y se ha identificado almidón de yuca en coprolitos humanos que tienen de 2,100 a 2,800 años (Martínez *et al.*, 2002; Ramírez y Jiménez, 2010; Olsen y Schaal, 2010).

La yuca amarga fue domesticada en el norte de América del sur, probablemente al este de los Andes, mientras que la yuca dulce en América central. Cuando los conquistadores portugueses llegaron, la especie era un alimento cotidiano en las islas del Caribe, al igual que en el resto del continente. Registros sobre el rico comercio portugués entre Brasil y la costa occidental de África incluyen evidencias respecto a la llegada de la yuca al Congo antes de 1588, consecutivamente a Asia y Oceanía (Aristizábal *et al.*, 2007).

Se diseminó a través de África occidental con el retorno de los esclavos liberados de Brasil, transfiriendo la tecnología tradicional para producción de farinha (variante de harina de yuca). Es así como llega a recibir diferentes nombres: yuca en el norte de América del Sur, América Central y las Antillas, mandioca en Argentina, Brasil y Paraguay, cassava en países anglo parlantes y mhogo en swahili en los países de África Oriental (Cook, 1997).

## 2.2. Importancia económica

El cultivo de yuca se ha establecido en la mayoría de zonas cálidas. Su siembra es principalmente en huertos familiares o en áreas cercanas a los poblados rurales, para autoconsumo (Meneses *et al.*, 2014). Hasta hace pocas décadas era poco conocida, dado que sus productos no eran exportados y porque la especie se adapta poco a climas templados, aunado a la escasa producción realizada en fincas de pequeños agricultores y en áreas agrícolas marginales, provocan que una proporción importante de la producción no se registre de manera adecuada y precisa, lo que genera un sesgo en su comercialización. Hasta el momento las mejores estadísticas son las reportadas por la FAO (Ceballos, 2002).

En este sentido la FAO (2014) reportó que la yuca se cultiva en 103 países, con un poco más de 27 millones de ha<sup>-1</sup> en superficie sembrada, un rendimiento promedio de 9.6 t ha<sup>-1</sup> y la producción total de 262, 585,741 t, con un valor de US\$ 25,248.280. En México, en el año 2014, la superficie sembrada fue de 1521.34 ha<sup>-1</sup>, con un rendimiento promedio de 13.13 t ha<sup>-1</sup> (Cuadro 1), donde el estado de Tabasco, lidera la producción nacional, seguido de Morelos, Michoacán, Veracruz, Yucatán, Estado de México y Guerrero (SIAP, 2014).

Cuadro 1. Producción de yuca en el ciclo agrícola otoño-invierno y primavera-verano del 2014 en la modalidad de riego y temporal en México.

Estado	Distrito	Superficie (ha <sup>-1</sup> )	Producción (t)	Rendimiento (t ha <sup>-1</sup> )	PMR (\$ / t)	Valor Producción (Miles de Pesos)
Guerrero	Iguala	3	27	9	7,300.00	197.1
Michoacán	Zitácuaro	112	3,517.60	31.41	2,640.57	9,288.48
Morelos	Zacatepec- Galeana	126.74	1,495.08	11.8	3,807.15	5,692.00
Edo. México	Valle de Bravo	3	31.5	10.5	3,800.00	119.7
Tabasco	Villahermosa	1,224.60	12,739.26	11.75	3,940.92	50,204.42
Veracruz	Pánuco	29	103.9	3.58	2,262.75	235.1
Yucatán	Valladolid	23	221	9.61	2,172.85	480.2
	Total	1,521.34	18,135.34	13.13	3,651.27	66,217.00

PMR= Precio medio rural.

Fuente: SIAP, 2014.

En el estado de Veracruz, la oferta de la raíz de yuca como alimento para ganado es mínima y la demanda es fuerte, situación que favorece la venta en aproximadamente \$5.00 kg de raíz fresca (SIAP, 2014). Meneses *et al.*, (2010) menciona que la yuca tiene potencial en la producción almidones para la industria de los pegamentos, harinas (panificables, alimentos balanceados, sustrato para hongos), la producción de lisina, entre otros, lo que a su vez traería una derrama económica importante.

### **2.3. Usos y aplicaciones**

Tanto raíces y hojas de yuca son aptas para el consumo humano. Las primeras son una fuente importante de carbohidratos y las segundas de proteínas, minerales y vitaminas. Sin embargo, una desventaja es la presencia de cianuro (en mínima concentración) que, aunque en algunas áreas de África, se han reportado casos de intoxicación crónica está más asociada a severas deficiencias alimentarias y el procesamiento deficiente de la raíz (Cook, 1997).

Cabe distinguir que las variedades dulces (*M. aipi*) tienen niveles bajos de glucósidos cianogénicos en la raíz y pueden ser consumidas crudas, cocidas, asadas al vapor de manera segura (Meneses *et al.*, 2014). Otras denominadas amargas (*M. utilissima*) tienen niveles elevados de cianuro, por tal motivo estas variedades tienen mayor aceptación para fines industriales (Álvarez, 2008). Para consumo humano de las raíces de estas variedades, se pelan, rallan y exprimen, lo que eventualmente elimina el glucósido cianogénico (Ceballos, 2002).

En Colombia, Venezuela e islas del Caribe, una vez exprimida la masa de raíces, se mezcla para obtener una especie de pan o galleta llamada cazabe, mientras que en Tailandia se consume frita (Ramírez y Jiménez, 2010).

Se utiliza en la preparación de caldos, sopas, atoles, croquetas precocidas o congeladas. Asimismo, existen diversas variantes de harina muy tradicionales como el

gaplek de Indonesia, kokonte en Ghana y farinha en Brasil, las cuales se utilizan en la preparación de diversos platos típicos (Ceballos, 2002). Este subproducto tiene un alto valor energético por su elevado contenido de carbohidratos, y por su reducida humedad le otorga una gran estabilidad de almacenamiento, conservándose varios meses sin deterioro, no obstante, la escasez de proteínas, es una limitante desde el punto de vista nutricional. También se elaboran cervezas y bebidas alcohólicas en algunas regiones de América y África (Cartay, 2004).

Los trozos de biomasa de yuca fresca pueden procesarse y producir pellets, los cuales se pueden incorporar en la formulación de alimentos balanceados para aves, porcinos, peces y otros animales domésticos; alternatively, se puede ensilar o simplemente cortada y oreada al aire libre puede ofrecerse a porcinos y bovinos debido a su alto valor nutricional, comparables con los de la alfalfa y otras leguminosas forrajeras (Ramírez y Jiménez, 2010).

Uno de los usos más importantes de yuca es la producción de almidón obtenido de las raíces, el cual es secado, molido y envasado para su comercialización. Y es que la amilosa lineal y amilopectina ramificada de yuca requieren una modificación química más sencilla para ciertos procesos industriales con respecto al almidón de maíz o papa. El almidón dulce se utiliza en la fabricación de maltodextrinas, maltosa, jarabe de glucosa, dextrosa y levaduras, entre otros, siendo solicitados por la industria de las confiterías, panaderías y bebidas gaseosas. Se le ve un potencial en la fabricación de pegamentos ya que muestra mayor poder adhesivo que los pegantes de maíz, e incluso en la fabricación de desechables biodegradables (embalaje, etiquetas, papel de envolturas y cintas para humedecer) (Álvarez, 2008).

En Colombia el CIAT y Clayuca (un consorcio que apoya la investigación y el desarrollo de la yuca en América Latina y el Caribe) desarrollaron una planta para la producción de biocombustible, basada con una tecnología de bajos costos de inversión y facilidad de operación por parte de comunidades rurales de escasos recursos. Este combustible a partir de yuca ya ha sido utilizado en Brasil en autos con tecnología Flex

(Biodiesel Argentina, 2009). Conjuntamente, se obtienen subproductos como bioabonos, biogás o metano, adecuado para operar estufas de cocina y reducir así el consumo de carbón y la tala de bosques, lo que conlleva a impactos ambientales y económicos favorables al obtener energía limpia y barata a su vez de generar fuentes de empleo en las áreas productoras de yuca.

Posee usos etnobotánicos importantes. Las hojas se usan para calmar la irritación nerviosa, dolor de cabeza, reducir inflamaciones, provocar el sueño, tratamiento de diarreas, por su efecto astringente y bajo la forma de harina o almidón es usado como talco para aliviar irritación de la piel de los bebés (Cartay, 2004).

## **2.4. Taxonomía**

La familia Euphorbiaceae se caracteriza por el desarrollo de vasos laticíferos compuestos por galactocitos que producen una secreción lechosa. Se encuentran ecotipos arbóreos de más de 15 m de alto como el caucho (*Hevea brasiliensis*), arbustos como el ricino o higuierilla (*Ricinus communis*) y también numerosas malezas, plantas ornamentales y otras de valor medicinal (Martínez *et al.*, 2002). Existen aproximadamente 98 especies de árboles que producen caucho de poco valor industrial, de las cuales sólo la yuca tiene relevancia económica y es cultivada (Aristizábal, *et al.*, 2007).

El nombre científico de la yuca fue dado originalmente por Crantz en 1766, posteriormente, fue reclasificada por Pohl en 1827 y Pax en 1910 en dos especies diferentes: *M. utilissima* y *M. aipi*). Sin embargo, Ciferri (1938) reconoció prioridad al trabajo de Crantz en el que se propone el nombre utilizado actualmente (Ceballos y de la Cruz, 2002). Su clasificación taxonómica se muestra en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Características taxonómicas de yuca (*Manihot esculenta* Crantz).

	Posición sistemática
Clase	Dicotyledoneas
Subclase	Archichlamydeae
Orden	Euphorbiales
Familia	Euphorbiaceae
Tribu	Manihoteae
Genero	<i>Manihot</i>
Especie	<i>Manihot esculenta</i> Crantz

Fuente: Domínguez, 1981.

## 2.5 Morfología

La planta de yuca se divide en dos partes principales, la parte aérea (tallo, hojas, flores y semillas) y la parte radicular o raíz (Ceballos y de la Cruz, 2002).

### 2.5.1 Tallo

Los tallos son particularmente importantes en la yuca, pues son el medio para multiplicación vegetativa (estaca), ya que sirven como semilla para la producción comercial del cultivo. El tallo maduro es cilíndrico y con diámetro variable (2 a 6 cm) (Ceballos y de la Cruz, 2002). Un grosor de <2 cm se puede considerar delgado, entre 2 y 4 cm se considera intermedio y mayor de 4 cm se considera grueso. Este carácter es asociado directamente con el rendimiento de las raíces (Montaldo, 1991).

Se pueden observar tres colores básicos de tallo maduro: gris-plateado, morado y amarillo verdoso, características que varían significativamente con la edad y la variedad. Están formados por la alternancia de nudos y entrenudos. En las partes más viejas se observan unas protuberancias que marcan en los nudos la posición que ocuparon inicialmente las hojas. En el nudo se inserta el pecíolo de la hoja, una yema axilar protegida por una escama y dos estípulas laterales. El largo de los entrenudos en el tallo principal es muy variable y depende no sólo de la variedad, sino también de otros factores como la edad de la planta, la ocurrencia de una sequía, un ataque severo de trips, fertilidad (Figura 1) (Ceballos y de la Cruz, 2002).



Figura 1. Tallo característico en yuca con sus protuberancias, nudos y entrenudos.

Una estaca, puede producir a partir de la yema de cada nudo el brote de un nuevo tallo primario. No obstante, el número de tallos producidos depende de la forma como es plantada la estaca (horizontal todos los nudos tienden a brotar, en posición vertical, por lo general, sólo la yema apical se activa) así como de la dominancia apical que caracteriza cada variedad.

La filotaxia típica en tallos de yuca es de 2/5 (Figura 2). El tallo primario, luego de cierto período de crecimiento, produce eventualmente ramificaciones ya sean vegetativas (ramas laterales) o reproductivas (inflorescencias). La ramificación vegetativa puede dar origen a 2, 3 y hasta 4 ramas secundarias, las que a su vez pueden eventualmente producir ramas terciarias, y así sucesivamente. Son importantes porque constituyen una característica muy estable para la descripción varietal, además, es un elemento para definir el valor agronómico del material, al influir en la cantidad de semilla que la planta produce, la facilidad para realizar las tareas de limpieza y cuidado general del cultivo, etc. El número y la prontitud con que se producen las ramificaciones determinan en gran medida la arquitectura propia de la planta.

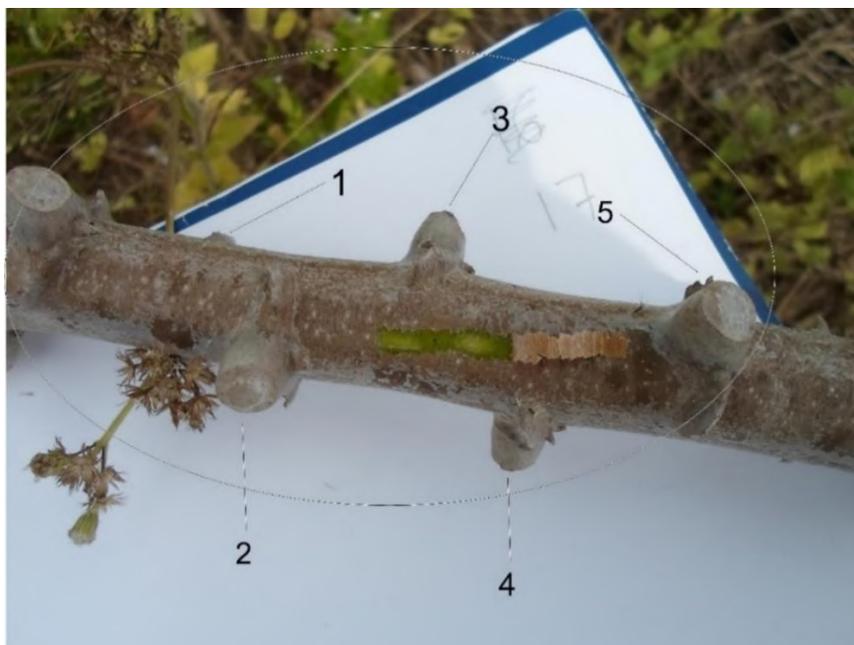


Figura 2. Filotaxia de 2/5 característica en tallo de yuca (*Manihot esculenta* Crantz).

La ramificación reproductiva es inducida por la floración del eje principal, evento influido drásticamente por el ambiente. Una floración temprana provoca que las primeras ramas se ubiquen en una posición relativamente baja de la planta, por lo tanto, tienden a producir plantas de porte bajo, que dificultan los trabajos de limpieza y cuidado del cultivo, pero que cubren rápidamente el suelo, protegiéndolo de la erosión, en particular la hídrica. Una ramificación tardía tiende a producir plantas erectas, con buena producción de estacas que facilitan el cuidado del cultivo, pero que dejan expuesto el suelo a los factores de erosión. Cuanto mayor sea el ángulo, más abierta será la arquitectura y más bajo su porte. En general, este tipo de arquitectura es indeseable desde el punto de vista agronómico.

Otras ramificaciones laterales en el mismo nudo, conocidas como “chupones”, son esporádicas y dependen de la densidad de siembra, las condiciones climáticas, la fertilidad del suelo y el cultivar. Estas se originan en las yemas axilares del tallo principal, y generalmente son más delgadas que el resto, con entrenudos largos y hojas más pequeñas.

La estructura interna del tallo es típica de las dicotiledóneas. La capa más externa es la epidermis, seguida por el tejido cortical. El centro es ocupado por una médula prominente, compuesta de células parenquimatosas. A medida que el diámetro del tallo aumenta, se acumulan grandes cantidades de xilema que le dan al tallo maduro una consistencia leñosa al generar el suber o corcho en remplazo de la epidermis (Ceballos y de la Cruz, 2002).

### 2.5.2. Hojas

El número total de hojas producidas por la planta, su longevidad y capacidad fotosintética son características influidas por las condiciones ambientales. Son caducas y con lámina foliar palmeada. El número de lóbulos es variable e impar (3 y 9 lóbulos), y miden de 4 a 20 cm de longitud y entre 1 y 6 cm de ancho. Cabe destacar que los lóbulos centrales son de mayor tamaño que los laterales (Figura 3).



Figura 3. Hojas palmeadas con número de lóbulos, colores del haz y peciolo variables.

El tamaño es una característica típica de cada variedad, aunque depende también de las condiciones ambientales. Las producidas en los primeros meses de vida de la planta son más grandes que las producidas después del cuarto mes.

El color es una característica varietal, pero puede variar con la edad de la planta. Las hojas maduras pueden ser desde púrpura, verde oscuro, hasta verde claro. Es común observar brotes apicales púrpuras, pero a medida que las hojas crecen y se desarrollan, cambian a una coloración verdosa. El color del cogollo es una característica muy útil para la identificación varietal, pues es relativamente constante. El color de la nervadura oscila entre verde y morado, el cual puede ser igual o diferente en el haz y envés de la hoja. Este carácter puede ser utilizado en la descripción varietal.

El pecíolo puede tener una longitud de entre 9 a 20 cm, delgado y de pigmentación variable (verde a morado), dependiendo de la variedad. No siempre el color del pecíolo coincide con el de la nervadura. En el punto de inserción con el tallo se pueden observar dos estípulas de 0.5 a 1 cm de largo. Estas estípulas pueden o no permanecer adheridas al tallo una vez que la hoja se ha desarrollado completamente.

Las hojas maduras son siempre glabras, sin embargo, las hojas del cogollo pueden o no ser pubescentes, su presencia está estrechamente relacionada a la resistencia de trips.

El haz de la hoja está cubierto por una cutícula cerosa brillante, mientras que el envés es opaco y en él que se encuentran localizados la mayoría de las estomas, aunque algunas variedades también presentan abundantes estomas en el haz (Ceballos y de la Cruz., 2002).

### **2.5.3. Raíz**

La principal característica de las raíces de la yuca es su capacidad de almacenamiento de almidón, razón por la cual es el órgano de la planta que hasta el momento ha tenido un mayor valor económico.

Cuando la planta proviene de semilla sexual, se desarrolla una raíz primaria pivotante y varias secundarias. Aparentemente, la raíz primaria siempre evoluciona

para convertirse en una raíz tuberosa y es la primera en hacerlo. Si la planta proviene de estaca, se forman raíces adventicias en la base inferior cicatrizada (Figura 4). Estas raíces al desarrollarse, inicialmente forman un sistema fibroso, pero después algunas de ellas (< 10) inician su engrosamiento y se convierten en raíces tuberosas (Ceballos y de la Cruz, 2002).

Las características de las raíces reservantes son útiles en la identificación de genotipos en este cultivo, dada su amplia variabilidad, por ejemplo: el color externo de las raíces, el color de corteza (felodermis), grosor; forma y tamaño, características dependientes tanto de la variedad como de las condiciones ambientales en que la planta crece (Ceballos y de la Cruz, 2002), así como el color de la pulpa, tipo de inserción de las raíces y la posición o dirección de crecimiento (Marín *et al.*, 2008).

El área de exploración puede llegar hasta un metro de profundidad, esto explica su crecimiento en suelos pobres. Las raíces son relativamente gruesas y escasamente ramificadas y los pelos radicales pueden estar presentes, pero no son muy abundantes (Arizmendi, 2001).

El grosor de la corteza o cascara de la raíz va a incidir en la resistencia a enfermedades. En donde, el área proximal y central son las que presentan mayor resistencia (Corredor, 2005).

El contenido de humedad en la corteza y parénquima en yuca puede estar influenciado no solo por las características varietales, sino también por condiciones ambientales y, es que es un factor determinante para el periodo poscosecha de la raíz (Corredor, 2005).

Si se corta transversalmente una raíz de yuca se muestran dos divisiones principales; la corteza externa llamada también súber o corcho y la corteza interna que está formada por felodermis (tejido vivo en constante división) que no lleva esclerénquima como en el tallo (Pérez, 1987).



Figura 4. Raíces tuberosas características en el cultivo de yuca (*Manihot esculenta* Crantz).

#### 2.5.4. Inflorescencia

La estructura básica del arreglo de las flores es el racimo, en esta las flores femeninas ocupan posiciones basales y las masculinas que son más pequeñas y generalmente más numerosas que las femeninas en las distales. Las inflorescencias se forman a partir de yemas en el punto de inserción de las ramificaciones reproductoras en las axilas de las hojas de la parte superior de la planta. La flor masculina es esférica, con diámetro de aproximadamente 0.5 cm, presenta un pedicelo recto y corto, mientras que el de la flor femenina es más grueso y largo. La flor femenina es ligeramente más grande que la masculina, sobre todo en su eje longitudinal. Ambas no presentan ni cáliz ni corola, sino una estructura indefinida llamada perianto, compuesto de cinco tépalos (algo intermedio a los sépalos y pétalos en las flores completas). Los tépalos pueden ser amarillos, rojos o morados (Suárez y Mederos, 2011).

Es una planta monoica (flores unisexuales masculinas y femeninas en una bráctea primaria y una bractéola, dentro de una misma planta). Aunque no todos los cultivares florecen, las que lo hacen presentan protoginia, lo cual favorece la exogamia, por lo que cada individuo es naturalmente un híbrido con altos niveles de heterocigocidad. No obstante, es posible que ocasionalmente flores masculinas y femeninas de distintos racimos, pero de una misma planta, abran de manera simultánea, y cuando ello sucede es posible la autopolinización. La polinización es generalmente entomófila (Ceballos y de la Cruz, 2002; Nicaragua *et al.*, 2004).

Debido a que la yuca tiene la posibilidad de una reproducción vegetativa, las disfunciones reproductivas no son, desde el punto de vista evolutivo, tan negativas como en los cultivos de reproducción exclusivamente sexual. Por lo tanto, es posible encontrar con frecuencia casos de androesterilidad que puede ser de dos tipos: cuando las flores abortan antes de alcanzar madurez o cuando las flores maduran, pero las anteras no producen polen (Ceballos y de la Cruz, 2002).

La floración es una característica de importancia en el mejoramiento de plantas, ya que permite realizar cruces entre clones seleccionados y con ello la obtención de nuevos clones con características deseables (Marín *et al.*, 2008).

