

Caracterización morfo-agronómica de accesiones de yuca (*Manihot esculenta* Crantz)

DEL ROSARIO-ARELLANO, José Luis, MENESES-MÁRQUEZ, Isaac, ANDRÉS-MEZA, Pablo, ROSAS-GONZÁLEZ, Xóchitl, BECERRA-LEOR, Enrique Noé, LEYVA-OVALLE, Otto Raúl, VÁZQUEZ-HERNÁNDEZ, Andrés, GALINDO-TOVAR, María Elena, CEBADA-MERINO, Miguel y NÚÑEZ-PASTRANA, Rosalía

J. Del Rosario, I. Meneses, P. Andrés, X. Rosas, E. Becerra, O. Leyva, A. Vázquez, M. Galindo, M. Cebada y Rosalía Núñez

F. Pérez, E. Figueroa, R. García, L. Godínez (eds.) Ciencias de la Biología, Agronomía y Economía. Handbook T-I.- ©ECORFAN, Texcoco de Mora, México, 2017.

Abstract

40 accessions of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) were characterized to determine the genetic diversity and assess their potential. Morpho-agronomical descriptors 48 (33 qualitative and quantitative 15) were used. It was determined that the 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 of the root bark, total number of storage roots and commercial real estate, so the same six groups of accessions were defined, finding materials with high dry matter content (> 35%) and percentage of starch, classified as quality parameters. The results show the existence of significant variability and contribute to promoting the use of indigenous biodiversity of cassava preserved.

6 Introducción

La familia *Euphorbiaceae* a la que pertenece la yuca (*Manihot esculenta* Crantz) es una de las familias más diversas entre las angiospermas. La constituyen cinco subfamilias, 49 tribus, 317 géneros y cerca de 8100 especies, distribuidas principalmente en zonas tropicales y subtropicales del mundo en dos centros de concentración, México y Brasil (Martínez y Ramírez, 2012). En México se encuentra primordialmente a nivel de huerto familiar, cubriendo toda la franja costera del Golfo y la costa del Pacífico, cultivada con una tecnología tradicional (Meneses *et al.*, 2014).

Como cultivo la yuca es catalogada mundialmente como cuarto producto básico más importante después del arroz, trigo y maíz, formando parte de la dieta básica de aproximadamente 1000 millones de personas donde la mayor parte son familias de escasos recursos. Sin embargo, también se utiliza como materia prima en la elaboración de concentrados comerciales para animales, papel y textiles, biocombustible, almidón para la industria de alimentos y la farmacéutica etc. (Beovides *et al.*, 2014). En la actualidad los recursos fitogenéticos son un recurso esencial para la producción agrícola sostenible, su conservación y uso eficaz son fundamentales para salvaguardar la seguridad alimentaria, ahora y en el futuro. Para cumplir este desafío se requerirá un flujo continuo de cultivos mejorados y variedades adaptadas a condiciones de agroecosistemas particulares (FAO, 2014).

Por lo anterior existe la necesidad de explorar germoplasma nativo para evidenciar la variabilidad genética, desarrollar estrategias de conservación *in situ* y *ex situ*, búsqueda de nuevos cultivares para el desarrollo de genotipos más productivos y mejor adaptados a las condiciones que imponen el cambio climático, caracterización del germoplasma y posteriormente lograr la liberación de genotipos basados en las necesidades del productor, consumidor y el mercado. Para lograr tal fin se proponen los bancos de germoplasma donde, cabe mencionar que existen más de 6,000 variedades de yuca diversas en sus características biológicas y 20,000 accesiones distribuidas tan solo en el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT- Colombia) (Mafla, 2007).

El presente estudio