#### **2.5.5. Fruto**

Después de la polinización, el ovario toma entre 3 y 5 meses para completar su desarrollo y formar el fruto. Éste es una cápsula ovoidea de 1 a 1.5 cm de largo con 6 aristas longitudinales prominentes, contiene 3 celdas normalmente con una semilla en cada una (Figura 5).

Cuando el fruto está maduro, el epicarpio y el mesocarpio se secan, es entonces cuando el endocarpio, que es de consistencia leñosa, se abre bruscamente para liberar y dispersar a cierta distancia las semillas (Ceballos y de la Cruz, 2002).



Figura 5. Cápsula ovoide de tamaño pequeño provista de seis aristas perfectamente diferenciadas.

Al hacer un corte transversal se observan una serie de tejidos bien diferenciados: epicarpio, mesocarpio y endocarpio (Nicaragua *et al.*, 2004).

#### **2.5.6. Semilla**

Es el medio de reproducción sexual de la planta y por consiguiente de incalculable valor en el mejoramiento genético del cultivo (Nicaragua *et al.*, 2004). La semilla de yuca se de forma ovoide, elipsoidal y mide en promedio 10 mm de largo por 6 mm de ancho y 4 mm de grosor. La testa es lisa de color marrón moteado gris. El embrión está formado por dos hojas cotiledonales, plúmula, hipocótilo y radícula (INIEA, 2006).

#### **2.6. Aporte nutricional y composición química**

Normalmente, el contenido de materia seca en la raíz fluctúa entre 34 y 38 %, con una concentración entre 75 y 80 % de almidón, una cantidad más alta que el de otras raíces y tubérculos (Buitrago *et al.*, 2001).

El follaje y la raíz, son dos productos que cuando son balanceados con otros componentes de la dieta humana como animal, son de alto valor nutritivo. El contenido de vitaminas y minerales en las raíces de la yuca es bajo (Cuadro 3), pero por el contrario las hojas son uno de los vegetales con mayor concentración proteica, aminoácidos, vitaminas, minerales, ácidos y carbohidrato (Fuenmayor *et al.*, 2005).

Cuadro 3. Componentes físico- químicos en raíz y follaje de yuca en fresco y seco.

Componente	Fresco		Seco	
	Raíces	Follaje	Raíces	Follaje
Humedad	65.00	72.00	12-14	12-14
Energía metabólica*	1.20	0.34	3.0-3.1	1.38
Proteína	1.10	6.50	2.80	21.00
Fibra	1.20	4.70	3.20	15.00
Grasa	0.47	1.80	1.20	5.90
Ceniza	1.12	1.70	2.90	5.60
Metionina	0.01	0.07	0.03	0.28
Cistina	0.01	0.04	0.02	0.16
Lisina	0.02	0.37	0.06	1.60
Triptófano	-	0.05	-	0.20
Treonina	0.01	0.27	0.03	1.17
Vitamina A	19.50	20.00	55.00	70.00
Tiamina (B- 12) (mg)	0.05	0.13	0.16	0.46
Riboflavina (B- 2) (mg)	0.3	0.26	0.08	0.91
Niacina (mg)	0.06	1.6	0.17	5.7
Ácido ascórbico (mg)	30.00	290.00	86.00	980.00
Calcio	0.10	0.52	0.30	1.70
Fósforo	0.15	0.09	0.40	0.26
Potasio	0.25	0.34	0.65	1.20

\*Mcal kg

mg= miligramos

Fuente: Buitrago *et al.*, 2001.

## 2.7. Distribución geográfica del género *Manihot* y especies afines a yuca

La familia Euphorbiaceae donde pertenece la yuca es una de las familias más diversas entre las angiospermas, distribuidas principalmente en zonas tropicales y subtropicales del mundo (Martínez *et al.*, 2002).

En la república mexicana existen en esta familia, 50 géneros y 826 especies, de las cuales 55.52 % son endémicas, no tomando en cuenta 21 especies que son cultivadas. Estos resultados la ubican como la sexta en importancia nacional en base al número de especies y como la cuarta (entre las siete más diversas del país) en porcentaje de endemismos, seguido de las Cactaceae (72 %), Rubiaceae (69 %) y Compositae (66 %). La mayor concentración de especies se encuentra en regiones de selva baja caducifolia y matorrales (Martínez *et al.*, 2002).

El género *Manihot* se encuentra en cerca de 180 naciones, compuesto principalmente de arbustos. En América se distribuye desde Arizona (EE. UU.) hasta Argentina, concentrándose en México y norte de Brasil (Terranova, 2004). Dentro del género se han clasificado más de un centenar de especies, de las cuales la única cultivada comercialmente es *M. esculenta* Crantz, cuyos sinónimos son: *M. utilissima*, *M. edulis* y *M. aipi*. Se han encontrado otros grupos que tienen gran afinidad morfológica con la especie cultivada en México, América Central (*M. aesculifolia* y *M. rubricaulis*), las Guayanas, Brasil, Paraguay y Argentina (*M. pilosa*). En regiones tropicales bajas se puede hallar a *M. leptopoda* y *M. caerulescens* (Pincay, 2010).

En México, la distribución de especies de *Manihot* se extiende hasta la zona árida y templada a nivel de huerto familiar, en los estados de Sonora, Baja California Sur, Chiapas, Oaxaca, Guerrero, Jalisco, Nayarit y Colima. Mientras que, en la franja costera del golfo de México, desde la Península de Yucatán, Tabasco, Veracruz y sur de Tamaulipas (Meneses *et al.*, 2014). En el Cuadro 4, se pueden observar las especies reportadas para la república mexicana.

Cabe destacar que es muy marcada la diversidad de variedades criollas de yuca particularmente en América del Sur, donde el cultivo fue domesticado por primera vez (Torres, 2012), al respecto, se reportó que para el estado de Campeche en México, se encuentra gran diversidad en los municipios de Campeche, Tenabo y Hopelchen (región noreste), por otro lado, para el estado de Veracruz se identificaron

al menos 17 municipios de la zona centro, y no se descarta que la zona norte del estado exista más germoplasma (Meneses *et al.*, 2014).

Cuadro 4. Especies del género *Manihot* distribuidas en México.

Género y especie	Autor
<i>Manihot</i> sp	
<i>M. caudata</i>	Greenm.
<i>M. rubricaulis</i>	I.M. Johnst.
<i>M. rubricaulis</i> var. <i>Isoloba</i>	Standl, D.J. Rogers & Appan.
<i>M. isoloba</i>	Standl.
<i>M. aesculifolia</i>	Kunth.
<i>M. chlorosticta</i>	Standl. & Goldman.
<i>M. carthagenensis</i>	Müll. Arg.
<i>M. esculenta</i>	Crantz
<i>M. oaxacana</i>	D.J. Rogers & Appan
<i>M. colimensis</i>	Croizat
<i>M. angustiloba</i>	Müll. Arg.
<i>M. crassipétala</i>	Pax & K. Hoffm.
<i>M. esculifolia</i>	
<i>M. rhomboidea</i> sp <i>microcarpa</i>	D.J. Rogers & Appan
<i>M. microcarpa</i>	Müll. Arg.
<i>M. auriculata</i>	McVaugh.
<i>M. michaelis</i>	McVaugh.
<i>M. pringlei</i>	S. Watson.
<i>M. tomatophylla</i>	Standl.
<i>M. intermedia</i>	Weath.
<i>M. pauciflora</i>	Brandegees.
<i>M. mcvaughii</i>	V.W. Steinm.
<i>M. parvicocca</i>	Croizat
<i>M. triloba</i>	McVaugh ex Miranda.
<i>M. rhomboidea</i> sp <i>rhomboidea</i>	
<i>M. rhomboidea</i>	Müll. Arg.

Fuente: SINAREFI, 2008.

## 2.8. Recursos fitogenéticos

Los recursos fitogenéticos constituyen la base biológica para la seguridad alimentaria mundial, conformados por la diversidad de material genético que contienen las variedades tanto tradicionales, modernas y parientes silvestres afines a las cultivadas. Los parientes silvestres son fuente de genes de resistencia contra plagas y enfermedades, factores de estrés como las altas temperaturas, sequías y características asociadas con la calidad nutricional. Estos recursos son la materia prima de los fitomejoradores, además que representan el mayor aporte para la producción y diversidad genética que utilizan los agricultores (FAO, 1993; FAO, 2014).

Se ha encontrado que *M. glaziovii* presenta resistencia al virus del mosaico, *M. tristis* ha mostrado resistencia a mosquita blanca (*Aleurotrachelus sociales*), y otras especies de *Manihot* presentan características de bajo nivel de HCN en sus raíces, alto contenido de proteína cruda, tolerancia de crecimiento en suelos pobres y climas semiáridos (Nassar *et al.*, 2008; Carabalí *et al.*, 2010)

La yuca cultivada y sus parientes silvestres pueden crecer en simpatria (coexistencia) y cruzarse produciendo híbridos (Palacios, 2007), por el cual es imprescindible establecer métodos de control para evitar el flujo génico y conservar las poblaciones silvestres, frente a una futura liberación de yuca genéticamente modificada (Velázquez *et al.*, 2012).

Ante el cambio climático y diversos factores como los políticos, sociales y culturales, han determinado que especies como la yuca sean remplazadas por la introducción de otras nuevas, las cuales son ajenas al ecosistema de destino, lo que provoca que especies endémicas sean olvidadas o lleguen a su extinción (Puerres, 2009).

## **2.9. Variabilidad genética**

Franco e Hidalgo (2003) mencionan que la suma de todos los individuos con sus respectivas variantes se conoce como variabilidad genética de una especie. La población de individuos que conforman una especie vegetal está bajo una continua interacción dinámica de adaptación con los factores bióticos y abióticos en los que crece. Cada especie adapta la información contenida en su genoma de acuerdo con las necesidades de supervivencia en su entorno, el resultado de esta interacción adaptativa se traduce en la acumulación de la información genética que a manera de variantes las especies guardan entre los miembros de su población, y que se va transmitiendo a las siguientes generaciones a través del tiempo. De esta manera, aunque la población de individuos en una especie comparte características comunes

y se pueden cruzar entre ellos, asimismo es cierto que en cada uno existen muchas variantes individuales.

Mesoamérica es una de las regiones del mundo con mayor riqueza de flora, fauna y centro de origen y diversidad de plantas. Dentro de la diversidad genética de interés para la agricultura de México se distinguen dos grupos: los autóctonos y los introducidos. Los primeros son aquellos originarios del país, generalmente con diversidad considerable, la cual es base para la producción y la obtención de nuevas variedades, con técnicas tradicionales y biotecnológicas de mejoramiento genético (Hernández, 2013). Para el caso de la especies introducidos son aquellos traídos accidental o intencionalmente fuera de su distribución natural actual o en el pasado y que han encontrado las condiciones para sobrevivir (Aguilar *et al.*, 2007).

La reproducción asexual puede ser combinada con la reproducción sexual como la alógamia, condición que explica su alta heterocigosidad lo cual favorece la segregación y en conjunto con la distribución geográfica e intercambio de materiales, contribuyen a la alta variabilidad encontrada en yuca (Alzate *et al.*, 2010).

Las fuentes de variabilidad que utilizan los campesinos son de dos tipos: variedades suministradas por los vecinos o parientes, y clones nacidos en el campo debido a cruces entre variedades locales involuntarios. Este suceso origina diferentes identidades, por lo que es probable que se conozcan con diferentes nombres según el sitio donde se planten o donde se haya adquirido el material. La variabilidad intra e interespecifica se calcula por medio de un análisis de la caracterización morfológica, marcadores moleculares, marcadores isoenzimáticos, etc. (Fuenmayor *et al.*, 2005; Alzate *et al.*, 2010).

Torres (2012) menciona que las características que presentan mayor variabilidad morfológica en yuca son: la altura a la primera ramificación, el número de lóbulos, peso de la parte aérea de la planta, ancho del lóbulo, peso del rendimiento de raíz no comercial. Demey *et al.*, (2003) nombra al color de las ramas terminales y longitud del lóbulo mientras que Beovides *et al.*, (2012) menciona el color del pecíolo,

el color externo del tallo, color externo de la raíz, número de raíces comerciales, niveles de ramificación, altura de la planta, contenido de materia seca y porcentaje de almidón.

El color verde en hojas apicales y color de las flores, está entre los atributos de las plantas fácilmente observables, que pueden ser altamente heredables y que, por tanto, contribuyen a una discriminación rápida de fenotipos, por tanto, constituye una discriminación de fenotipos pues se expresan en la misma forma y en el mismo ambiente (Beovides *et al.*, 2014).

## **2.10. Nicho ecológico**

Actualmente la diversidad biológica mundial presenta una serie de amenazas que condicionan su permanencia, entre las más relevantes destaca la pérdida de los hábitats asociada con la fragmentación de los mismos (Martínez, 2010). Aunque México está considerado entre los más megadiversos, existe poca documentación de este patrimonio, puesto que la gran mayoría cuenta únicamente con el nombre científico y algunos datos sobre su variación morfológica y/o distribución geográfica, pero sorprendentemente ha dado poca importancia a la distribución geográfica de las plantas. Para superar la carencia de este conocimiento, se han definido modelos predictivos que ayudan a estimar su distribución potencial en función del nicho ecológico (Villaseñor y Téllez, 2004).

Hutchinson (1957) definió como nicho ecológico al conjunto de condiciones bióticas y abióticas en la que una especie es capaz de resistir y mantener estables los tamaños de población. Según esta definición, cada dimensión del nicho representa una variable ambiental importante para la supervivencia de la especie. Las variables que lo forman pueden representarse mediante valores numéricos como la temperatura, u otros tipos de valores como la textura del suelo.

El uso de modelos estadístico- matemáticos, en los que se basan los principios del nicho ecológico, ayudan a determinar dónde se encuentran las condiciones

ambientales más adecuadas para que la especie prospere, en función de distintos parámetros obtenidos de recolectas previas. La mayoría de los modelos que predicen la presencia probable de una especie en un sitio no explorado, generalmente correlacionan los sitios ya conocidos donde la especie prospera con un conjunto de factores ambientales, especialmente climáticos (Villaseñor y Téllez, 2004).

Existen diversos algoritmos para estimar la probabilidad de presencia de una especie en función de un conjunto de variables predictoras. Se pueden distinguir por la forma en que matemáticamente estiman el nicho potencial de las especies modeladas. En este sentido, se encuentran métodos basados en registros de presencia- ausencia como: GLM (Generalized Linear Models), GAM (Generalized Additive Models), redes neuronales y los algoritmos basados únicamente en presencias como Bioclim, Domain, ENFA, GARP y MaxEnt, entre otros (Liras, 2008).

Específicamente MaxEnt, estima la probabilidad de ocurrencia de la especie buscando la distribución de máxima entropía (lo más uniforme posible) sujeta a la condición de que el valor esperado de cada variable ambiental según esta distribución coincide con su media empírica. El resultado del modelo expresa el valor de idoneidad del hábitat para la especie como una función de las variables ambientales (Phillips *et al.*, 2006).

La técnica primero obliga al modelo de distribución a agrupar ciertos rasgos (capas ambientales) de datos empíricos (datos de entrenamiento) y eligiendo la condición de probabilidad que satisface estas limitantes que son lo más uniforme posibles básicamente, si un pixel en el estudio tiene la distribución similar a los datos de entrenamiento, entonces los valores más altos son asignados y, en consecuencia, pixeles con diferente distribución les asignada valores inferiores.

Algunas de las ventajas de MaxEnt incluyen:

- Requiere datos de presencia, pero puede usar datos de ausencia, y en ambos casos en conjunto con variables ambientales.

- Puede usar datos continuos y categóricos y puede incorporar interacciones entre distintas variables.
- Utiliza algoritmos (entropía máxima) que han sido desarrollados para garantizar convergencia en una óptima distribución de probabilidad.
- La distribución probabilística de MaxEnt tiene una definición matemática concisa (Buehler y Ungar, 2001).

Sin embargo, cualquier método de modelado que sea empleado para predecir la distribución, producirá dos tipos de errores: omisión y comisión. El primero se refiere al área en donde la especie está presente pero el modelo no predice su presencia; el segundo, al área en donde la especie no se presenta y el modelo predice su presencia (Alcantar, 2001).

El nicho ecológico de la yuca hace referencia a las condiciones ambientales donde habita y confluyen diversos factores bióticos y abióticos que le permiten subsistir en el espacio y en el tiempo. Se ha determinado que la yuca tiene una gran capacidad de adaptación climática (plasticidad) ya que se desarrolla en regiones áridas, secas, xerófilas y selvas tropicales lluviosas, beneficiando su distribución por adaptarse a las distintas condiciones de humedad (50 a 90 % con una óptima de 72 %) y zonas de escasa pluviosidad (<2000 mm de precipitación anual) (Cartay, 2004; FAO, 2014).

Se comporta satisfactoriamente a distintas temperaturas, variando entre 15 y 35° C, con una óptima de 24 °C se desarrolla bien en suelos predominantemente francos de buen drenaje, aunque suele desarrollarse en suelos ácidos y de escasa fertilidad (Cartay, 2004). Sin embargo, no tolera encharcamientos ni condiciones salinas. Posee amplia adaptación ya que se siembra desde los 0 a 1 800 msnm. Su ciclo de crecimiento desde la siembra a la cosecha, depende de las condiciones ambientales: precoz de 7 a 12 meses en áreas más cálidas y es más tardío en regiones con alturas de 1 300 a 1 800 msnm (12 meses o más) (Cartay, 2004; FAO, 2014).

## 2.11. Disponibilidad y conservación en bancos de germoplasma

La conservación de la biodiversidad puede, en teoría, aplicarse a tres niveles de organización: génica, organísmica y ecológica. Con los avances de la ingeniería genética en el aislamiento, secuenciación y transferencia de genes ya son posibles los grandes bancos de genes para la conservación. Sin embargo, hay que tomar en cuenta que, en la mayoría de los casos, los genes no se conservan individualmente, sino formando parte de organismos, poblaciones o ecosistemas (Iriondo, 2001).

Al igual que los genes de un organismo se asocian entre ellos a través de múltiples interacciones, los individuos de una especie o de diferentes especies interaccionan dentro de un ecosistema, por ello, cuando se conserva con el máximo nivel de información (el ecosistema), no sólo se conservan cada uno de sus componentes, sino también todas sus relaciones recíprocas. Consecuentemente, se considera que la forma más lógica y el método más económico de conservar una entidad biológica es dentro del ecosistema del que forma parte (Iriondo, 2001).

Las técnicas de conservación *ex situ* son componentes fundamentales dentro de un programa de conservación global que contemplan esencialmente las operaciones de almacenamiento y propagación de germoplasma. El almacenamiento se lleva a cabo mediante el mantenimiento de colecciones de plantas en jardines botánicos y el establecimiento de bancos de germoplasma (Iriondo, 2001). De esta manera se resguarda la variabilidad, asegurando la fuente contra la erosión genética (Demey *et al.*, 2003).

El cultivo de yuca es un buen modelo de estrategias complementarias de conservación y varias opciones de métodos *ex situ* como colecciones en campo, conservación de semillas, conservación *in vitro* y crio conservación. La alta demanda indica que éste recurso es de interés para los mejoradores y científicos de 67 países, donde el principal usuario de éste germoplasma y donde se resguarda la mayor cantidad de materiales es en el CIAT en Colombia, quienes poseen un total de 64 %,

y otros más en: Brasil, Uganda, India, Malawi, CATIE (Costa Rica), Nicaragua (INTA), INIFAP (México) (Mafla y Debouck, 2007).

En México, desde el 2008 se han realizado esfuerzos para su conservación mediante la Red Yuca, el cual es un proyecto encaminado por el SINAREFI. Este organismo inicio sus actividades con un diagnóstico de estatus del recurso en el territorio y la generación de su respectivo Plan Estratégico. Está integrada por 17 investigadores que pertenecen al INIFAP, la Universidad Popular de la Chontalpa (UPCH), la Universidad Nacional Autónoma de Chiapas (UNACH), la Universidad Tecnológica de Tabasco y la Secretaría de Educación Pública (SEP), quienes trabajan con más de 15 productores de Tabasco y Veracruz. Así es como el Banco de Germoplasma de yuca resguarda una colección de campo con más de 100 accesiones en el INIFAP, campo experimental Cotaxtla (SINAREFI, 2008).

La conservación de recursos genéticos es aceptada de forma generalizada como una responsabilidad social, dentro del contexto amplio de preservación de la biodiversidad. En este escenario, la pérdida de recursos genéticos por la sustitución de variedades tradicionales por cultivares modernos, hay que añadirle la ocasionada por especies vegetales silvestres a consecuencia del deterioro de los ecosistemas naturales por la creciente actividad humana. La preocupación por la pérdida de la biodiversidad vegetal y la necesidad de tomar medidas para frenarla quedó especialmente patente en la firma del Convenio sobre Diversidad Biológica en Río de Janeiro (Iriondo, 2001).

## **2.12. Mejoramiento genético en *Manihot esculenta* Crantz.**

Todos los métodos de mejoramiento tienen como objetivo seleccionar los mejores genotipos dentro de una población, o crear genotipos nuevos con características previamente definidas; posteriormente se someten a evaluaciones mucho antes de distribuir el material mejorado (Camarena *et al.*, 2014). Y es que hacer una descripción varietal basado en aspectos morfo- fisiológicos bajo ciertas

condiciones en yuca es sencillo, pero las posibilidades de reproducirla son escasas (Montaldo, 1985).

Para realizar en forma exitosa el mejoramiento de cualquier cultivo, el fitomejorador no sólo debe manejar técnicas cuidadosas y precisas de cruzamiento y selección, sino aplicar métodos adecuados para obtener la variedad mejorada. A la par de tener un conocimiento adecuado del cultivo, principalmente en lo referente a su forma de reproducción asexual o sexual (Camarena *et al.*, 2014).

Acorde a lo anterior, el Programa de Yuca del CIAT, ha desarrollado germoplasma élite mediante el uso de técnicas de mejoramiento como la selección recurrente de ciclo rápido y la producción de haploides duplicados, además de germoplasma fuente. El resultado, son materiales con tolerancia al deterioro fisiológico poscosecha, resistencia a mosca blanca (*Bemisia spp.*), almidón libre o con un elevado contenido de amilosa, así como un alto contenido de carotenoides de provitamina A (CIAT, 2016).

El proceso de mejoramiento genético actualmente se ve muy favorecido por la implementación de nuevas herramientas del área de biotecnología. El CIAT, ha desarrollado el mapa genético molecular de *Manihot esculenta*, y ha logrado identificar algunos marcadores moleculares asociados a características interés agronómico. Adicionalmente, que se pueden transferir genes provenientes de la misma especie o de especies silvestres, pero no mediante cruzamientos sexuales, si no por medio de técnicas de transformación genética, lo que permite una rápida transferencia de genes útiles de una variedad a otra (Ceballos y de la Cruz, 2002)

El mejoramiento genético puede contribuir al perfeccionar el grado de sostenibilidad de los sistemas agropecuarios mediante el desarrollo de genotipos adaptados a nuevos requerimientos ambientales y nuevas demandas del mercado de consumo (Camarena *et al.*, 2014). En este sentido, las nuevas variedades de yuca

mejoradas brindarán grandes beneficios para los consumidores de escasos recursos, así como ventajas significativas para la industria de sus derivados (CIAT, 2016).

En México, dentro de los resultados más importantes de investigación de la Red Yuca, destaca un diagnóstico sobre la distribución y aprovechamiento del recurso, la colecta y resguardo de accesiones que permiten conocer la diversidad existente y al mismo tiempo tener material disponible para las actividades de caracterización; el trabajo en conjunto con productores bajo el sistema de mejoramiento genético participativo para la identificación de materiales con características favorables como: facilidad de pelado, mejor sabor y mayor rendimiento; así como la multiplicación de 5 genotipos de fácil pelado y mayor producción para la entrega a productores de Veracruz (SINAREFI, 2008).

### **2.13. Caracterización de germoplasma vegetal**

Según la FAO (2014) la caracterización es la descripción del germoplasma vegetal y constituye una herramienta para la identificación de accesiones, la confirmación del tipo, y la identificación de duplicados en una colección. La caracterización determina la expresión de caracteres altamente heredables, ya sea morfológico, fisiológico o agronómico, incluyendo caracteres agrobotánicos como la altura de la planta, morfología de la hoja, color de la flor, características de la semilla, fenología y la capacidad de sobrevivir al invierno de las plantas perennes.

La gran variedad de ecotipos y denominaciones hace necesario entonces la recolección de yuca y su resguardo en Bancos de germoplasma; así como la necesidad de evaluarlos y caracterizarlos, utilizando para tal fin descriptores definidos, que permiten la sistematización de los caracteres estudiados en todos los clones. La interacción de los descriptores morfológicos con los descriptores bioquímicos y moleculares, conjuntamente con los datos de pasaporte, constituyen una herramienta importante para la identificación a nivel de especie en las colecciones (Fuenmayor *et al.*, 2005).

El uso de un conjunto de descriptores fenotípicos, fisiológicos, morfológicos y de información sobre el sistema de reproducción seleccionados a partir de listas de descriptores utilizados a nivel internacional<sup>1</sup> incrementa la utilidad y referenciación cruzada de los datos (FAO, 2014).

Para la caracterización y la evaluación morfoagronómica es necesario sembrar el material genético y evaluarlo en lotes experimentales o en campos de agricultores. En esta etapa, se hace una valoración agronómica del potencial productivo y se evalúa la tolerancia a plagas, enfermedades y estrés bajo condiciones abióticas, en un diseño experimental con testigos de referencia como variedades comerciales o cultivares de uso común en la región (Torres, 2012).

### **2.13.1. Caracterización morfológica**

La caracterización morfológica de los recursos fitogenéticos es la determinación de un conjunto de caracteres mediante el uso de descriptores definidos que permiten diferenciar taxonómicamente a las plantas. Algunos caracteres pueden ser altamente heredables, fácilmente observables y expresables en la misma forma en cualquier ambiente. Las características morfológicas se utilizan para estudiar la variabilidad genética, para identificar plantas y para conservar los recursos genéticos. Por lo tanto, es el primer paso en el mejoramiento de los cultivos y programas de conservación (Hernández, 2013).

Toda descripción botánica se basa en el análisis de caracteres morfológicos que, cuando son constantes, permiten tipificar a la especie. Sin embargo, la expresión de muchas características es variable y profundamente influida por el ambiente. El efecto de interacción genotipo x ambiente es muy notable en el caso de la yuca, por ejemplo, la arquitectura típica de una determinada variedad, en un ambiente específico, cambia drásticamente cuando la misma variedad es plantada en otra localidad con otro ambiente diferente. Esta interacción dificulta la descripción

morfológica de la especie, así como la descripción varietal (Ceballos y de la Cruz, 2002).

### **2.13.2. Descriptores morfológicos**

La calidad del descriptor morfológico está definida principalmente por la experiencia del curador, investigador o persona que realiza la caracterización. Asimismo, los criterios que definen un descriptor son la heredabilidad, valor taxonómico y valor agronómico (INIEA, 2006). Existen distintas categorías de datos, según la expresión del descriptor (IPGRI, 2003).

Pueden ser tanto cualitativos como cuantitativos. Si se expresa en forma cualitativa, se pueden generar datos binarios (también llamados de doble estado), datos con secuencia (ordinales) y datos sin secuencia (nominales). Si se expresa en forma cuantitativa, los datos generados pueden ser discontinuos (llamados también discretos) y continuos. Las siguientes sugerencias ayudan en el registro práctico de los datos:

- Para los datos cualitativos de tipo binario, cada descriptor presenta dos estados (presente = 1, ausente = 0). Por ejemplo, presencia de flores blancas (1), ausencia de flores blancas (0).
- Para los datos cuantitativos de tipo ordinal o con secuencia, el descriptor se registra utilizando una serie de estados predefinidos; por ejemplo, para altura de la planta: 1 = corta (<0.5 m), 3 = intermedia (>0.5 <1.5 m), 5 = alta (>1.5 m).
- Para los datos cualitativos de tipo nominal o sin secuencia el descriptor se registra usando una serie de estados previamente definidos; por ejemplo, 1 = blanco, 2 = crema, 3 = amarillo.
- Para los datos cuantitativos de tipo continuo el descriptor se registra en unidades internacionales (SI) estándar, por ejemplo, altura de la planta = 0.9 m; peso de 100 semillas = 250 g.

Las características morfológicas cualitativas son las que tienen mayor acción en la manifestación del carácter y están determinadas por pocos genes, mientras que las características morfológicas cuantitativas, están determinadas por muchos genes siendo las que tienen gran interacción con el medio ambiente, es decir las que presentan variación (INIEA, 2006), tales como la presencia o ausencia de precipitaciones, fertilidad del suelo, daño por plagas y enfermedades etc. De ellas el vigor, color de hoja apical, ancho del lóbulo central, longitud del peciolo, altura de la planta, longitud de la raíz son altamente susceptibles (Pincay, 2010).

En la actualidad se cuenta con cuatro listas de descriptores para el cultivo de yuca que han surgido para su caracterización, así es como se tienen los descriptores del International Board for Plant Genetic Resources (IBPGR) en 1983, empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuaria (EMBRAPA) en 1998, Instituto Internacional de Agricultura Tropical (IITA) en 1998 y la del Instituto Nacional de Investigación y Tecnología (INIA) en el 2001 (INIEA 2006).

#### **2.14. Métodos estadísticos aplicados a la caracterización morfológica**

En los últimos años se han realizado esfuerzos importantes en el registro y almacenamientos de los datos de pasaporte y la caracterización de accesiones, así como en el intercambio de la información. No obstante “con algunas excepciones”, existe un conocimiento limitado sobre cómo analizar estos datos, las técnicas y las herramientas estadísticas disponibles y los diferentes tipos de análisis posibles según las necesidades y los objetivos de los investigadores (IPGR, 2003).

Los métodos para el análisis de datos de caracterización, tiene el propósito de reducir el volumen de información para obtener conclusiones acerca de la variabilidad y la utilidad del germoplasma, por tanto, los datos deben representar fielmente las características y el comportamiento de las accesiones. Se pueden analizar mediante el empleo de métodos simples (promedio, media aritmética, rango de variación,

desviación estándar y el coeficiente de variación) o complejos como los multivariados (IPGR, 2003).

El análisis multivariado es usado para describir un conjunto de datos provenientes de numerosas observaciones o variables para cada individuo o unidad estudiada (Abdelmonem y Virguinia, 1996). Cuadras (2014) menciona que el análisis multivariado es la parte de la estadística y del análisis que: estudia, analiza, representa e interpreta los datos, resultado de observar más de una variable estadística sobre una muestra de individuos. La información estadística en el AM es de carácter multidimensional, por lo tanto, la geometría, el cálculo matricial y las distribuciones multivalentes juegan un papel fundamental.

La virtud principal del análisis multivariado en la caracterización de germoplasma consiste en permitir la descripción de las accesiones tomando en cuenta simultáneamente varias características, sin dejar de considerar la relación existente entre ellas (IPGR, 2003).

Las técnicas multivariadas suelen ser útiles para examinar datos en un intento para saber si hay información que valga la pena y sea valiosa (Martínez, 2013). Su importancia y utilidad son más visibles al incrementarse el número de variables como el número de unidades experimentales a evaluar, en este sentido los métodos más usados son; varianza, el coeficiente de variación, correlación lineal, selección por pasos, análisis de componentes principales y análisis de conglomerados (Hernández, 2013).

El análisis de componente principales son técnicas utilizadas para reducción de la variación en dimensiones concretas, donde permite examinar datos en un espacio de menor dimensión que el original de las variables. Los resultados se grafican sobre ejes ortogonales (componentes principales) y que delimitan un espacio bi o tridimensional, donde los individuos se sitúan dentro del espacio delimitado por los

componentes según los valores de sus coordenadas con respecto a estas (Rienzo *et al.*, 2008).

Los métodos de agrupamiento más usados en el análisis conglomerado son el jerárquico, que forma grupos a varios niveles y los no- jerárquico o de partición que también forma grupos a través de criterios predefinidos (IPGR, 2003).

La versatilidad del análisis de conglomerados jerárquico radica en la posibilidad de utilizar distintos tipos de medidas para estimar la distancia existente entre los casos o las variables, la posibilidad de transformar la métrica original de las variables y la posibilidad de seleccionar de entre una gran variedad de métodos de aglomeración. En general, es conveniente valorar distintas soluciones para elegir la más consistente (García y Segovia, 2014).

### **3. PLANTEAMIENTO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA DE ESTUDIO**

La yuca como otras especies está amenazada por diversos factores como: cambio climático, destrucción del hábitat, desastres naturales, reemplazo de variedades locales por variedades comerciales, cambio de uso de suelo, crecimiento demográfico, el fenómeno de la migración que tanto ha impactado en la agricultura de México, pérdida del conocimiento local de los recursos, legislación y políticas inapropiadas, que en conjunto encausan a la erosión genética. Por lo anterior, la diversidad de especies está desapareciendo de manera alarmante antes de ser identificadas y que sus propiedades no sean conocidas, lo que limita su disponibilidad para el uso de las generaciones presentes y futuras para resolver problemas de alimentación y la agricultura. Por ende, es necesario plantear estrategias que conduzcan a proteger este recurso genético; entre éstas, la conservación a través de bancos de germoplasma, en donde los genotipos deben ser debidamente identificados y evaluados.

Accesiones de yuca provenientes del estado de Chiapas y conservadas en el Banco de germoplasma del campo experimental Cotaxtla, han sido evaluadas preliminarmente, pero es necesario realizar caracterizaciones morfológicas completas que permitan conocer las particularidades del germoplasma resguardado. De esta manera, los resultados darán pauta para identificar materiales promisorios que permitan a futuro continuar con las evaluaciones de campo, elegir estrategias para un mejor aprovechamiento sostenible e integral, lo que contribuirá la base para el mejoramiento genético. Aunado a lo anterior, se hace necesario conocer la distribución potencial de yuca en territorio mexicano para ampliar el conocimiento sobre aquellas zonas donde se predice su distribución, lo que permitirá realizar colectas con mejores resultados, además que brindará la posibilidad tanto a campesinos, centros de investigación e iniciativa privada acceder y estimular el cultivo de la especie.

## 4. OBJETIVOS E HIPÓTESIS

### 4.1. Objetivo general

Determinar las características morfológicas y la distribución potencial de 40 accesiones de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) a nivel *ex situ* provenientes del estado de Chiapas y resguardadas en el Banco de Germoplasma de Yuca (BGY) del INIFAP - Campo Experimental Cotaxtla.

### 4.2. Objetivos específicos

- Describir la variación morfológica dentro y entre las 40 accesiones de yuca.
- Valorar morfológica y agronómicamente 40 accesiones de yuca que permitan complementar información del Banco de Germoplasma.
- Elaborar un mapa de distribución geográfica real y potencial de las accesiones.

### 4.3. Hipótesis

Las 40 accesiones de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) se distinguirán por su variabilidad morfológica, lo cual permitirá recomendar su uso para la alimentación y la agricultura en México.

## 5. MATERIALES Y MÉTODOS

### 5.1. Ubicación del sitio experimental

Las accesiones están resguardadas en el Banco de Germoplasma de Yuca del campo experimental Cotaxtla, perteneciente al Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), en el kilómetro 34.5 de la carretera libre Veracruz-Córdoba, en el municipio de Medellín de Bravo, Veracruz, México. Situado geográficamente a los 18° 50' LN, y 97° 43' LO, y una altitud de 14 msnm (Figura 6) (Rosas *et al.*, 2012). La temperatura media, mínima y máxima anual es de 25.4 °C, 19.5 °C y 31.3 °C, la precipitación media anual es de 1336.8 mm (Díaz *et al.*, 2006).

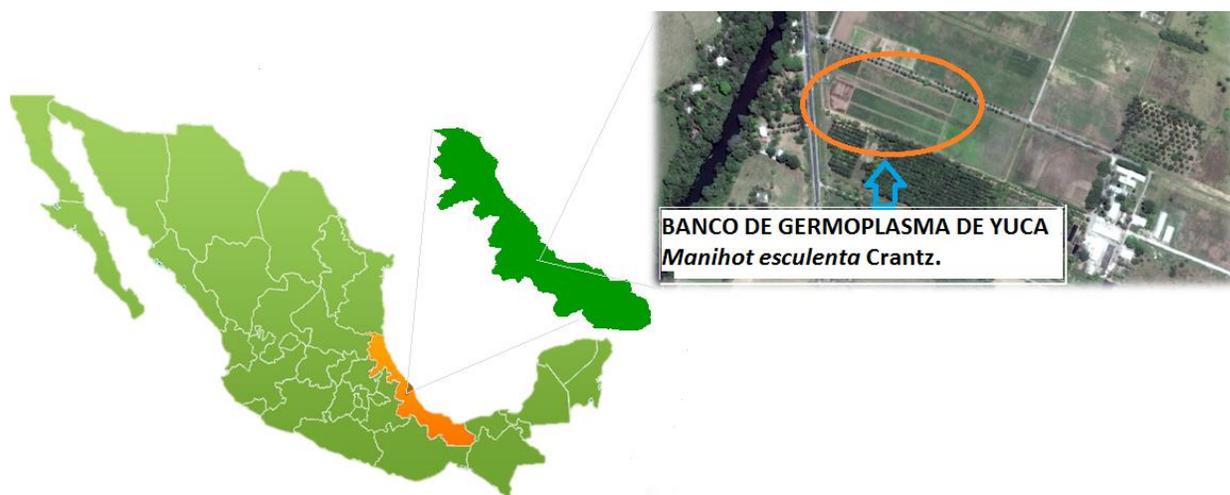


Figura 6. Localización geográfica del Banco de Germoplasma *ex situ* de Yuca (BGY).

### 5.2. Material vegetal

Se estudiaron 40 accesiones de yuca procedentes del estado de Chiapas (Anexo 1), los cuales son parte del proyecto Red Yuca, dependiente del Sistema Nacional de Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura (SINAREFI).

### 5.3. Diseño del experimento

Una planta se consideró como la unidad experimental. Para el registro de datos, se recolectaron cuatro plantas por accesión, seleccionados al interior del cultivo, específicamente de los surcos centrales, para disminuir el efecto de orilla. Cada accesión, está sembrada en parcelas de siete surcos, cada surco cuenta con una longitud de cinco metros, un metro de ancho y una distancia entre plantas de un metro.

### 5.4. Caracterización morfológica de accesiones de yuca

La caracterización de las accesiones se fundamentó con los descriptores desarrollados por Fakuda *et al.*, (2001). Se evaluaron en total 48 descriptores. Los datos correspondientes a los tres meses se registraron el 13 de agosto, y a los seis meses con fecha el 19 de noviembre del 2015, ambos tomados por personal del Banco de Germoplasma.

Los descriptores de los tres meses se enlistan a continuación.

5.4.1. Color del brote apical. Se registró utilizando la siguiente escala:

- |                 |                   |
|-----------------|-------------------|
| 3. Verde claro  | 7. Verde violáceo |
| 5. Verde oscuro | 9. Purpura        |

5.4.2. Pubescencia del brote apical. Se anotó bajo la siguiente clave:

- |    |          |
|----|----------|
| 0. | Ausente  |
| 1. | Presente |

Los descriptores de los seis meses se enlistan a continuación.

5.4.3. Retención de la hoja. Se obtuvo haciendo vibrar manualmente las plantas, utilizando la siguiente escala:

- |                                    |                                     |
|------------------------------------|-------------------------------------|
| 1. Muy pobre retención             | 4. Mejor que la retención promedio  |
| 2. Menos que la retención promedio | 5. Retención excepcional de la hoja |
| 3. Retención promedio de hojas     |                                     |

5.4.4. Forma del lóbulo central se registró bajo la siguiente clave (Figura 7):

- |                        |                            |
|------------------------|----------------------------|
| 1. Ovoide              | 6. Recta o lineal          |
| 2. Elíptica lanceolada | 7. Pandurata               |
| 3. Obovada lanceolada  | 8. Lineal o piramidal      |
| 4. Oblonga lanceolada  | 9. Lineal pandurata        |
| 5. Lanceolada          | 10. Lineal hostatilobulada |



Figura 7. Lóbulo central lanceolada en una accesión de yuca (*Manihot esculenta* Crantz.).

5.4.5. Color del peciolo. Se registró bajo las siguientes claves:

- |                      |                                      |
|----------------------|--------------------------------------|
| 1. Verde amarillento | 5. Rojo verdoso (Más verde que rojo) |
| 2. Verde amarillento | 7. Verde rojizo (Más rojo que verde) |
| 3. Verde rojizo      | 9. Purpura                           |

5.4.6. Color de la hoja. Se registró bajo la siguiente clave:

- |                 |                   |
|-----------------|-------------------|
| 3. Verde claro  | 7. Verde violáceo |
| 5. Verde oscuro | 9. Purpura        |

5.4.7. Número de lóbulos por hoja. Se contó el número de lóbulos por hoja (Figura 8).

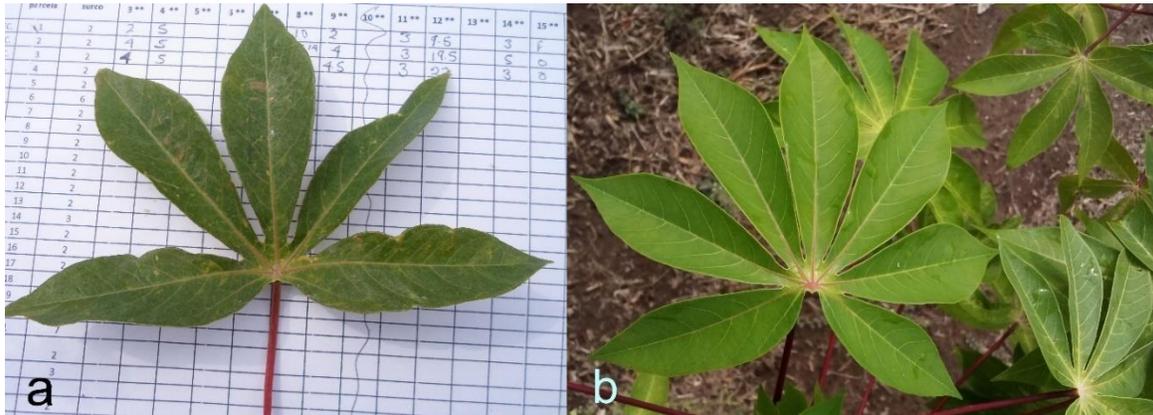


Figura 8. Número de lóbulos de la hoja de yuca: a) cinco lóbulos y b) siete lóbulos.

5.4.8. Longitud de lóbulo central. Se utilizó una regla de 30 cm (Figura 9).

5.4.9. Ancho de lóbulo central. Se midió con una regla de 30 cm.

5.4.10. Relación longitud-ancho del lóbulo central de la hoja. Se obtuvo por medio de los valores de longitud y ancho del lóbulo central, donde se dividió el primero por el segundo.

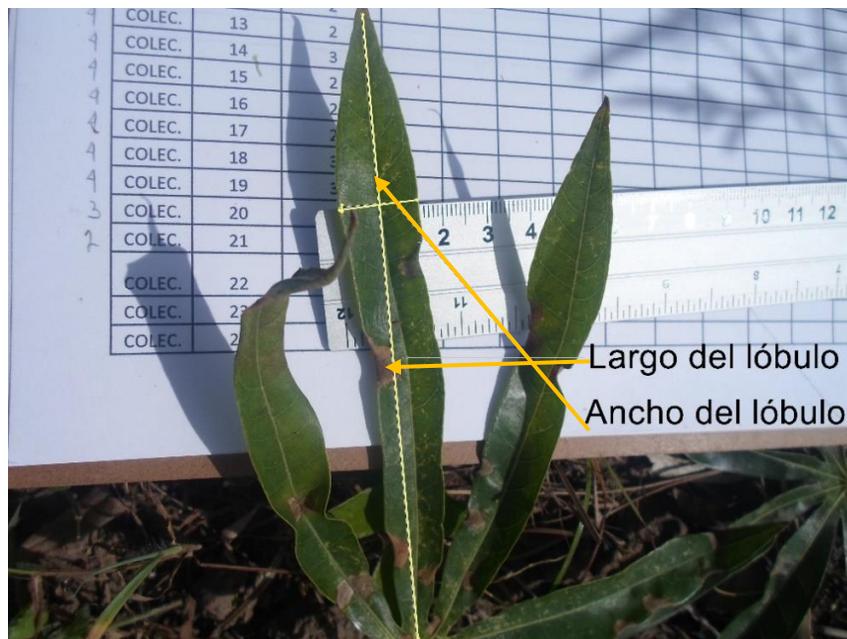


Figura 9. Longitud y ancho del lóbulo central en una hoja de yuca.

5.4.11. Margen de los lóbulos de la hoja. Se recolectaron tres hojas de tres individuos de una misma colección para el cual se registraron datos de mayor frecuencia (Figura 10).

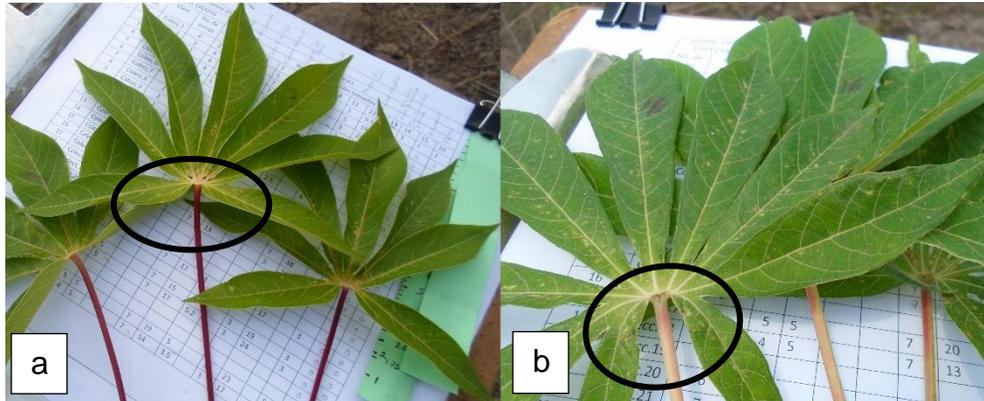


Figura 10. Margen del lóbulos: a) margen de tipo suave, b) margen cerrado.

5.4.12. Longitud del peciolo. Se midieron peciolo de tres hojas por accesión con una regla de 30 cm. (Figura 11a).

5.4.13. Color de la nervadura de la hoja. Se observó la parte media de la planta y se registró la frecuencia más alta de color de las nervaduras de las hojas, a partir de la base del lóbulos hasta el ápice de mismo (Figura 11b). Para ello se utilizó la siguiente clave:

- |                       |                       |
|-----------------------|-----------------------|
| 3. Verde              | 7. Más verde que rojo |
| 5. Más rojo que verde | 9. Todo rojo          |

5.4.14. Orientación del peciolo (Figura 11c). Se observó la parte media de las plantas y se registró la frecuencia más alta, basado en la siguiente clave:

- |                           |                          |
|---------------------------|--------------------------|
| 1. Inclinado hacia arriba | 5. Inclinado hacia abajo |
| 3. Horizontal             | 7. Irregular             |

5.4.15. Floración. Se registró bajo la siguiente clave (Figura 11d):

- |            |             |
|------------|-------------|
| 0. Ausente | 1. Presente |
|------------|-------------|

5.4.16 Polen. Se registró bajo la siguiente clave:

0. Ausente

1. Presente

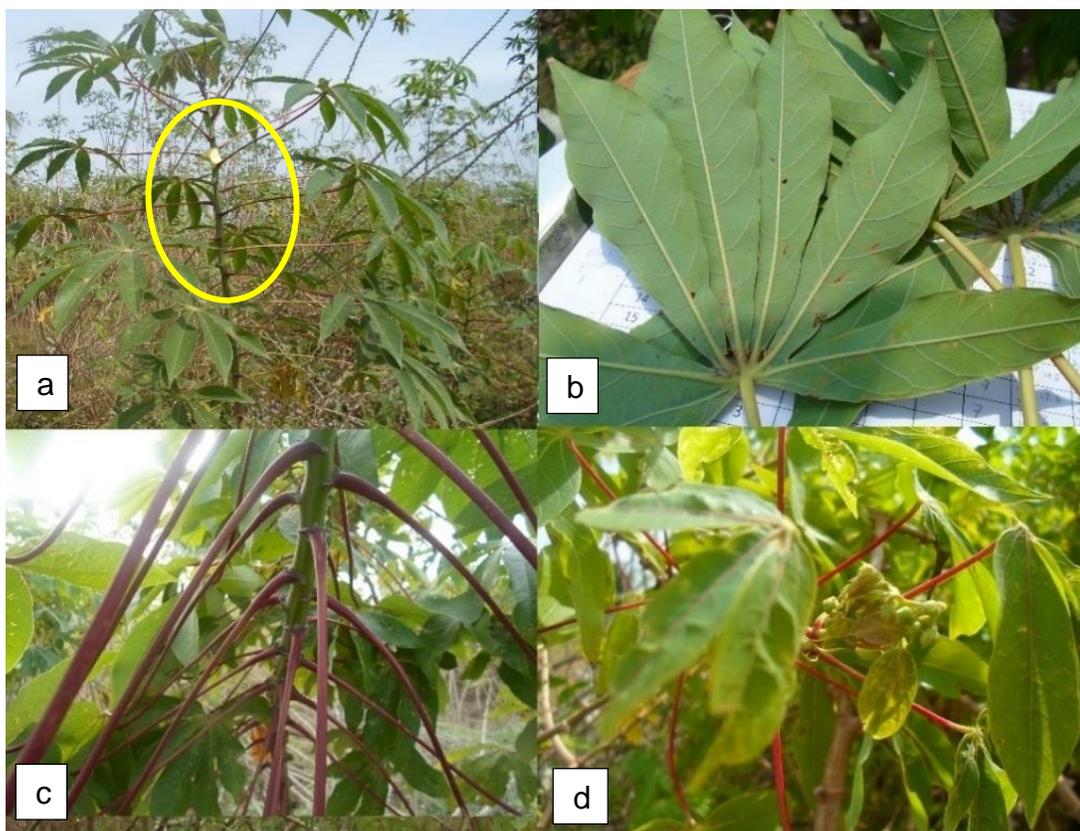


Figura 11. Descriptores de hoja: a) longitud del peciolo tomado de la parte media de la planta, b) color de la nervadura del envés de la hoja, c) orientación del peciolo, d) botones florales a los seis meses.

El 15 de febrero del 2016, se realizó la caracterización de los nueve meses después de la siembra.

5.4.17. Prominencia de cicatrices foliares. Se observaron de la parte central de la planta, anotando la característica más frecuente por accesión bajo la siguiente clave:

3. Semiprominente

5. Prominente



Figura 12. Protuberancias o cicatrices foliares característicos en el tallo de yuca.

5.4.18. Color de la corteza. Se realizó un pequeño corte de la epidermis del tallo. La clave fue la siguiente:

- |            |                |                 |
|------------|----------------|-----------------|
| 1. Naranja | 2. Verde claro | 3. Verde oscuro |
|------------|----------------|-----------------|

5.4.19. Color de la epidermis del tallo. Se hizo un pequeño corte de la epidermis del tallo. La clave fue:

- |               |                |
|---------------|----------------|
| 1. Crema      | 3. Café oscuro |
| 2. Café claro | 4. Naranja     |

5.4.20. Color exterior del tallo (Figura 13). Se anotó bajo la siguiente clave:

- |                      |                |
|----------------------|----------------|
| 3. Naranja           | 7. Plata       |
| 4. Verde amarillento | 8. Gris        |
| 5. Oro               | 9. Café oscuro |
| 6. Café claro        |                |

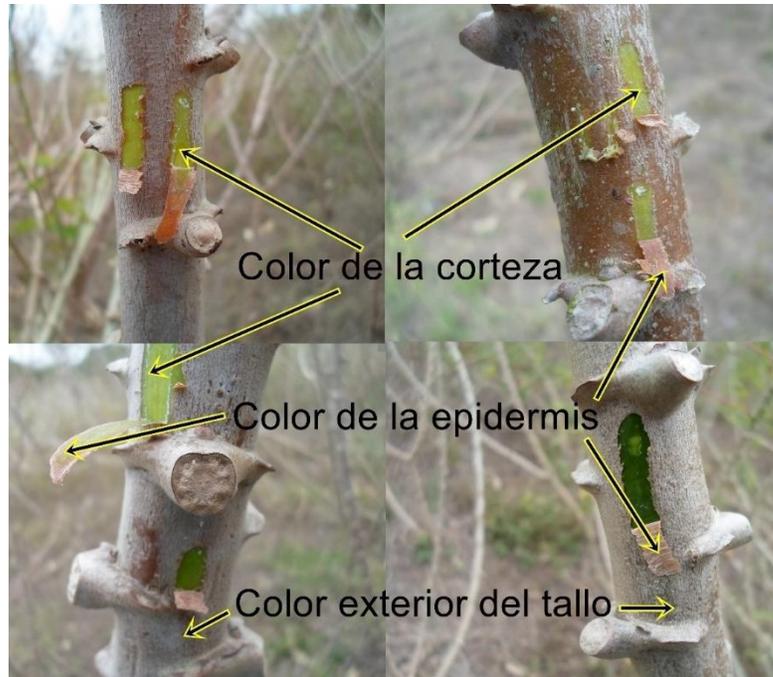


Figura 13. Registro de colores en corteza, epidermis y color exterior del tallo de yuca.

5.4.21. Distancia entre cicatrices foliares (Figura 14). Se midió con una regla de 30 cm. a lo largo del nudo y después se dividió esta distancia por el número de cicatrices de la parte medida. La conversión de datos fue la siguiente:

3. Corto  $\leq 8$  cm.            5. Medio (8- 15 cm.)            7. Largo  $\geq 15$  cm.

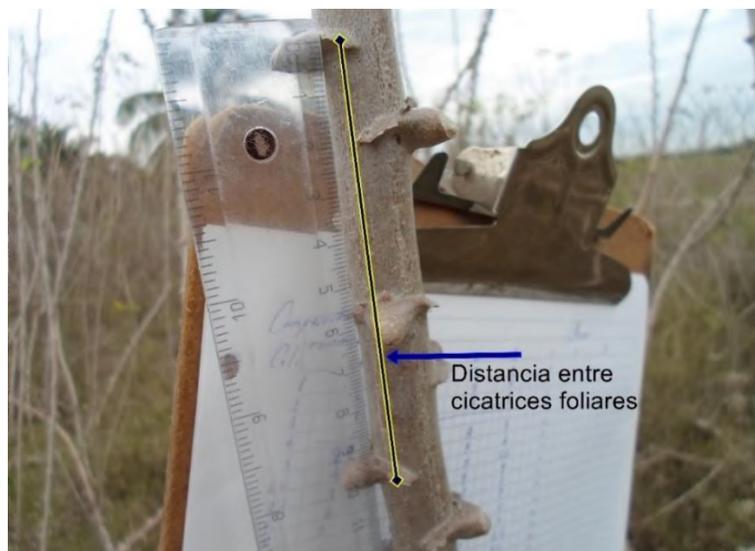


Figura 14. Distancia entre cicatrices foliares en tallos de yuca obtenida a partir de la filotaxia 2/5.



5.4.31. Hábito de la rama. Como había variación en este carácter se registró la más frecuente de la colección.

- |             |               |
|-------------|---------------|
| 1. Compacta | 3. Sombrilla  |
| 2. Abierta  | 4. Cilíndrica |

5.4.32. Ángulo de ramificación. Se midió apoyándose con un transportador. Se tomaron como referencia tres plantas al azar por colección.

Algunos de los descriptores indicados se exponen en la Figura 15, en el que se muestra la forma de obtención de datos.

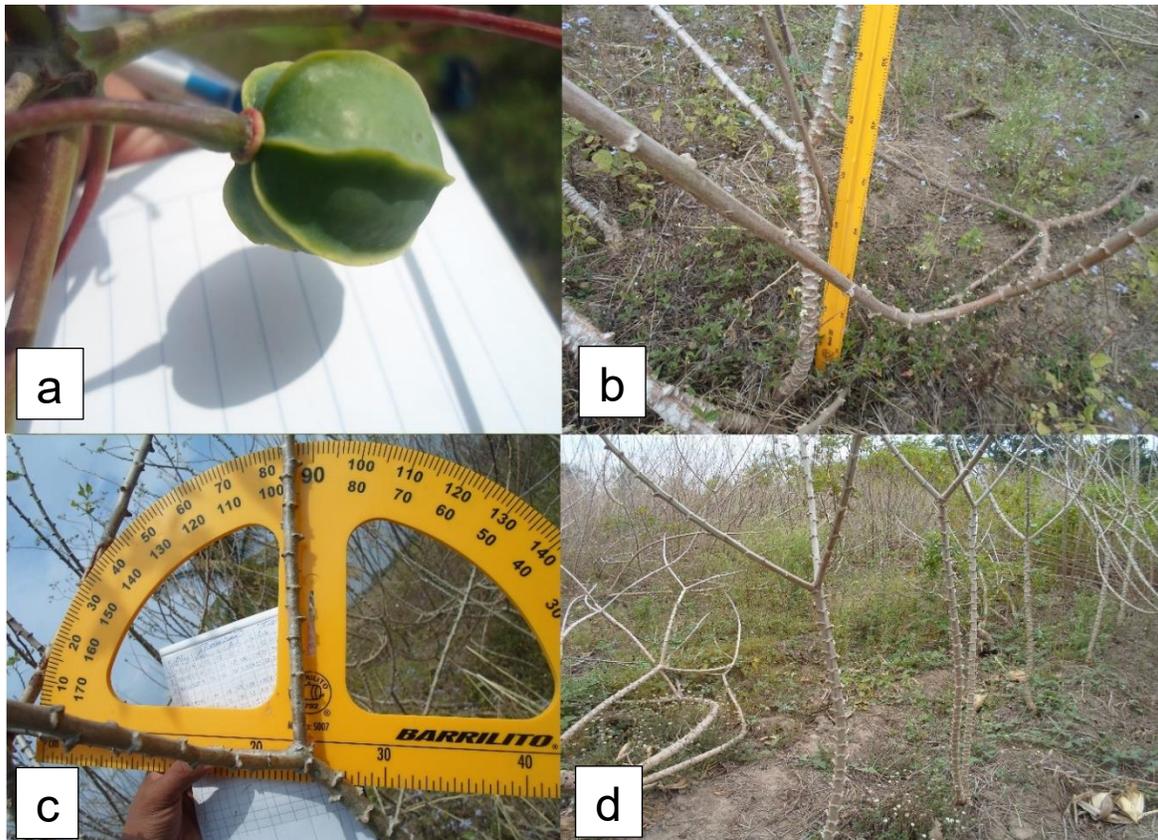


Figura 15. Características morfológicas de la planta: a) fruto de yuca, b) altura a la primera ramificación, c) ángulo de la primera ramificación, d) forma de la planta.

5.4.33. Forma de la planta. Se determinó bajo la siguiente clave:

- |             |               |
|-------------|---------------|
| 1. Compacta | 3. Sombrilla  |
| 2. Abierta  | 4. Cilíndrica |

De acuerdo con los descriptores de cosecha, se extrajo la planta completa a modo de facilitar la toma de datos. Para realizar esta labor se cosecharon raíces de cuatro plantas al azar por accesión, para ello se utilizaron herramientas como pico y pala, cuidando en todo caso no se dañaran (Figura 16).



Figura 16. Cosecha de raíces de yuca.

5.4.34. Número de raíces reservantes. Se contaron las raíces totales por planta (Figura 17a).

5.4.35. Número de raíces comerciales. Se contaron las raíces mayores a 20 cm por planta (Figura 17b).



Figura 17. Número de raíces: a) raíces reservantes totales, b) raíces comerciales mayores a 20 cm de longitud.

5.4.36. Extensión del pedúnculo de la raíz. Se clasificó como:

0. Sésil      3. Pedunculado      5. Mezclada

5.4.37. Constricción radicular. Se clasificaron como:

1. Pocas o ninguna (< 3).      2. Algunas (4- 6).      3. Muchas (> 6).

5.4.38. Forma de la raíz. Como en una planta se pueden encontrar más de una forma de raíz se anotó la de mayor frecuencia. Se clasificaron como:

1. Cónica      3. Cilíndrica  
2. Cónica cilíndrica      4. Irregular

5.4.39. Color externo de la raíz reservante. Se clasificaron de la siguiente forma:

1. Blanco o crema      3. Café claro  
2. Amarillo      4. café oscuro

5.4.40. Color de la pulpa de la raíz. Se realizaron cortes transversales aproximadamente en la parte central de la raíz con ayuda de un cuchillo, de esta manera se obtuvo de dos a tres rodajas para registrar el color característico. Se anotó bajo la siguiente clave:

1. Blanco      4. Naranja  
2. Crema      5. Rosa  
3. Amarillo

5.4.41. Color de la corteza de la raíz. Se clasificó bajo la siguiente clave:

1. Blanco o crema      3. Rosa  
2. Amarillo      4. Púrpura

Algunos de los descriptores mencionados anteriormente se muestran en la Figura 18.



Figura 18. Color en raíces de yuca: a) color externo, b) color de corteza, c) color de la pulpa.

5.4.42. Facilidad de pelado de la raíz. Se registró lo observado bajo la siguiente clave.

1. Fácil de pelar.                      2. Dificiles de pelar.

5.4.43. Textura de la epidermis de la raíz. Se clasificaron como:

3. Suave                                      5. Intermedia                              7. Rugosa.

5.4.44. Sabor de la raíz. Se cortaba una rebanada y se procedía a probarla directamente. Se clasificaron como:

1. Dulce                                      2. Intermedia                              3. Amarga.

5.4.45. Grosor de la corteza de la raíz. Se realizaron tres cortes cuadrados de aproximadamente 0.5 cm, procedente de la parte basal, media y apical de la raíz, y con ayuda de un vernier digital se procedia a medirlo (Figura 19).



Figura 19. Grosor de la corteza de la raíz de yuca.

Para obtener los descriptores porcentaje de materia seca y contenido de almidón, se tomó como referencia el método de gravedad específica (Kawano *et al.*, 1987). El procedimiento se describe a continuación:

Primero se obtuvo el peso fresco de la raíz en aire ( $W_a$ ), para el cual se ataron y pesaron muestras de raíz con un peso de entre 3- 5 kg con ayuda de un dinamómetro digital, posteriormente obtuvo el peso fresco de las raíces en agua ( $W_w$ ), donde las muestras se sumergieron completamente en una tina con agua, la cual poseía una capacidad de 100 L (Figura 20). La condición fue tener cuidado que no se tocaran las raíces con las paredes de ésta. Una vez hecho lo anterior se sustituyeron los datos en la fórmula siguiente:

$$GE = \frac{W_a}{W_a - W_w}$$



Figura 20. Toma de datos en raíces de yuca: a) peso fresco de las raíces al aire ( $W_a$ ) y b) peso fresco de las raíces en agua ( $W_w$ ).

5.4.46. Porcentaje de materia seca. Se obtuvo mediante la siguiente formula:

$$DM = 158.26 (GE) - 142$$

5.4.47. Contenido de almidón. Se sustituyó bajo la siguiente formula:

$$\% \text{ de almidon} = 112.1 (GE) - 106.4$$

5.4.48. Índice de cosecha (HI). Se efectuó de la siguiente forma: se ataron todas las raíces por accesión y se pesaron con ayuda de un dinamómetro digital, se cuidó que la raíz fuera libre de suelo, piedras o cualquier otro material que afectara el cálculo. A sí mismo se pesaron los tallos, ramas, hojas, flor y fruto (parte aérea), excluyendo la raíz (Figura 21).

Posteriormente se sustituyeron estos datos en la siguiente formula:

$$HI = \frac{\text{peso de las raíces}}{\text{peso de las raíces} - \text{peso de la biomasa}}$$



Figura 21. Índice de cosecha: a) peso de raíz; b) peso de biomasa en una accesión de yuca.

Es necesario indicar que en algunas colecciones como la MMEXCH12, MMEXCH15, MMEXCH17, MMEXCH22, MMEXCH24, MMEXCH25, MMEXCH28, MMEXCH29, MMEXCH31, MMEXCH32 y MMEXCH35 se evaluaron menos de cuatro plantas por causa de insuficiencia de material vegetal, dejando así representación de accesiones del Banco de Germoplasma. Algunas accesiones no alcanzaron el peso establecido por lo que se basó al peso obtenido por las raíces los cuales eran menos de lo recomendado (3- 5 kg).

En total se evaluaron 48 descriptores. No se evaluó el descriptor 49 (potencial cianogénico) y 50 (deterioro poscosecha) por falta de material y reactivos.

## **5.5. Análisis estadísticos**

Una vez registrados los valores de cada variable, se examinaron y dividieron en cualitativas y cuantitativas, posteriormente los resultados se codificaron en una hoja de cálculo por separado y se obtuvo una matriz de datos que contenía las observaciones de cada descriptor por accesión.

Las variables cualitativas se organizaron de acuerdo a caracteres botánicos de la planta: hoja, tallo, raíz, flor y fruto. Posteriormente se analizó cada una mediante tablas de frecuencias porcentuales (tabla de contingencia).

Para determinar las variables cuantitativas que más contribuyen a la variabilidad total, se realizó un análisis exploratorio multivariado mediante el uso de Componentes Principales (ACP) utilizando el paquete estadístico SAS/STAT® versión 9.0. Para el proceso de la información, se estandarizaron los datos obtenidos, y el análisis se basó a través de la matriz de correlaciones de las 15 variables cuantitativas con el procedimiento PRINCOMP de SAS. Se consideraron los valores propios (eigenvalues), vectores propios (eigenvectors) y la varianza total acumulada. Posteriormente para ver la relación entre los grupos de accesiones y las variables, se graficaron en un plano bidimensional.

Se efectuó un análisis de conglomerados con la matriz de distancias euclidianas, el método de agrupamiento fue el de encadenamiento simple, éste análisis se realizó mediante el paquete estadístico INFOSTAT 2016 (Rienzo *et al.*, 2011).

## **5.6. Distribución geográfica real y potencial de yuca**

El mapa de distribución real de las accesiones se generó con la captura de valores de latitud y longitud de cada uno de los 40 sitios de coleta, y el trazado del polígono del estado de Chiapas se realizó mediante Google Earth®. El archivo se

guardó con la extensión \*.kml, posteriormente se le dio formato cartográfico con el software ArcMap v.10.1 (ESRI, 2011).

Para obtener el mapa de distribución potencial en el territorio mexicano, se modeló el nicho ecológico de la especie por medio del software MaxEnt 3.3.3 (Hernández *et al.* 2006; Phillips *et al.*, 2010). Se usaron las georreferencias de las 40 accesiones, así como capas bioclimáticas y variables climáticas estacionales tomados de la base de datos de WorldClim (Hijmans *et al.*, 2005), adicionalmente se utilizaron capas de propiedades del suelo (Cruz *et al.*, 2014) (Cuadro 5).

Para que MaxEnt leyera los datos de ocurrencia de la especie, se registraron con las siguientes características: letra inicial del género (M.) con punto, seguido del nombre de la especie (esculenta) y las coordenadas geográficas (latitud y longitud de cada accesión (Ejemplo: M. esculenta, 16.34417, -93.68769). El archivo se guardó en formato \*.csv.

Cuadro 5. Variables bioclimáticas y del suelo utilizadas en el modelado de distribución potencial de Yuca con el software MaxEnt.

Variables climáticas	
Clave	Capa en formato *.asc
BIO1	Temperatura media anual.
BIO2	Rango de temperatura media diurna ((media mensual (temperatura máxima – temperatura mínima)).
BIO3	Isotermalidad (BIO <sub>2</sub> /BIO <sub>7</sub> ) *100.
BIO4	Estacionalidad de temperatura (desviación estándar *100).
BIO5	Temperatura máxima del mes más cálido.
BIO6	Temperatura mínima del mes más frío.
BIO7	Rango de temperatura anual (BIO <sub>5</sub> - BIO <sub>6</sub> ).
BIO8	Temperatura media del cuatrimestre más húmedo °C.
BIO9	Temperatura media del cuatrimestre más seco °C.
BIO10	Temperatura media del cuatrimestre más cálido °C.
BIO11	Temperatura media del cuatrimestre más frío °C.
BIO12	Precipitación anual mm.
BIO13	Precipitación del mes más húmedo.
BIO14	Precipitación del mes más seco.
BIO15	Estacionalidad de precipitaciones (coeficiente de variación).
BIO16	Precipitación del cuatrimestre más húmedo.
BIO17	Precipitación del cuatrimestre más seco.

BIO18	Precipitación del cuatrimestre más cálido.
BIO19	Precipitación del cuatrimestre más frío.
Dem	Altitud
evapo_anual	Evapotranspiración real anual.
evapo_humedos	Evapotranspiración real de los meses húmedos (mayo a octubre).
evapo_secos	Evapotranspiración real de los meses secos (noviembre a abril).
pp_anual	Precipitación real anual.
pp_humedos	Precipitación de los meses húmedos.
pp_secos	Precipitación de los meses secos.
t_humedos	Temperatura de los meses húmedos.
t_medianual	Temperatura media de los meses húmedos.
t_secos	Temperatura media de los meses secos.
Ca	Calcio.
CE	Conductividad eléctrica.
CO	Carbono orgánico.
K	Potasio.
MO	Materia orgánica.
Mg	Magnesio.
Na	Sodio.
pH	Potencial de Hidrogeno.
RAS	Relación de absorción de sodio.

Para configurar MaxEnt se introdujo 500 como número máximo de iteraciones, con un límite de convergencia en 0.00001 y el valor de regularización en 0.0001. Estos valores, son adecuados para garantizar la convergencia del algoritmo (Phillips *et al.*, 2006). Se empleó el 75 % de los registros para la formación del modelo y el 25 % restante como datos de prueba. Se hizo una corrida preliminar con un formato de salida “logistic” y un análisis de datos “Auto features”, el cual proporcionó estimaciones de probabilidad de ocurrencia en un rango de 0- 1, toda vez que permite una interpretación fácil y potencialmente más precisa (Phillips and Dudik, 2008; Baldwin, 2009). El propósito fundamental fue identificar la contribución de cada variable ambiental analizada, así como discriminar aquellas que no aportaron más del 10 % al modelo. Después de descartar tales variables, se hizo una corrida definitiva para obtener el mapa de distribución potencial con el software MaxEnt.

El modelo de distribución potencial producido por MaxEnt fue validado con el valor del área bajo la curva (AUC) derivada de la curva operada por el receptor (ROC) (Phillips *et al.*, 2010). Una vez obtenido el mapa de distribución potencial, fue exportado al software ArcMap v10.1 para diseñar sus características cartográficas.

## 6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 6.1. Análisis de datos cualitativos

#### 6.1.1. Características de la hoja

En el Cuadro 6, se muestra que la mayor parte de las accesiones presentaron un color verde claro en el brote apical, haz y la nervadura de la hoja seguido del color verde oscuro. Al respecto, Acosta *et al.*, (2006) menciona que el color verde claro es un atributo fácilmente observable y altamente heredable. Además se expresa en la misma forma en cualquier ambiente, lo que contribuye a una mejor discriminación de fenotipos (Ceballos y de la Cruz, 2002; Demey *et al.*, 2003). Es importante señalar que el color del brote apical de las accesiones MMEXCH4 y MMEXCH6 desarrollaron un color verde-violáceo, y un color purpura para MMEXCH19, para el que Ceballos y de la Cruz (2002), mencionan que es común observar brotes purpuras, pero a medida que las hojas crecen y se desarrollan cambian a una coloración verdosa.

Del total de las accesiones, en un 87.5 % hubo presencia de pubescencia del brote apical y el 12.5 % no presentaron ésta característica, entre ellas MMEXCH4, MMECH19, MMEXCH30, MMEXCH32 y MMEXCH37. Se observó que las accesiones MMEXCH4 y MMEXCH19 además de no presentar pubescencia se asociaron más con un color de brote morado. Algunos autores al respecto han encontrado una relación directa entre niveles de colores del brote y la ausencia de pubescencia (Pincay, 2010). De acuerdo con Ceballos y de la Cruz (2002) las hojas maduras son siempre glabras, sin embargo, las hojas del brote apical o cogollo pueden o no ser pubescentes, relacionándolas con la resistencia a trips.

La forma del lóbulo central fue lanceolada, característica que no varió entre accesiones. Lo anterior coincide con lo reportado por Acosta *et al.* (2006), pero difiere con los resultados de Marín *et al.*, (2008) quienes, al caracterizar 19 clones, encontraron que 13.3 % del total presentó la forma óvalo-lancéolada. Según Polanco (1998) la forma del lóbulo central da información acerca de la superficie expuesta de

la hoja, ya que entre más pequeña se disminuye el área de incidencia a plagas y enfermedades.

En cuanto a la orientación del peciolo, el 60 % de las accesiones presentaron una forma horizontal. Las poblaciones restantes desarrollaron un peciolo inclinado hacia arriba e irregular. El color de peciolo más frecuente entre las accesiones fue el color purpura seguido de rojo, verde-rojizo y verde amarillento (Cuadro 6). Lo anterior es similar con lo reportado por Acosta *et al.*, (2006) quienes mencionan al color rojo en sus diferentes tonalidades como el dominante en 11 clones de yuca, seguido por el color verde.

Cuadro 6. Análisis de frecuencia de caracteres cualitativos en hoja para 40 accesiones de yuca (*Manihot esculenta* Crantz).

Descriptor	Tipo de expresión	Frecuencia absoluta	Frecuencia porcentual
Color del brote apical	Verde claro	31	77.5
	Verde oscuro	6	15
	Verde violáceo	2	5
	Purpura	1	2.5
Pubescencia sobre las hojas apicales	Ausente	40	100
	Presente	5	12.5
Forma del lóbulo central		35	87.5
	Ovoide	40	100
	Elíptica lanceolada	0	0
	Obovada lanceolada	0	0
	Oblonga lanceolada	0	0
	Lanceolada	0	0
	Recta o lineal	40	100
	Pandurata	0	0
	Lineal o piramidal	0	0
	Lineal pandurata	0	0
	Lineal hostatilobulada	0	0
Color del peciolo		40	100
	Verde amarillento	7	17.5
	Verde	0	0
	Rojo verdoso (Más verde que rojo)	0	0
	Verde rojizo (Más rojo que verde)	9	22.5
	Rojo	10	25
	Purpura	14	35

Color de la hoja		40	100
	Verde claro	26	65
	Verde oscuro	14	35
	Vede violáceo	0	0
	Purpura	0	0
Márgenes de los lóbulos		40	100
	Suave	31	77.5
	Cerrado	9	22.5
Color de la nervadura		40	100
	Verde	39	97.5
	Más rojo que verde	0	0
	Más verde que rojo	1	2.5
	Todo rojo	0	0
Orientación del peciolo		40	100
	Inclinado hacia arriba	11	27.5
	Horizontal	24	60
	Inclinado hacia abajo	3	7.5
	Irregular	2	5
		40	100

### 6.1.2. Características del tallo

Se encontró que todas las accesiones presentan un hábito de crecimiento erecto (Cuadro 7), resultado que coincide con Beovides *et al.*, (2014) y similar con Torres (2014) quien halló que el 59 % de sus accesiones eran de crecimiento erecto mientras que el restante crecía en forma de zig- zag. Por medio de estadística descriptiva se ha determinado que este carácter es homogéneo dentro de los individuos de cada accesión.

El 92.5 % de las accesiones se caracterizaron por retener las hojas a los seis meses después de la siembra; caso contrario a Beovides *et al.* (2014), quienes reportaron que la mayoría de las accesiones caracterizadas presentaron poca retención del follaje en ese periodo de tiempo. En cuanto a las cicatrices foliares fue más frecuente la semi-prominente en un 55 % de las accesiones y localizadas a una distancia corta de entrenudos (Cuadro 7). Resultados similares son reportados por Acosta *et al.* (2006) debido a que las poblaciones estudiadas presentaron una distancia de entrenudo menor a 8 cm.

El 55 % de las accesiones presenta un color verde oscuro en la corteza de tallo y el resto desarrolló un color verde oscuro. Beovides *et al.* (2014) al caracterizar 50 accesiones de yuca, el 46 % desarrollaron un color verde claro, mientras que en las evaluaciones realizadas por Pincay (2010) sobresale el color verde oscuro, igual a los resultados obtenidos. Por lo que se puede decir que esta característica no presenta mucha variabilidad.

Con relación al color de la epidermis del tallo, el 90 % de las accesiones presentaron un color café claro seguido del color crema; no obstante, las accesiones MMEXCH1, MMEXCH6, MMEXCH39 y MMEXCH40 desarrollaron un color café oscuro (Cuadro 7).

En la superficie externa del tallo, el 82.5 % de las accesiones presentaron un color gris, seguido del café claro, café oscuro y el verde-amarillento. Al respecto Ceballos y de la Cruz (2002) y Marín *et al.*, (2008) señalan que éste carácter presenta gran variabilidad. Se observó que el color externo del tallo se define con base al color de la corteza, ya que, si encontramos colores internos bajos, la coloración externa tendrá colores plateado, café claro, verde-amarillento lo que concuerda con Ceballos y de la Cruz (2002) al recalcar que la pigmentación en estas dos capas define el color del tallo. El color de la rama terminal de la planta adulta desarrollada en las accesiones fue verde violáceo (57.5 %) y verde en 42.5 %, respectivamente. Resultados opuestos a Torres (2012) quien encontró que de 37 accesiones 32 fueron verdes, 4 verde violáceo y 1 accesión color púrpura (Cuadro 7).

En las accesiones fue más frecuente encontrar estipulas con longitud corta, excepto para las accesiones MMEXCH5, MMEXCH10, MMEXCH20, MMEXCH32 y MMEXCH33, con una longitud larga. Lo anterior difiere con lo reportado por Torres (2012) al encontrar en Costa Rica que el 27 % de sus accesiones presentaron estipula corta y el 73 % desarrolló estipula larga, las cuales pueden medir de 0.5 a 1 cm de largo y pueden o no permanecer adheridas al tallo una vez que la hoja se ha desarrollado completamente (Ceballos y de la Cruz, 2002). En cuanto al margen de la

misma, solo MMEXCH4 Y MMEXCH12 presentan una estipula entera, ya que es más frecuente encontrar estipulas divididas o bifurcadas,

Con base al hábito de ramificación existe una variación importante entre las accesiones. El 50 % de las accesiones fueron dicotómicas y 42.5 % tricotómicas donde la MMEXCH22, MMEXCH37 y MMEXCH40 presentaron un hábito erecto (Cuadro 7). Según Ceballos y de la Cruz (2002) esta variable determina la arquitectura de la planta, importante para las labores culturales y producción de semilla, ya que las accesiones con ramificación dicotómica y tricotómica son buenos productores de semilla por la cantidad de ramas que emiten. En la caracterización se observó que individuos de una misma accesión no sostienen un hábito de ramificación específico tal como lo afirma Pincay (2008).

Por último, en cuanto a la forma de la planta existe variación importante y aunque el carácter dominante es de tipo sombrilla, igualmente se detectaron accesiones con formas compactas y cilíndricas.

Cuadro 7. Análisis de frecuencia de caracteres cualitativos del tallo para 40 accesiones de yuca (*Manihot esculenta* Crantz).

Carácter	Tipo de expresión	Frecuencia absoluta	Frecuencia porcentual
Retención de la hoja	Muy pobre retención	0	0
	Menos que la retención promedio	0	0
	Retención promedio de hojas	3	7.5
	Mejor que la retención promedio	30	75
	Retención excepcional de la hoja	7	17.5
		40	100
Prominencia de las cicatrices foliares	Semiprominente	22	55
	Prominente	18	45
		40	100
Color de la corteza del tallo	Naranja	0	0
	Verde claro	18	45
	Verde oscuro	22	55
		40	100
Color de la epidermis del tallo	Crema	17	42.5

	Café claro	19	47.5
	Café oscuro	4	10
	Naranja	0	0
		40	100
Color de la superficie externa del tallo maduro	Naranja	0	0
	Verde amarillento	1	2.5
	Oro	0	0
	Café claro	5	12.5
	Plata	0	0
	Gris	33	82.5
	Café oscuro	1	2.5
			40
Distancia entre cicatrices foliares	Corto igual o menor a 8 cm.	40	100
	Medio (8-15 cm.)	0	0
	Largo igual o mayor a 15 cm.	0	0
		40	100
Hábito de crecimiento del tallo	Erecto	40	100
	Zig- zag	0	0
		40	100
Color de las ramas terminales de la planta adulta	Verde	17	42.5
	Verde violáceo	23	57.5
	Purpura	0	0
		40	100
Longitud de las estipulas	Corto	35	87.5
	Largo	5	12.5
		40	100
Margen de la estipula	Entera	2	5
	Dividida o bifurcada	38	95
		40	100
Hábito de ramificación	Erecta	3	7.5
	Dicotómica	20	50
	Tricotómica	17	42.5
	Tetracotómica	0	0
		40	100
Forma de la planta	Compacta	13	32.5
	Abierta	0	0
	Sombrilla	16	40
	Cilíndrica	11	27.5
		40	100

### 6.1.3. Características de la raíz

Las características de las raíces reservantes son útiles en la identificación de genotipos en yuca dada su amplia variabilidad (Marín *et al.*, 2008). Pueden adquirir

formas y tamaños muy variables, siendo dependientes tanto de la variedad como de las condiciones ambientales (Ceballos y de la Cruz, 2002).

En el Cuadro 8, se observa que las accesiones en su mayoría presentan una raíz pedunculada (50 %) y mezclada (42.5 %) mientras que MMEXCH6, MMEXCH7 y MMEXCH28 poseen raíz tipo sésil, siendo una característica variable aun entre una misma accesión. Éste resultado fue similar al de Torres (2008) donde 29 de 37 accesiones presentan una raíz pedunculada. El tipo de inserción de la raíz es de importancia económica, ya que durante la cosecha en la separación de tipos sésiles se producen daños en la zona de corte, causa que acelera el deterioro fisiológico y postcosecha, por otro lado, cuando el pedúnculo es muy largo (>10 cm) es necesario remover gran cantidad de suelo para su extracción y si el pedúnculo se rompe ocurren pérdidas de raíz (Ceballos y de la Cruz, 2002). En cuanto a la presencia de constricciones radiculares el 100 % presentan pocas o ninguna constricción (3 o menos), siendo un carácter dominante en el germoplasma evaluado.

La forma de la raíz resulto ser un carácter variable en este estudio, ya que se presentaron de tipo irregular (47.5 %), cónica cilíndrica (42.5 %) y cuatro con forma cilíndrica, de igual forma variable aun en una misma accesión. Muy parecido a lo que obtuvo Marín *et al.*, (2008) donde encontraron que la forma de la raíz varió de cónica-cilíndrica (66.66 %) a cilíndrica (33.33 %), donde las raíces irregulares son una característica indeseada. Aunque no se registró la dirección de crecimiento de la raíz, se pudo constatar que la más sobresaliente era la horizontal, característica favorable al momento de la cosecha. Así mismo, se observó que las raíces con crecimiento vertical tienden a romperse, lo que provoca pérdidas en el rendimiento.

En las accesiones evaluadas se encontró un mayor número raíces con color externo de corteza café claro (57.5 %) a oscuro (42.5 %), esto es similar con Beovides *et al.*, (2014) quienes encontraron entre las poblaciones cortezas de color café oscuro (44 %). El color de la corteza de la raíz es un factor determinante en las preferencias de consumo donde las de color café claro poseen mayor valor, pero esta cuestión está

más bien vinculada probablemente a la idiosincrasia y gustos locales (Beovides *et al.*, 2014).

La pulpa constituye la parte utilizable de la raíz, por lo tanto, es el tejido de mayor relevancia económica. El 57.5 % de las accesiones desarrolló un color de pulpa crema, mientras que el 37.5 % pulpa blanca; no obstante, se encontraron dos accesiones con pulpa amarilla (MMEXCH17 y MMEXCH18) (Cuadro 8). La pulpa blanca es una de las más preferidas en la elaboración de harinas, así como su venta en fresco en los mercados locales (Polanco, 1998; Ceballos y de la Cruz, 2002). Al igual que la malanga (*Colocasia esculenta*) se encuadran dentro de los productos no tradicionales cuyo consumo ha tenido un auge importante, causado por el interés de sectores crecientes de consumidores (Andaya, 2013).

El color de la corteza de la raíz es muy variado. Se encontró el color rosa en el 47.5 % de las accesiones, seguido de blanco o crema, amarillo y púrpura (Cuadro 8). Esto concuerda con Acosta *et al.*, (2006) al encontrar en 11 clones de yuca que el color más frecuente fue el rosado, así mismo con Marín *et al.*, (2008) donde sus accesiones variaron de blanco a rosado.

Del total de las accesiones, 31 son difíciles de pelar y solo nueve presentan facilidad de pelado (MMEXCH10, MMEXCH11, MMEXCH12, MMEXCH13, MMEXCH14, MMEXCH18, MMEXCH23, MMEXCH24 y MMEXCH29) (Cuadro 8). La facilidad de pelado es una característica relacionada con la textura, ya que se encontró en su mayoría que las accesiones difíciles de pelar tienen una textura rugosa e intermedia, y aquellas fáciles de pelar son de textura suave. Según Polanco (1998) la facilidad de pelado es una característica de importancia para consumo fresco.

El sabor en fresco de la raíz, la mayoría son intermedias (57.5 %), es decir ni muy dulces ni muy amargas. Al respecto, Montaldo (1993) comenta que el glucósido linamarina que genera el ácido cianhídrico es muy variable en las variedades amargas y dulces, altamente influenciado por el ambiente. Aunque el consumo de éste tubérculo

aporta proteína y fibra (Buitrago *et al.*, 2001), así como vitaminas (A, B1, B2, B6, B12 y C) y minerales (Fe, Ca, K, P, Mg, Zn y Cu), éstos se encuentran en muy bajos niveles, pero tienen alto contenido de betacarotenos (Fuenmayor *et al.*, 2005). Por ello es que el valor nutritivo de raíces de yuca se puede complementar con la adición de otro alimento.

Cuadro 8. Análisis de frecuencia para caracteres cualitativos de raíz para 40 accesiones de yuca (*Manihot esculenta* Crantz).

Carácter	Tipo de expresión	Frecuencia absoluta	Frecuencia porcentual
Extensión del pedúnculo de la raíz	Sésil	3	7.5
	Pedunculada	20	50
	Mezclada	17	42.5
		40	100
Constricción radicular	Pocos o ninguna (3 o menos)	40	100
	Algunas (4-6)	0	0
	Muchas (más de 6)	0	0
		40	100
Forma de la raíz	Cónica	0	0
	Cónica cilíndrica	17	42.5
	Cilíndrica	4	10
	Irregular	19	47.5
		40	100
Color externo de la raíz reservante	Blanco o crema	0	0
	Amarillo	0	0
	Café claro	23	57.5
	Café oscuro	17	42.5
		40	100
La Color de la pulpa	Blanco	15	37.5
	Crema	23	57.5
	Amarillo	2	5
	Naranja	0	0
	Rosa	0	0
		40	100
Color de la corteza de la raíz	Blanco o crema	13	32.5
	Amarillo	6	15
	Rosa	19	47.5
	Púrpura	2	5
		40	100
Corteza: facilidad de pelado	Fácil	9	22.5
	Difícil	31	77.5
		40	100
Textura de la epidermis de la raíz	Suave	5	12.5
	Intermedia	13	32.5
	Rugosa	22	55
		40	100

Sabor de la raíz	Dulce	13	32.5
	Intermedia	23	57.5
	Amarga	4	10
		40	100

#### 6.1.4. Características de la flor

La inflorescencia estuvo ausente a los 6 meses en el 92.5 % de las accesiones; no obstante, en MMEXCH1, MMEXCH7 y MMEXCH8 se encontraron plantas con flores y frutos (Cuadro 9). Esto contrasta con lo reportado por Pincay (2010) quien encontró que el 96.45 % de las accesiones bajo estudio florecieron y el 3.5 % no alcanzaron a florecer. Se detectó presencia de floración y polen en forma muy esporádica en pocas plantas por accesión hasta el octavo mes, y a partir de las cuales posteriormente se originaron frutos. La floración, aunque no es importante para la multiplicación habitual, según Marín *et al.*, (2008), si lo es para el fitomejoramiento, ya que permite realizar cruces entre clones seleccionados y con ello obtener nuevos individuos genéticamente superiores.

Cuadro 9. Análisis de frecuencia de caracteres cualitativos para flor en 40 accesiones de yuca (*Manihot esculenta* Crantz.).

Carácter	Tipo de expresión	Frecuencia absoluta	Frecuencia porcentual
Floración	Ausente	37	92.5
	Presente	3	7.5
		40	100
Polen	Ausente	37	92.5
	Presente	3	7.5
		40	100

#### 3.1.5. Características del fruto

Para el periodo de cosecha (Cuadro 10) hubo presencia de fruta y semilla botánica sólo en un 10 %, las cuales correspondieron a las accesiones MMEXCH1, MMEXCH4, MMEXCH7 y MMEXCH8, respectivamente.

Cuadro 10. Análisis de frecuencia para caracteres cualitativos en fruto de 40 accesiones de yuca (*Manihot esculenta* Crantz).

Carácter	Tipo de expresión	Frecuencia absoluta	Frecuencia porcentual
Fruta	Ausente	36	90
	Presente	4	10
		40	100
Semilla	Ausente	36	90
	Presente	4	10
		40	100

Cabe señalar que en la experiencia de los productores más que los rendimientos del cultivo, les dan mayor importancia a otras cualidades como la calidad culinaria, precocidad, e incluso el color y forma de la raíz (Beovides *et al.*, 2014).

## 6.2. Análisis de Componentes Principales

El análisis de componentes principales (ACP) que se realizó a las 15 variables cuantitativas de yuca (Cuadro 11), indica que los primeros cuatro componentes explican el 69 % (68.98 %) de la variación fenotípica observada en las accesiones aquí estudiadas, con valores propios de 4.5, 3.0, 1.4, y 1.3, así como una contribución específica de 30.01, 20.04, 9.8 y 9.0 % de la variabilidad total, respectivamente.

De acuerdo con los valores propios (Cuadro 11), en el primer componente (CP1) las variables originales con mayor variación (marcadas en negritas) fueron: longitud del lóbulo de la hoja, ancho del lóbulo de la hoja y longitud del peciolo relacionándola con las dimensiones de la hoja; en el segundo componente (CP2) las variables de mayor importancia fueron: porcentaje de materia seca y contenido de almidón relacionándolos con los índices de calidad; el tercer componente (CP3) estuvo influenciado por la variable índice de cosecha el cual indica la cantidad de biomasa generada; mientras que el cuarto componente (CP4) se caracterizó por la variable altura de la planta, relacionándola con dimensiones de la planta. Aunque la selección del número de componentes puede depender del objetivo del criterio del investigador, Hidalgo (2003) considera que un 70 % de la variación fenotípica total aportada por los tres primeros componentes, es considerable.

Cuadro 11. Vectores y valores propios del análisis de componentes y valor descriptivo de la varianza total en colecciones de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) procedentes del estado de Chiapas.

CARACTER	CP1	CP2	CP3	CP4
NL	0.55962	-0.05047	-0.06723	-0.0335
LL	<b>0.88267*</b>	-0.00742	-0.13708	-0.28688
AL	<b>0.81221*</b>	-0.24596	-0.32126	-0.32161
RLA	0.01393	0.53536	0.38276	0.09428
LP	<b>0.78081*</b>	0.20289	-0.39054	-0.0282
AP	-0.01359	0.35438	-0.20765	<b>0.75423*</b>
APR	0.11958	0.71263	0.35202	0.12408
NR	-0.60107	0.20332	-0.38734	-0.23372
AR	-0.15647	0.63826	0.257	-0.47558
NRA	0.70052	-0.17792	0.16423	0.41218
NRC	0.67349	-0.03341	0.34633	0.16728
GR	0.47743	-0.45908	-0.02279	0.15413
PMS	-0.3156	<b>-0.79865*</b>	0.31892	-0.03062
CA	-0.31558	<b>-0.79863*</b>	0.31893	-0.03057
IC	0.60696	0.11961	<b>0.56925*</b>	-0.26344
Valores propios	4.50194	3.00650	1.48357	1.35452
Varianza explicada (%)	0.30013	0.20043	0.09890	0.09030
Varianza acumulada (%)	0.30013	0.50056	0.59947	0.68977

CP= Componente principal; CA= contenido de almidón; PMS= porcentaje de materia seca; NR= niveles de ramificación; AR= ángulo de la rama; AP= altura de la planta; RLA= relación largo-ancho; APR= altura a la primera rama; LP= longitud del peciolo; IC= índice de cosecha; LL= longitud del lóbulo central de la hoja; NRC= número de raíces comerciales; NL= número de lóbulos de la hoja; NRA= número de raíces de almacenamiento; AL= ancho del lóbulo central de la hoja; GR= grosor de la corteza de la raíz.

\* Valores que contribuyen más a la variabilidad total.

En la Figura 22, se presenta la dispersión de las 40 accesiones y las variables que tienen mayor relación. Se observa que las variables más vinculadas en forma positiva con el primer eje son: ancho del lóbulo central de la hoja (AL), grosor de la corteza de la raíz (GR) y número de raíces de almacenamiento (NRA). En forma negativa: niveles de ramificación (NR), ángulo de la rama (AR) y altura de la planta (AP). Las variables más relacionadas al segundo eje en sentido positivo son: contenido

de almidón (CA) y porcentaje de materia seca (PMS); y en sentido negativo la relación largo- ancho del lóbulo central (RLA) y altura a la primera rama (APR).

La proyección opuesta de los niveles de ramificación (NR) sobre el primer eje con respecto a la relación con las variables: ancho del lóbulo central de la hoja (AL), numero de lóbulos de la hoja (NL) y longitud del lóbulo central de la hoja (LL) significa que a medida que las accesiones de yuca desarrollan más niveles de ramificación presentan hojas con una menor dimensión. Algo similar sucede con la proyección de las variables sobre el segundo eje, es decir las accesiones de yuca tienden a aumentar el porcentaje de materia seca (PMS) en la medida que la dimensión de la planta sea menor.

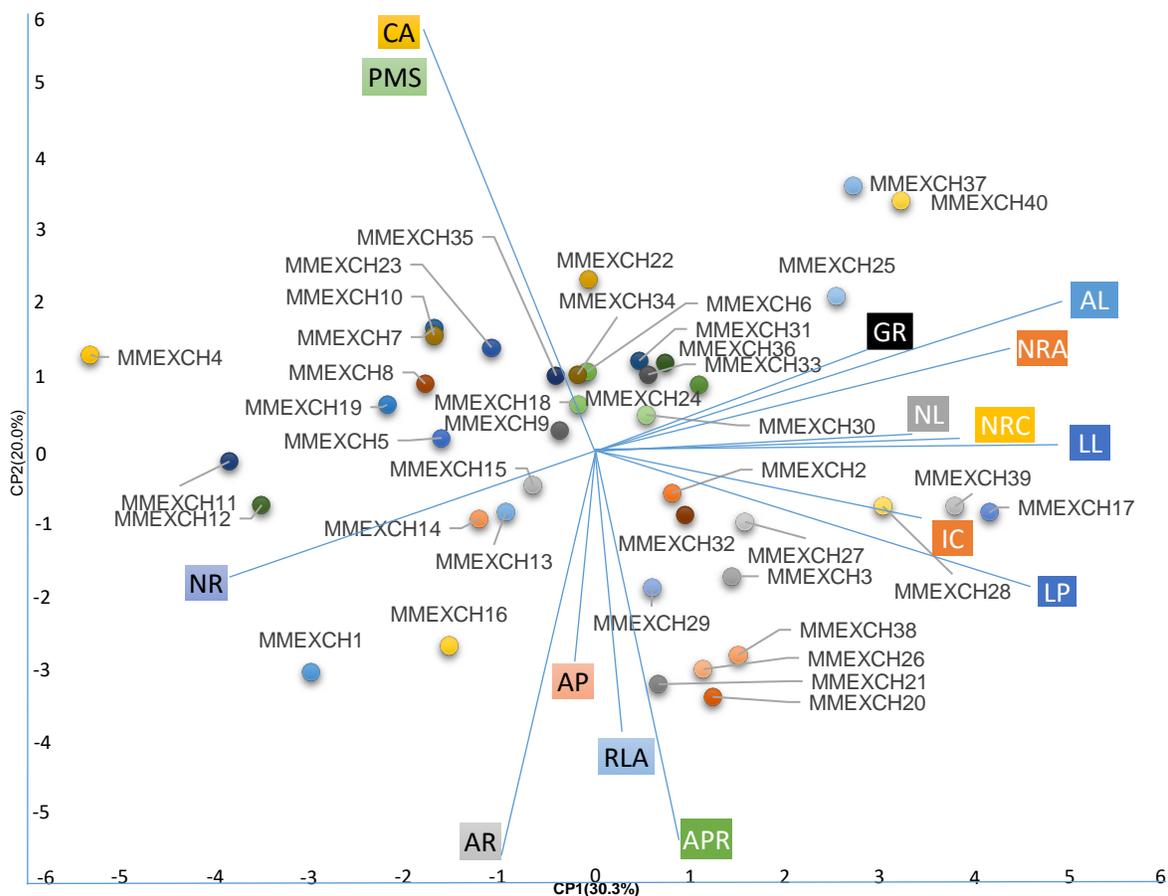


Figura 22. Patrones de dispersión de las 40 colecciones de yuca mediante el análisis de componentes principales 1 y 2.

También se puede observar el grado de asociación entre las variables que está determinada por la separación angular que forman sus proyecciones. La mejor asociación está constituida por el contenido de almidón y porcentaje de materia seca, seguido por el número de lóbulos de la hoja, número de raíces comerciales y longitud del lóbulo central de la hoja. La distancia al origen de los vectores indica que los caracteres de la hoja, porcentaje de materia seca y contenido de almidón son las más importantes.

### **6.3. Análisis de conglomerados**

El análisis de conglomerados detectó seis grupos (Figura 23), que se formaron con 1, 5, 4, 24, 3 y 3 accesiones respectivamente. Estas se describen a continuación.

Un primer grupo se formó solo por la accesión MMEXCH1, que se caracterizó por poseer el mayor número de niveles de ramificación (> 6), ubicados a partir de los 73 cm. Este resultado coincide con Pincay (2008) quien indica que estas ramificaciones pueden dar origen hasta dos, tres y cuatro ramas, las que a su vez pueden producir ramas terciarias y así sucesivamente, donde el número y la prontitud con la que se producen influyen de manera notable en la arquitectura de la planta. En cuanto a la altura de la primera rama, es satisfactoria ya que, desde el punto de vista agronómico influye especialmente en la eficiencia de las labores culturales, ya sea de forma química, con tracción animal o de manera mecanizada (Beovides *et al.*, 2014; Montaldo, 1991). Así mismo, ésta accesión se caracterizó por poseer una hoja palmeada relativamente pequeña, lo que explica el tamaño pequeño del peciolo (9.5 cm), puesto que éste carácter se correlacionó con la longitud de la hoja.

El segundo grupo formado por las accesiones: MMEXCH20, MMEXCH21, MMEXCH26, MMEXCH27 y MMEXCH38, se caracterizan por tener la altura de planta más grande con respecto al resto de las accesiones, esta comprende desde 2.9 a 3.7 m, a su vez con solo una rama localizada aproximadamente a 10 cm abajo de la punta.

Según Montaldo (1991) este grupo se clasifica como “plantas de porte alto” puesto que miden más de 2.5 m. Según Bellotti (2002) la altura va a depender indispensablemente de las condiciones climáticas, así como de la presencia de plagas. Chavarría (2003) comenta que la altura no es un carácter específico para cada variedad y agronómicamente la diferencia de altura de planta entre variedades no tiene ninguna influencia sobre el interés del productor, que en este caso es la producción de raíces tuberosas.

El tercer grupo integrado por: MMEXCH40, MMEXCH37, MMEXCH25 y MMEXCH22, se caracteriza por tener accesiones con corteza de raíz gruesa, pues poseen valores de entre 2.0 a 3.3 mm. Tienen un porte alto (2.6 a 3.4 m), sin ninguna ramificación, lo que significa que poseen dominancia apical. Tienen el mayor número de raíces de almacenamiento (6 y 10 raíces); no obstante, ésta característica presentó una desventaja entre las accesiones, ya que afectó el número de raíces comerciales (cinco y tres respectivamente), lo que explica que existe competencia entre ellas, lo que implica que no desarrollen más allá de los 20 cm de largo.

El cuarto grupo contiene dos subgrupos bien diferenciados. Estos se caracterizaron por contener accesiones con alto porcentaje de materia seca, contenido de almidón e índice de cosecha. El primer subgrupo conformado por las accesiones: MMEXCH19, MMEXCH16, MMEXCH14, MMEXCH15, MMEXCH13 y MMEXCH12, desarrolló un porcentaje de materia seca que va de 25.5 a 32.2 %, un contenido de almidón de 12.3 hasta 17.0 % y un índice de cosecha entre 0.345 y 0.521. Además, las plantas poseen ángulos de ramificación muy cerrados que van de 46.8 a 65°, pero con solo dos raíces comerciales. Así mismo, se observó una correlación negativa entre el número de raíces comerciales y el porcentaje de materia seca y almidón. El segundo subgrupo conformado por: MMEXCH30, MMEXCH32, MMEXCH29, MMEXCH33, MMEXCH24, MMEXCH9, MMEXCH6, MMEXCH3, MMEXCH2, MMEXCH8, MMEXCH7, MMEXCH35, MMEXCH23, MMEXCH36, MMEXCH31, MMEXCH34, MMEXCH18 y MMEXCH10, destacan por los más altos porcentajes de materia seca (25.7 - 37.6 %) el cual incidió directamente en el contenido de almidón (12.5 - 20.8 %).

Esto seguramente debido a que existe una relación directa entre el porcentaje de almidón y el contenido de materia seca obtenidos por el método de gravedad específica. Rojas (2012) menciona que una selección de variedades en base al porcentaje de materia seca, trae beneficios para su industrialización. Así mismo, éste subgrupo alcanzó los índices de cosecha más altos 0.5- 0.7, es decir aquellas que tienen mayor cantidad de biomasa.

El quinto grupo formado por las accesiones: MMEXCH4, MMEXCH5 y MMEXCH11, está diferenciado por contener en promedio cinco lóbulos por hoja, y es que estos pueden variar en una misma planta, por lo general se presentan de manera impar (Pincay, 2010). Se diferencian por presentar el menor número de raíces comerciales (< 2 raíces); así mismo, presentaron altos contenidos de almidón (17.2 - 19.9 %).

El sexto y último grupo integrado por: MMEXCH39, MMEXCH28 y MMEXCH17, estas accesiones se diferenciaron por poseer una longitud y ancho del lóbulo más grande, entre 16 y 20 cm, y 5 y 6 cm respectivamente. Así mismo, desarrollaron una longitud de peciolo muy grande (23 a 38 cm). Como se mencionó anteriormente, la longitud del lóbulo de la hoja está muy correlacionada con la longitud del peciolo.

Los descriptores relacionados con la altura de la planta, la cantidad de raíces comerciales y su peso, así como el grosor del tallo, son usualmente caracteres de importancia para los productores y mejoradores por su contribución al rendimiento y a la calidad de la semilla. Resulta por tanto significativamente valioso cuando se trata de evaluar o caracterizar una colección núcleo de interés para el mejoramiento (Ceballos *et al.*, 2012).

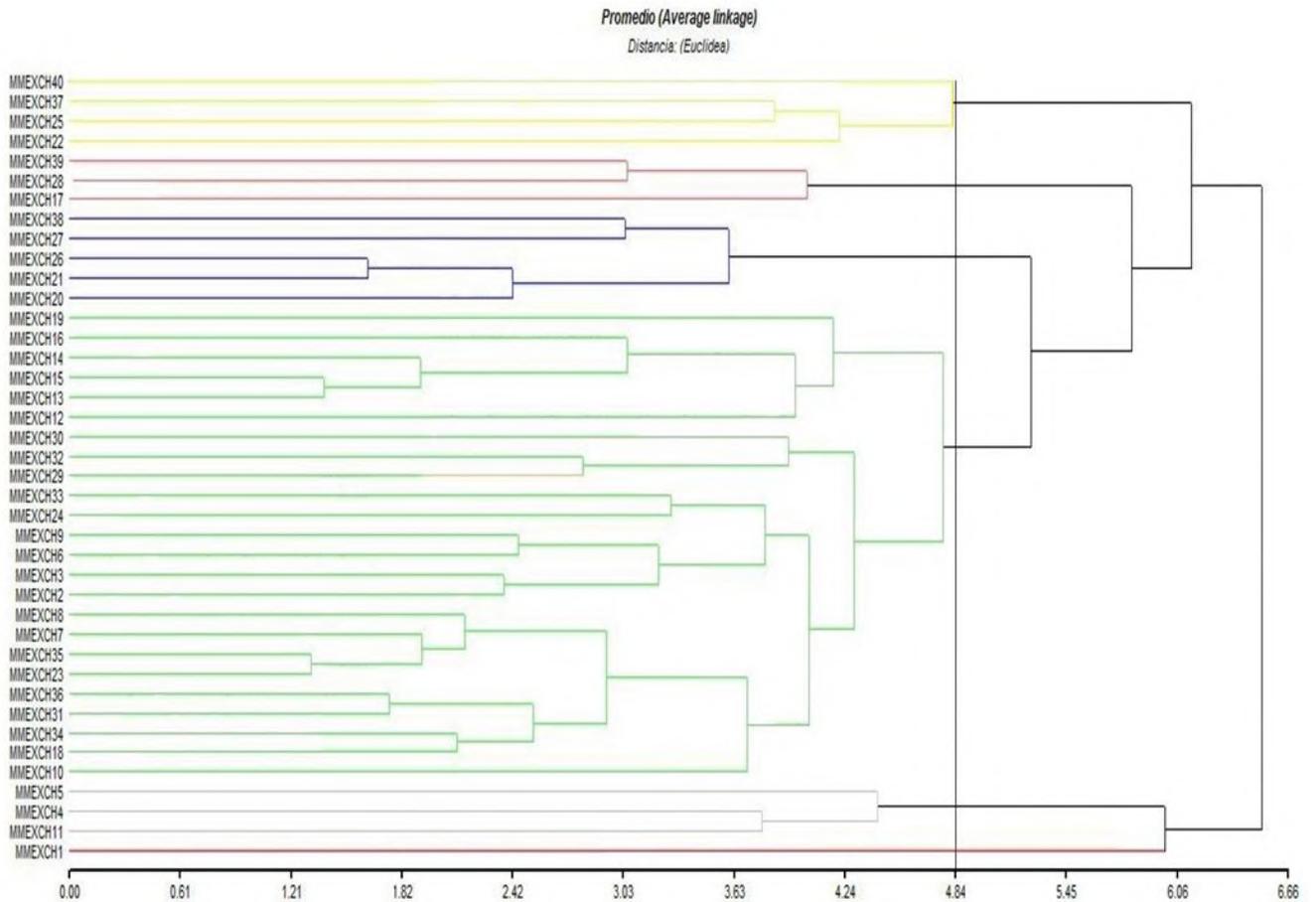


Figura 23. Relación morfológica en accesiones de yuca construido a partir de 15 variables cuantitativas.

Es así como se logró documentar la caracterización morfológica (48 descriptores), de 40 accesiones provenientes del estado de Chiapas; no obstante, es necesario caracterizar el germoplasma mediante marcadores moleculares o bioquímicos; así como integrar aspectos fisiológicos de la planta en evaluaciones futuras.

### 6.3. Distribución geográfica

#### 6.3.1 Distribución real de las accesiones

Con las coordenadas de colecta se obtuvo el siguiente mapa de distribución real de las 40 accesiones en el estado del Chiapas (Figura 24). Se logra apreciar cuatro regiones de colecta bien diferenciadas, las cuales corresponden a la región noreste, noroeste, sur y este.

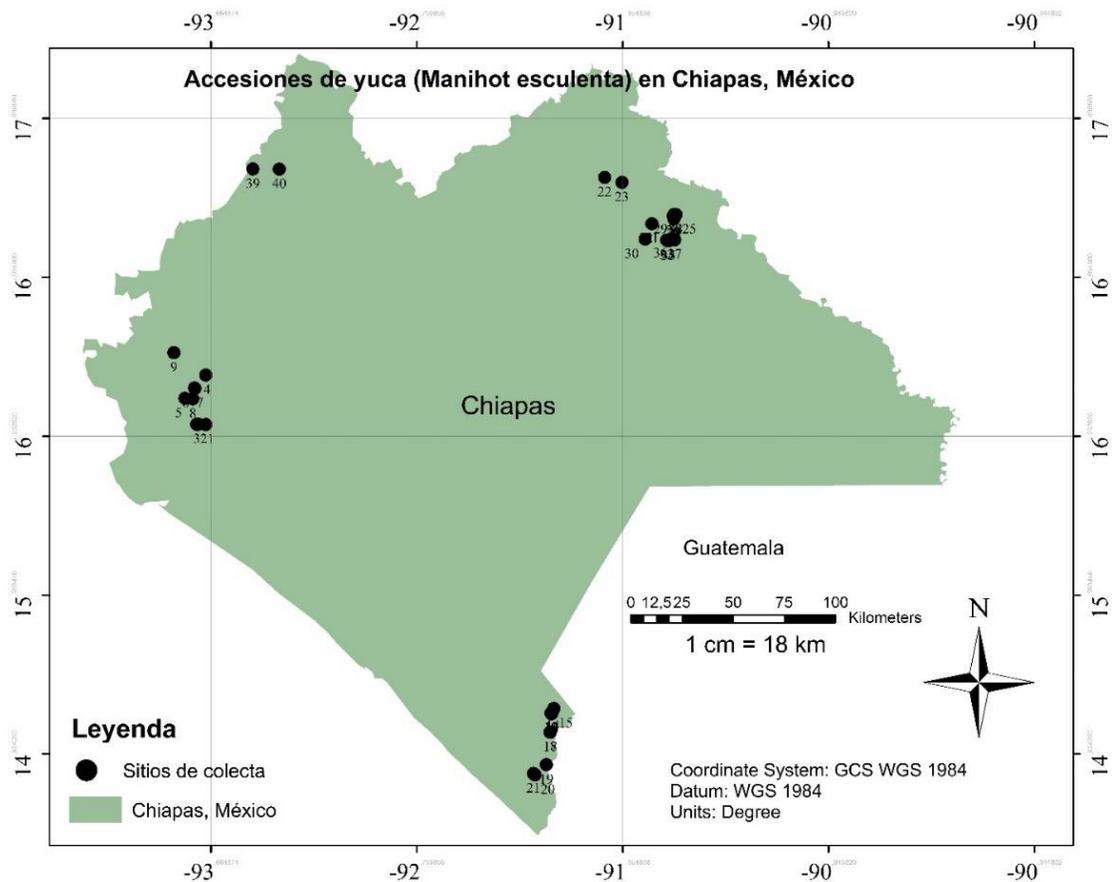


Figura 24. Distribución geográfica de las accesiones de yuca en el estado de Chiapas basado en los sitios de colecta.

#### 6.3.2. Distribución potencial de yuca

El valor del área bajo la curva (AUC) para *M. esculenta*, tiene un valor de 96.7 %, es decir que el modelo generado es mejor si se realizara uno al azar. En tanto, los datos de prueba presentan valores de 93.1 %, por lo que, la predicción tiene un alto

nivel de precisión en la discriminación de las áreas donde la especie se encuentra y entre aquellas en las que está ausente. Esto apunta que el modelo alcanzó un desempeño adecuado (Mezaour, 2005).

En la Figura 25, se muestran los sitios con presencia y potencial de ocurrencia de yuca. Las áreas marcadas de rojo (80- 100 %) muestran las condiciones ambientales favorables para el desarrollo del nicho ecológico y la alta probabilidad de encontrar yuca, seguido en orden decreciente del color naranja y amarillo que corresponde a la parte costera del Golfo de México y Océano Pacífico. En contraste, el color verde muestra una probabilidad menor al 40 % de presencia de las condiciones del nicho.

Si bien es cierto que solo se utilizaron 40 puntos de colecta provenientes del estado de Chiapas, el cual pudo sesgar los resultados con mayor probabilidad en la región sureste de México, los resultados son similares a los reportados por Meneses *et al.*, (2014) quien determinó la distribución de especies del género *Manihot* en México con datos de presencia obtenidos de herbarios nacionales y mapas generados por la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). En su trabajo, indica la presencia de yuca en Tabasco y Veracruz (Golfo de México) mientras que en el Océano Pacífico resaltan los estados de Chiapas, Oaxaca, Guerrero, Jalisco, Nayarit y Colima. Asimismo, señala presencia de yuca en la península de Yucatán y sur de Tamaulipas.

Con respecto a las condiciones ambientales favorables para la especie se obtuvo la temperatura, evapotranspiración y la precipitación de los meses húmedos, coincidiendo con Meneses *et al.*, (2014) al mencionar que las especies del género *Manihot* pueden extenderse en zonas áridas y templadas como los estados de Sonora y Baja California Sur, pero restringiéndose a ciertas condiciones ambientales que impiden su crecimiento y desarrollo como un periodo de heladas y precipitaciones hídricas menores a 500 mm anuales.

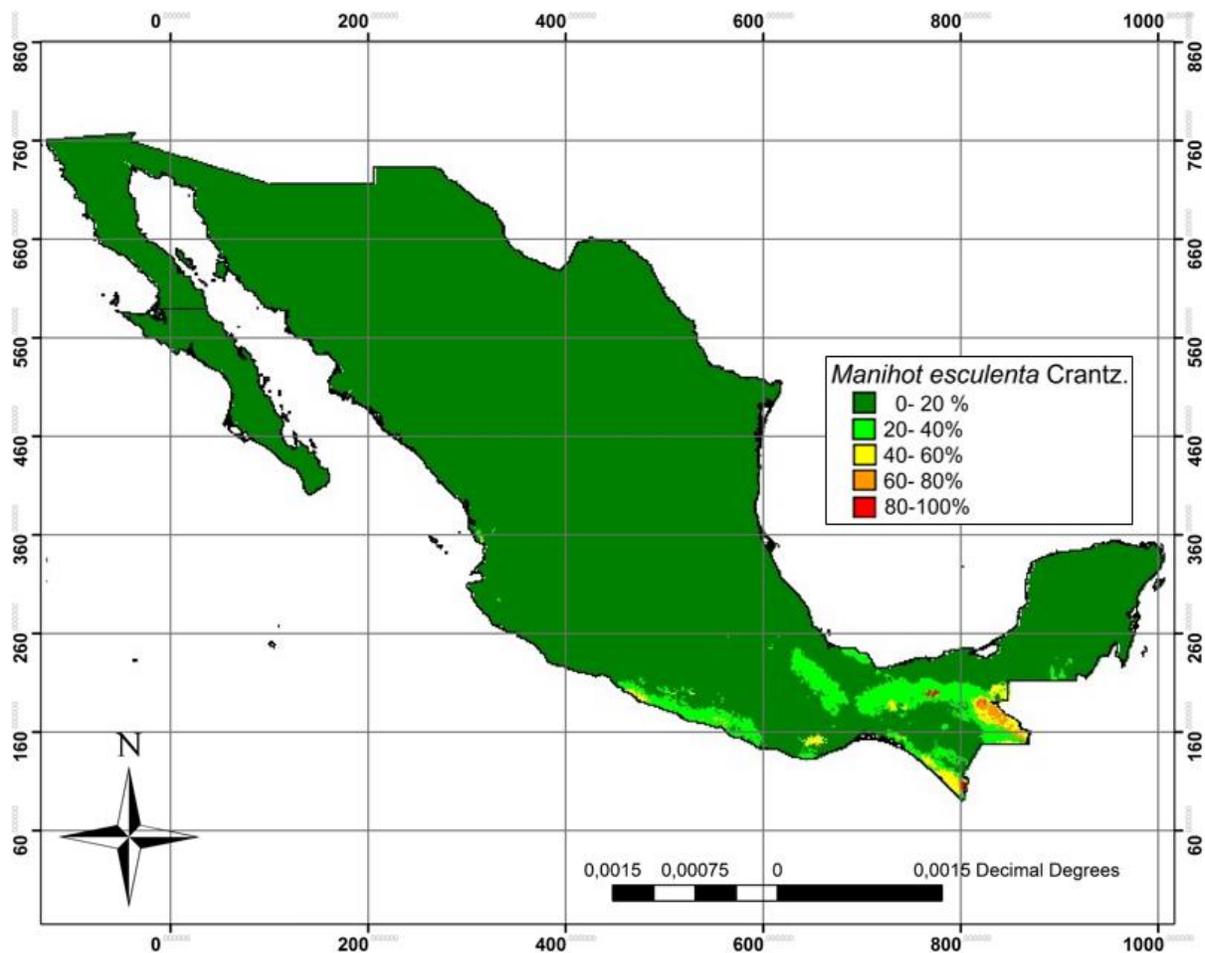


Figura 25. Distribución potencial del nicho ecológico de yuca (*Manihot esculenta* Crantz).

Al comparar ambos mapas de distribución real y potencial, con principal atención en el estado de Chiapas, se nota que existe mayor presencia de yuca en orden decreciente en: zona este, sur, norte y oeste, los cuales concuerdan con los puntos de colecta de las accesiones. En la zona centro del estado es donde existe menor probabilidad de encontrarla entre el 20 y 40 % acorde al mapa de distribución potencial.

A nivel nacional se estimó una superficie potencial de 8,365,520 ha<sup>-1</sup> para el desarrollo del cultivo, resultado similar a Hernández *et al.*, (2013) quien proyectó 8,295,394 ha<sup>-1</sup>, en el cual los estados de Tabasco, Veracruz y Chiapas representan el

94 % del total de la superficie delimitada, y el cual se puede evidenciar en el mapa generado.

Acorde con la información obtenida, los Sistemas de Información Geográfica (SIG) son útiles en estudios ecogeográficos de la conservación y utilización eficiente de los recursos fitogenéticos, lo que conlleva a revelar el rango adaptativo de la especie y a detectar los factores ambientales más importantes en términos de adaptación.

## 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los descriptores donde existe mayor variabilidad en las 40 accesiones de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) evaluados son: longitud y ancho del lóbulo central de la hoja, longitud y color del peciolo, color de la superficie externa del tallo maduro, extensión del pedúnculo de la raíz, forma y color de la corteza de la raíz, número de raíces totales de almacenamiento y raíces comerciales.

El análisis de componentes principales, indicó que los primeros cuatro componentes principales explican el 68.977 % de la variación fenotípica de variables cuantitativas de las accesiones aquí estudiadas, con valores propios de 4.5, 3.0, 1.4, y 1.3, así como una contribución específica de 30.01, 20.04, 9.8 y 9.0 % de la variabilidad total.

De acuerdo con los valores propios, en el primer componente (CP1) las variables originales con mayor peso fueron: longitud del lóbulo de la hoja, ancho del lóbulo de la hoja y longitud del peciolo relacionándola con las dimensiones de la hoja; en el segundo componente (CP2) las variables de mayor importancia fueron: porcentaje de materia seca y contenido de almidón relacionándolos con los índices de calidad; el tercer componente (CP3) estuvo fuertemente influenciado por la variable índice de cosecha el cual indica la cantidad de biomasa generada; mientras que el cuarto componente (CP4) se caracterizó por la variable altura de la planta, relacionándola con dimensiones de la planta.

Se encontraron materiales con alto porcentaje de materia seca y contenido de almidón, los cuales son definidos como parámetros de calidad, en ellos se encuentran: MMEXCH4, MMEXCH7, MMEXCH8, MMEXCH10, MMEXCH18, MMEXCH23, MMEXCH31, MMEXCH35 y MMEXCH 36. Sin embargo, es apropiado evaluar los mismos individuos más de dos ciclos y en diferentes ambientes para corroborar los resultados obtenidos. Una vez hecho, se podrían distribuir a agricultores interesados, así como abrir pauta para el mejoramiento genético.

Se logró referenciar geográficamente las áreas potenciales donde se puede encontrar la especie en el territorio mexicano. Por lo que este estudio permitirá realizar salidas de campo para verificar la presencia de la especie, para de esta manera coleccionar y enriquecer la diversidad del banco de germoplasma, a su vez con este mapa se podrá impulsar el cultivo en los lugares señalados.

## 8. LITERATURA CITADA

Abdelmonem A. A. and Virginia A. C. 1996. Computer Aided Multivariate Analysis. 3ra edición. pp: 330-408. Los Ángeles, California, EUA.

Acosta R. A. R., A. Tamayo C., R. Palacios. 2006. Caracterización morfológica y extracción de ADN de 11 clones de yuca (*Manihot esculenta* Crantz.) en La Universidad Earth, Costa Rica. *Tierra Tropical*. 2:67–75.

Aguilar, V., A. Aguirre., J. Alarcón., A. Boomer., S. Contreras., E. Del Val., A. Elizalde., E. Ernesto., F. Espinoza., J. Golubov., H. Hermann., P. Koleff., J. March, I., M. H. Martínez J. 2007. Especies invasoras de alto impacto a la biodiversidad prioridades en México. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Jiutepec, Morelos (IMTA) Conabio, GECI, AridAmérica, The Nature Conservancy. México. pp: 9-12 (Disponible en línea en: <http://www.invasive.org/gist/products/library/mex-especies-invadoras.pdf>).

Alcantar L. G. 2001. La entropía como medida de incertidumbre de modelos de distribución de especies. Tesis Licenciatura. FES Iztacala, UNAM.

Álvarez Á. A. E. 2008. Medición del contenido de almidón y porcentaje de materia seca en raíces de yuca fresca basada en espectroscopia de impedancia electrónica. Tesis profesional. Universidad Industrial de Santander, Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Santander, Colombia, pp. 1-15.

Andaya B. J. G. 2013. El cultivo de la malanga (*Colocasia esculenta*) en el municipio de Actopan Veracruz. Universidad Veracruzana, Facultad de Ciencias Agrícolas. Tesis de licenciatura. (Disponible en línea en: <http://cdigital.uv.mx/bitstream/123456789/32708/1/andayabravo.pdf>). (Consulta: 1 de octubre del 2016). pp: 52.

Arismendi, L. G. 2001. Investigación sobre el cultivo de la yuca (*Manihot esculenta* Crantz) en el oriente de Venezuela. *Revista UDO Agrícola*. Departamento de Agronomía, Escuela de ingeniería Agronómica, Núcleo de Monagas, Universidad de Oriente. 1: 1–10.

Aristizábal, J., T. Sánchez., D. Mejía L. 2007. La yuca. *In: Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca*. FAO. Roma, Italia, pp. 1–18.

Baldwin R. B. & L. C. Bender. 2008. Densite characteristics of black bears in Rocky Mountain National Park, Colorado. *J. Wildl. Manag.* 72:1717–1724.

Bellotti, A., B. Arias., O. Vargas., J. Reyes., J.M. Guerrero. 2002. Insectos y ácaros dañinos. *In: La yuca del tercer milenio, sistemas modernos de producción, procesamiento, utilización y comercialización*. Ospina B, Ceballos H. (comps), CIAT. Cali, Colombia. pp: 160-203. (Disponible en línea en: <http://ciat->

library.ciat.cgiar.org:8080/jspui/bitstream/123456789/1064/1/La\_Yuca\_en\_el\_Tercer\_Milenio.pdf).

Beovides G. Y., M. Milián J., O. Coto A., A. Rayas C., M. Basail P., A. Santos P., J. López T., V. R. Medero V., J. A. Cruz A., E. Ruíz D., D. Rodríguez P. 2014. Caracterización morfológica y agronómica de cultivares cubanos de yuca (*Manihot esculenta* Crantz). Cultivos Tropicales, Cuba. 35:50. (Disponible en línea en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193230070006>).

Biodiesel Argentina. 2009. biodiesel.com.ar. (Disponible en línea en: <http://biodiesel.com.ar/1463/colombia-producira-bioetanol-de-yuca>) (Consulta: 25 de enero de 2016).

Buehler, E.C. and L.H. Ungar. 2001. Maximum entropy methods for biological sequence modeling. Pennn libraries, University of Pennsylvania, Department of Computer and Information Science. pp: 1–4. (Disponible en línea en: [http://repository.upenn.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1142&context=cis\\_papers](http://repository.upenn.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1142&context=cis_papers)).

Buitrago A, Julián., J. L. Gil L., B. Ospina P. 2001. La yuca en la alimentación avícola. Meek M. E. y H. Aldama N. (eds.). Cuadernos avícolas No. 14. Consorcio Latinoamericano y del Caribe de Apoyo a la Investigación y al Desarrollo de la Yuca. Cali, Colombia, pp.1–48.

Camarena M. F., J. Chura C., R. H. Blas S. 2014. Mejoramiento genético y biotecnológico de plantas. Segunda edición. La molina, Lima, Perú. (Disponible en línea en: [http://www.agrobanco.com.pe/data/uploads/pdf\\_cpc/MEJORAMIENTO\\_GENETICO\\_Y\\_BIOTECNOLOGICO\\_DE\\_PLANTAS.pdf](http://www.agrobanco.com.pe/data/uploads/pdf_cpc/MEJORAMIENTO_GENETICO_Y_BIOTECNOLOGICO_DE_PLANTAS.pdf)) (Consulta: 21 de agosto de 2016).

Carabalí, A., A.C Bellotti., J. Montoya L., M. Fregene. 2010. Resistance to the whitefly, *Aleurotrachelus socialis*, in wild populations of cassava, *Manihot Tristis*. Journal of Insect Science. 10:170. (Disponible en línea en: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3016885/>).

Cartay, R. 2004. Difusión y comercio de la yuca (*Manihot esculenta*) en Venezuela y en el mundo. Agroalimentaria, 18:14–23. (Disponible en línea en: <http://erevistas.saber.ula.ve/index.php/agroalimentaria/article/view/1309/1255>).

Ceballos, H. 2002. La yuca en Colombia y el mundo: nuevas perspectivas para un cultivo milenario. *In*: La yuca en el tercer milenio, sistemas modernos de producción, procesamiento, utilización y comercialización. Ospina, B. y H. Ceballos (comps.). Centro Internacional de Agricultura Tropical, Cali, Colombia. pp: 1-13.

Ceballos, H y G.A. de la Cruz A. 2002. Taxonomía y morfología de la yuca. *In*: La yuca en el tercer milenio. Ospina, B. y H. Ceballos (comps.). Centro Internacional de Agricultura Tropical, Cali, Colombia, pp: 15–32. (Disponible en línea en: <http://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=I18Dz9sYZO8C&oi=fnd&pg=PA16&>

dq=Taxonom?a+y+Morfolog?a+de+la+Yuca&ots=JRvOPFulz&sig=VfOgFncF8P6Avr0h9k42Kino6QE\http://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=l18Dz9sYZO8C&oi=fnd&pg=PA16&dq=Taxonom?a+y+morfolog?a+de).

Ceballos, H., C. Hershey y A. Becerra L. 2012. New approaches to cassava breeding. *In: Plant breeding reviews*, 1ra. edition. Jules J. (ed.). Wiley- Blackwell. John Wiley & Sons, Inc. (EE. UU). 36:427-504.

Chavarría M. E. 2003. Evaluación agronómica de siete variedades de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) en las condiciones del municipio de Nueva Guinea, Nicaragua. Tesis profesional. Facultad de Agronomía. Universidad Nacional Agraria. Managua, Nicaragua. 77 p.

CIAT. 2016. Investigación en yuca (Disponible en línea en: <https://ciat.cgiar.org/es/investigacion-en-yuca>) (Consulta: 8 de marzo de 2016).

Cock H. J. 1997. La yuca, nuevo potencial para un cultivo tradicional, Cali, Colombia. (Disponible en línea en: [https://books.google.com.mx/books?hl=es&lr=&id=CCHrPDm\\_pjcC&oi=fnd&pg=PA7&dq=CULTIVO+DE+YUCA&ots=IT8ogUCvlo&sig=tNJJ88DpJ0ZXwimtMN7ZX3szR1s&redir\\_esc=y#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.mx/books?hl=es&lr=&id=CCHrPDm_pjcC&oi=fnd&pg=PA7&dq=CULTIVO+DE+YUCA&ots=IT8ogUCvlo&sig=tNJJ88DpJ0ZXwimtMN7ZX3szR1s&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false)).

Corredor G. J. A. 2005. Evaluación de la asociación de características morfológicas y bioquímicas de la raíz de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) con la resistencia a pudrición por *Phytophthora tropicalis* y el deterioro de la poscosecha. Tesis profesional. Universidad de Caldas, Facultad de Ciencias Agropecuarias. pp: 60- 190.

Cruz C. G., L. López M., C. A. Ortiz S., J. L., Villaseñor, E. Ortiz, J. T. Silva. 2014. Interpolation of mexican soil properties at a scale of 1:1 000 000. *Geoderma*. 213: 29–35. (Disponible en línea en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2013.07.014>) (Consultado en: 28 de septiembre del 2016).

Demey R. J., A. Zambrano Y., F. Fuenmayor. and V. Segovia. 2003. Relación entre caracterizaciones molecular y morfológica en una colección de yuca. *Interciencia*, 28:684–689. (Disponible en línea en: [www.interciencia.org](http://www.interciencia.org)).

Díaz P. G., J. U. Ruíz C., M. Á. Cano G., V. Serrano A., G. Medina G. 2006. Estadísticas climatológicas básicas del estado de Veracruz (Periodo 1961-2003). 1ra edición. INIFAP (ed), Medellín de Bravo, Veracruz. 13: 90- 92. (Disponible en línea en: <http://biblioteca.inifap.gob.mx:8080/jspui/handle/123456789/3416>).

ESRI, 2011. ArcGIS Desktop: Release 10. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute.

Fakuda, W.M.G., Guevara, C.L., Kawuki, R., Ferguson, M.E. 2010. Selected morphological and agronomic descriptors for the characterization of cassava.

International Institute of Tropical Agriculture (IITA). Abadan, Nigeria. 19 p. (Disponible en línea en: [http://www.cassababase.org/static\\_content/Fakuda\\_et\\_al\\_2010.pdf](http://www.cassababase.org/static_content/Fakuda_et_al_2010.pdf)).

FAO. 2014. Normas para bancos de germoplasma de recursos fitogenéticos para la alimentación y la agricultura, Roma, Italia. 167 p. (Disponible en línea en: [www.fao.org/publications](http://www.fao.org/publications)).

Fuenmayor, F., V. Segovia., J. G. Albarrán., A. Rodríguez., W. Cabaña. 2005. Banco de Germoplasma de yuca del INIA-CENIP Venezuela. CENIP-INIA. (Disponible en línea en: [http://sian.inia.gob.ve/repositorio/revistas\\_tec/ceniaphoy/articulos/n7/arti/fuenmayor\\_f/a\\_rti/fuenmayor\\_f.htm](http://sian.inia.gob.ve/repositorio/revistas_tec/ceniaphoy/articulos/n7/arti/fuenmayor_f/a_rti/fuenmayor_f.htm)

García J.; C, Segovia. 2014. Guía SPSS 15.0. Análisis de Conglomerados (II): el procedimiento conglomerados jerárquicos. 189 p. (Disponible en línea en: [http://www.um.es/ae/soloumu/pdfs/pdfs\\_manuales\\_spss/SPSS%20Brief%20Guide%2015.0.pdf](http://www.um.es/ae/soloumu/pdfs/pdfs_manuales_spss/SPSS%20Brief%20Guide%2015.0.pdf) ) (Consultado en: 14 de agosto del 2016).

Hernández, P. A., C. H. Graham, L. L. Master y D. L. Albert. 2006. The effect of sample size and species characteristics on performance of different species distribution modeling methods. *Ecography* 29:773–785.

Hernández V. A. E. 2013. Morphological characterization of plant genetic. *Revista Bio Ciencias*, 52:113–118. (Disponible en línea en: <http://biociencias.uan.edu.mx/publicaciones/04-03/biociencias4-3-4.pdf>).

Hitmans R. J., L. Guarino., M. Cruz., E. Rojas. 2016. Computer tools for spatial analysis of plant genetic resources data. 1. Diva-Gis, versión 7.5.0.0. *Plant Genetic Resources Newslette*. (Disponible en línea en: <http://www.diva-gis.org/download>).

Hutchinson, G. E. 1957. "Concluding remarks". *In: Cold spring harbor symposia on Quantitative Biology*. 22:415–427.

INIEA. 2006. Manual para la caracterización de cultivos nativos *in situ*. Estrada J. R., T. Medina H., A. Roldán C., (eds) Instituto Nacional de Investigación y Extensión Agraria (INIEA). Lima, Perú. pp: 106-118.

IPGRI. 2003. Análisis estadístico de datos de caracterización morfológica de recursos fitogenéticos. Franco T. L., and Hidalgo, R., (eds), Boletín técnico 8. Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos. Cali, Colombia. 87 p. (Disponible en línea en: [https://www.biodiversityinternational.org/fileadmin/\\_migrated/uploads/tx\\_news/An?lis\\_is\\_estad?stico\\_de\\_datos\\_de\\_caracterizaci?n\\_morfol?gica\\_de\\_recursos\\_fitogen?ticos\\_894.pdf](https://www.biodiversityinternational.org/fileadmin/_migrated/uploads/tx_news/An?lis_is_estad?stico_de_datos_de_caracterizaci?n_morfol?gica_de_recursos_fitogen?ticos_894.pdf)).

Iriondo A. J. M. 2001. Conservación de germoplasma de especies raras y amenazadas. *Investigación Agraria: Producción y Protección Vegetal*, 16:10–11.

Johnson, D. E. 2000. Métodos multivariados aplicados al análisis de datos International Thomson editores. Manhattan. pp: 93- 142. (Disponible en línea en: [https://books.google.com.co/books?id=4j\\_tAAAACAAJ](https://books.google.com.co/books?id=4j_tAAAACAAJ)).

Kawano, k., Fakuda, W. M. G. and Cenpukdee, U. 1987. Genetic and environmental effects on dry matter content of cassava root. *Crop Science*. 27: 69-74.

Liras, E. 2008. Funcionamiento, interfaz y formato de los datos en MaxEnt. *In: Replicación del IV taller de modelización de nichos ecológicos*. Almería, España. 41 p.

Mafla, G., Debouck, D. G. 2007. Alternativas para la conservación de recursos genéticos en bancos de germoplasma. *in "XVII Congreso venezolano de botánica"*, (Venezuela), 1:30–33. (Disponible en línea en: <http://dx.doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>).

Marín, A., D. Perdomo., J. G. Albarrán., F. Fuenmayor., C. Zambrano. 2008. Evaluación agronómica, morfológica y bioquímica de clones élites de yuca a partir de vitroplantas. *Interciencia*, 33:365–371.

Martínez G. M., J. Jiménez R., R., García., A. Cervantes., R. Mejía H. 2002. Los géneros de la familia Euphorbiaceae en México. *Serie Botánica*. 73:155-281.

Martínez H. A. 2010. Zonas de importancia para la conservación de los carnívoros en Oaxaca. Tesis de maestría. Instituto Politécnico Nacional (IPN), Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Oaxaca. Oaxaca, México. pp:1–23.

Martínez H. G. 2013. Caracterización morfológica de genotipos de pitaya (*Hylocereus spp.*). Colegio de Postgraduados, Postgrado de Recursos Genéticos y Productividad Genética, Campus Montecillo. 61 p.

Meneses M. I., A. Vázquez H., X. Rosas G., E. N. Becerra L. 2014. Colecta y conservación ex situ de germoplasma de yuca en el estado de Veracruz. *In: XXVI Reunión Científica- Tecnológica Forestal y Agropecuaria Tabasco 2014 y III Simposio Internacional en Producción Agroalimentaria Tropical*. Villahermosa, Tabasco, México. pp. 391–396.

Mezaour A. 2005. Filtering web documents for a thematic warehouse case study: eDod food risk data warehouse (extended) *in: Intelligent information processing and web mining*. Laboratoire de Recherche en Informatique (LRI), Université Paris Sud, France. 269-278 pp.

Montaldo, Á. 1991. Cultivo de raíces y tubérculos tropicales, San José Costa Rica. 2da. Edición. Instituto Interamericano de Cooperación para la agricultura (IICA). pp: 131-224.

Nicaragua K., F. Pavón., E. Chavarría. 2004. Manejo Integrado de Plagas, 1ra edición, Impresión comercial la prensa. Managua, Nicaragua. pp: 1-48.

Nassar N. M. A., Hashimoto D. Y. C., Fernández S. D. C. 2008. Genetic and molecular research. 7: 161-175.

Olsen K. M. and Schaal B. A. 2001. Microsatellite variation in cassava (*Manihot esculenta*, Euphorbiaceae) and its wild relatives: further evidence for a southern. amazonian origin of domestication. American Journal of Botany 88:131-142.

Palacio J. D. 2007. Panorama del flujo de genes en yuca en un contexto de liberación de variedades genéticamente modificadas en Colombia. Proyecto GEF- BM, desarrollo de capacidades para implementar en Colombia el Protocolo de Cartagena en Bioseguridad- Convenio de Diversidad Biológica. 85- 119 pp.

Pérez, M. Z. 1987. Caracterización preliminar de 25 materiales de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) colectado en los departamentos de Chiquimula, El Progreso, Izabal, Jutiapa y Zacapa. Tesis profesional. Universidad de San Carlos Guatemala Facultad de Agronomía. GT. p. 10-11-14.

Phillips J, S., Anderson P. R., Schapire E. R. 2006. Modelling and analysis of the atmospheric nitrogen deposition in North Carolina. International Journal of Global Environmental. 6:231 –252. (Disponible en línea en: <http://rob.schapire.net/papers/ecolmod.pdf>).

Phillips J. S. Dudík, M. 2008. Modeling of species distributions with Maxent: New extensions and a comprehensive evaluation. Ecography . 1:161–175.

Phillips, S., Dudik, M. and Schapiere, R. 2010. Maxent Software, ver. 3.3.3e. (Disponible en línea en: <http://www.cs.princeton.edu/schapire/maxent/>).

Pincay A. L. M. 2010. Caracterización agronómica, morfológica y molecular del banco de germoplasma de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) de la estación experimental Portoviejo del INIAP. Tesis profesional. Universidad Técnica de Manabí, Facultad de Agronomía, Manabí, Ecuador. 61 p.

Polanco, D. 1998. Caracterización morfológica, isoenzimática, contenido de cianuro y almidón en el banco de germoplasma in vivo de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) de la Facultad de Agronomía de la Universidad Central de Venezuela. Tesis profesional. Universidad Central de Venezuela. Maracay, Venezuela. 99 pp.

Puerres R. J. A. y M. Tacán. 2009. Colecta, caracterización básica e identificación de morfotipos de cuatro raíces (yuca, camote, taro, malanga) en la provincia de Imbabura. INIAP, Estación Experimental Santa Catalina, Departamento Nacional de Recursos Fitogenéticos. Quito, Ecuador. pp: 1-33.

Ramírez N. L. M. y P. Jiménez A. 2010. Manual técnico el cultivo de la yuca (*Manihot esculenta* Crantz); para la producción forrajera y su utilización en la alimentación de bovinos. Palmira, Colombia.

Rienzo, J. A., F. Casanoves., M. G. Balzarini., L. González., M. Tablada., C.W. Robledo. 2011. InfoStat. Versión 24-03-2011. Programa de cómputo. Córdoba, Argentina. Universidad Nacional de Córdoba. (Disponible en línea en: <http://www.infostat.com.ar/>).

Rodríguez M. J., J. M. Rivadeneyra R., E. de J. Ramírez R., J. M. Juárez B., E. Herrera T., R. O. Navarro C., B. Hernández S. Caracterización fisicoquímica, funcional y contenido fenólico de harina de malanga (*Colocasia esculenta*) cultivada en la región de Tuxtepec, Oaxaca, México. 2011. Ciencia y Mar. 43: 37-47. (Disponible en línea en: <http://www.umar.mx/revistas/43/0430104.pdf>). (Consultado en: 3 de octubre del 2016).

Rojas R. A. M. 2012. Estudio de las características fisicoquímicas de la yuca (*Manihot esculenta* Crantz.) y sus efectos en la calidad de hojuelas fritas para su procesamiento en la empresa Pronal S. A. Tesis de grado. Universidad Tecnológica de Pereira, Facultad de Tecnologías, Escuela de Química Pereira. Colombia. pp: 130.

Rosas G. X., I. Meneses M., B. L. Enrique N. y A. Vásquez H. 2012. Posición de la estaca y su efecto sobre el rendimiento de raíz de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) en Veracruz, México. Revista Biológico Agropecuario Tuxpan. Serrano S. A., Julio C. G. Cárdenas., I. del C. Daniel R., R. Cuervo G., M. Á. Lammoglia V., I. A. Chamorro F., J. L. Alanís M., P. Elorza M., L. Vázquez C., S. M. Sánchez Y., R. A. Mateos R. (eds). Veracruz, México. 2:97-104.

Statistic Analysis System. 2009. SAS Institute Inc., Cary North Carolina, EE. UU.

SIAP. 2014. Cierre de producción agrícola por cultivo. (Disponible en línea en: <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-cultivo/>). (Consulta: 26 octubre 2015).

SINAREFI. 2008. [www.sinarefi.org.mx](http://www.sinarefi.org.mx). Especies del género *Manihot* en México. (Disponible en línea en: [http://www.sinarefi.org.mx/redes/red\\_yuca.html#cajalntro](http://www.sinarefi.org.mx/redes/red_yuca.html#cajalntro)) (Consulta: 08 de marzo de 2016).

Suárez G. L. y V. R. Mederos V. 2011. Revisión bibliográfica apuntes sobre el cultivo de yuca (*Manihot esculenta* Crantz). Tendencias actuales. Cultivos Tropicales, 32:27–34.

Terranova. 2004. Producción agrícola. Terranova (eds). Ltda. Enciclopedia agrícola Terranova, segunda edición. Bogotá, Colombia. 586p.

Torres V. L. A. 2012. Caracterización morfológica de 37 accesiones de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) del banco de germoplasma del Centro Agronómico Tropical de

Investigación y Enseñanza (CATIE). Tesis de Maestría. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica. 88 p.

Vázquez H. A., G. Díaz P., I. Meneses M., R. Zetina L., X. Rosas G., E. N. Becerra L. 2003. Regionalización del potencial productivo de yuca. *Biológico Agropecuario Tuxpan*. pp: 68.

Villaseñor, J. L. y O. Téllez V. 2004. Distribución potencial de las especies del género *Jefea* (Asteraceae) en México. *Anales del Instituto de Biología. Serie Botánica, México*. 75:206– 207. (Disponible en línea en: <http://redalyc.org/articulo.oa?id=40075203>).

Velásquez M. A., L. F. Fory S., W. Roca M., M. J. Tohme., G. J. Gallego., E. Guevara., J. Ramírez., H. Espinoza., C. Nagles., J. Signer., S. E. Castaño., A. Jarvis., J. L. Bocanegra., F. Castro., R. Moreno., M. A. Orjuela. 2012. *Manihot- Ecomap- Distribución Ecogeográfica del genero manihot en Colombia- Implicaciones para la conservación y flujo de genes entre cultivos silvestres*. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) y Lac- Biosafety; Latin America Multi- Country capacity building for compliance with the Cartagena protocol on Biosafety Brazil- Cali, Colombia- Perú- Costa Rica. 1 p.

## 9 ANEXOS

### Anexo I. Hoja pasaporte de las 40 accesiones colectadas en el estado de Chiapas y resguardas en el BGY.

IDENTIFICACIÓN DE ACCESIÓN	LOCALIDAD	MUNICIPIO	NOM. LOCAL.	LATITUD.	LONGITUD	ALT. m.s.n.m.
MMEXCH1	Baja California	Jiquipilas	Yuca	16.34416667	92.31230556	625
MMEXCH2	San Francisco	Jiquipilas	Yuca	16.34480556	92.27919444	778
MMEXCH3	San Francisco	Jiquipilas	Yuca morada	16.34597222	92.27230556	767
MMEXCH4	Baja California	Jiquipilas	Yuca	16.56116667	92.31216667	633
MMEXCH5	Nueva Independencia	Jiquipilas	Yuca	16.45913889	92.22080556	617
MMEXCH6	Pino Suarez	Jiquipilas	Yuca	16.50269444	92.26502778	642
MMEXCH7	Pino Suarez	Jiquipilas	Yuca	16.50475	92.26297222	640
MMEXCH8	Chiapas Nuevo	Jiquipilas	Yuca	16.45683333	92.172	621
MMEXCH9	Jiquipilas	Jiquipilas	Yuca	16.65980556	92.35533333	529
MMEXCH10	Alpujarras	Cacahoatan	Yuca	15.07477778	91.83036111	996
MMEXCH11	Alpujarras	Cacahoatan	Yuca	15.07411111	91.83038889	984
MMEXCH12	Alpujarras	Cacahoatan	Yuca	15.07436111	91.83022222	988
MMEXCH13	Alpujarras	Cacahoatan	Yuca	15.07341667	91.83061111	973
MMEXCH14	Platanar	Cacahoatan	Yuca	15.08334722	91.83802778	1281
MMEXCH15	Monte Cristo	Cacahoatan	Yuca	15.09436111	91.84252778	1420
MMEXCH16	Alpujarras	Cacahoatan	Yuca	15.07077778	91.83222222	1014
MMEXCH17	Cacahoatan	Cacahoatan	Yuca	14.98944444	91.82697222	501
MMEXCH18	Cacahoatan	Cacahoatan	Yuca	14.99027778	91.82633333	498
MMEXCH19	Cruz Blanca	Metapan	Yuca	14.84675	91.80980556	127
MMEXCH20	Guadalupe Victoria	Tuxtla Chico	Yuca	14.80197222	91.76008333	68
MMEXCH21	Omoa	Tuxtla Chico	Yuca	14.80838889	91.75319444	80
MMEXCH22	Samuel Brindis	Palenque	Yuca roja	17.43122222	90.06619444	195
MMEXCH23	20 de noviembre	Palenque	Yuca roja	17.40938889	90.14213889	243
MMEXCH24	Ángel Albino Corzo	Palenque	Yuca	17.26763889	90.37936111	175
MMEXCH25	Ángel Albino Corzo	Palenque	Yuca	17.26788889	90.37997222	182
MMEXCH26	Nueva Betania	Palenque	Yuca	17.26202778	90.36741667	231
MMEXCH27	Nueva Betania	Palenque	Yuca	17.24836111	90.37072222	265
MMEXCH28	Nueva Betania	Palenque	Yuca	17.25113889	90.37147222	242
MMEXCH29	Nueva Betania	Palenque	Yuca	17.26805556	90.37113889	200
MMEXCH30	El Piedron	Chilon	Yuca	17.15983333	90.24394444	611
MMEXCH31	El Naranjo	Chilon	Yuca blanca	17.22766667	90.27386111	416
MMEXCH32	El Naranjo	Chilon	Yuca roja	17.22766667	90.27386111	416
MMEXCH33	Cristóbal Colón	Ocosingo	Yuca	17.15511111	90.33880556	519
MMEXCH34	Cristóbal Colón	Ocosingo	Yuca	17.15180556	90.34633333	530
MMEXCH35	Cristóbal Colón	Ocosingo	Yuca	17.15247222	90.34619444	523
MMEXCH36	Cristóbal Colón	Ocosingo	Yuca	17.1625	90.36355556	490
MMEXCH37	Cristóbal Colón	Ocosingo	Yuca	17.15719444	90.37416667	504
MMEXCH38	Nueva Betania	Palenque	Yuca	17.2675	90.37494444	191
MMEXCH39	Plan de Ayala	Ostuacan	Yuca	17.46833333	92.51944444	48
MMEXCH40	Nuevo Xochimilco	Ostuacan	Yuca	17.46766667	92.63558333	326

## Anexo II. Descriptores cualitativos para la caracterización de yuca.

No.	Carácter	Nivel de expresión	Tipo de expresión
1	Color de las hojas apicales	3	Verde claro
		5	Verde oscuro
		7	Verde violáceo
		9	Purpura
2	Pubescencia sobre las hojas apicales	0	Ausente
		1	Presente
3	Retención de la hoja	1	Muy pobre retención
		2	Menos que la retención promedio
		3	Retención promedio de hojas
		4	Mejor que la retención promedio
		5	Retención excepcional de la hoja
4	Forma del lóbulo central	1	Ovoide
		2	Elíptica lanceolada
		3	Obovada lanceolada
		4	Oblonga lanceolada
		5	Lanceolada
		6	Recta o lineal
		7	Pandurata
		8	Lineal o piramidal
		9	Lineal pandurata
		10	Lineal hostatilobulada
5	Color del peciolo	1	Verde amarillento
		2	Verde amarillento
		3	Verde rojizo
		5	Rojo verdoso (Más verde que rojo)
		7	Verde rojizo (Más rojo que verde)
6	Color de la hoja	9	Purpura
		3	Verde claro
		5	Verde oscuro
		7	Verde violáceo
7	Márgenes de los lóbulos	9	Purpura
		3	Suave
		7	Cerrado
8	Color de la vena de la hoja	3	Verde
		5	Más rojo que verde
		7	Más verde que rojo
		9	Todo rojo
		1	Inclinado hacia arriba
9	Orientación del peciolo	3	Horizontal
		5	Inclinado hacia abajo
		7	Irregular
		0	Ausente
10	Floración	1	Presente
		0	Ausente
11	Polen	0	Ausente
		1	Presente
12	Prominencia de las cicatrices foliares	3	Semiprominente
		5	Prominente
13	Color de la corteza del tallo	1	Naranja
		2	Verde claro
		3	Verde oscuro
14	Color de la epidermis del tallo	1	Crema
		2	Café claro

		3	Café oscuro
		4	Naranja
15	Color exterior del tallo	3	Naranja
		4	Verde amarillento
		5	Oro
		6	Café claro
		7	Plata
		8	Gris
		9	Café oscuro
16	Distancia entre cicatrices foliares	3	Corto igual o menor a 8 cm.
		5	Medio (8-15 cm.)
		7	Largo igual o mayor a 15 cm.
17	Hábito de crecimiento del tallo	1	Erecto
		2	Zig- zag
18	Color de las ramas terminales de la planta adulta	3	Verde
		5	Verde violáceo
		7	Purpura
19	Longitud de las estipulas	3	Corto
		5	Largo
20	Margen de la estipula	1	Entera
		2	Dividida o bifurcada
21	Fruta	0	Ausente
		1	Presente
22	Semilla	0	Ausente
		1	Presente
23	Hábito de la rama	1	Erecta
		2	Dicotómica
		3	Tricotómica
		4	Tetracotómica
24	Forma de la planta	1	Compacta
		2	Abierta
		3	Sombrilla
		4	Cilíndrica
25	Extensión del pedúnculo de la raíz	0	Sésil
		3	Pedunculada
		5	Mezclada
26	Constricción radicular	1	Pocos o ninguna (3 o menos)
		2	Algunas (4-6)
		3	Muchas (más de 6)
27	Forma de la raíz	1	Cónica
		2	Cónica cilíndrica
		3	Cilíndrica
		4	Irregular
28	Color externo de la raíz reservante	1	Blanco o crema
		2	Amarillo
		3	Café claro
		4	Café oscuro
29	Color de la pulpa	1	Blanco
		2	Crema
		3	Amarillo
		4	Naranja
		5	Rosa
30	Color de la corteza de la raíz	1	Blanco o crema
		2	Amarillo
		3	Rosa
		4	Púrpura

31	Corteza: facilidad de pelado	1	Fácil
		2	Difícil
32	Textura de la epidermis de la raíz	3	Suave
		5	Intermedia
		7	Rugosa
33	Sabor de la raíz	1	Dulce
		2	Intermedia
		3	Amarga

---

### Anexo III. Descriptores cuantitativos

No.	Caracter	Nivel de expresión	Tipo de expresión
1	Número de lóbulos de la hoja	3	Tres lóbulos
		5	Cinco lóbulos
		7	Siete lóbulos
		9	Nueve lóbulos
		11	Once lóbulos
2	Longitud del lóbulo de la hoja	S/N	Centímetros (Cm)
3	Ancho del lóbulo de la hoja	S/N	Centímetros (Cm)
4	Relación de la longitud con el ancho del lóbulo central	S/N	Centímetros (Cm)
5	Longitud del peciolo	S/N	Centímetros (Cm)
6	Altura de la planta	S/N	Metros (M)
7	Niveles de ramificación	S/N	-
8	Altura a la primera rama	S/N	Metros (M)
9	Ángulo de la rama	S/N	°
10	Número de raíces reservantes /planta	S/N	-
11	Número de raíces comerciales por planta	S/N	-
12	Grosor de la corteza	S/N	-
13	Contenido de materia seca	S/N	Porcentaje (%)
14	Contenido de almidón	S/N	Porcentaje (%)
15	Índice de cosecha	S/N	Kilogramos (Kg)

Nota: Las letras S/N (sin nivel de expresión) se expresan en sus unidades de medida respectivas.



**IMPRESIONES Y PUBLICIDAD**

SUR 15 No. 563 ENTRE  
OTE. 10 Y 12 ORIZABA, VER.  
TEL. 72 4 18 23 CEL. 272 122 34 31  
leoimpresiones69@hotmail.com

ENCUADERNADO  
Y  
EMPASTADO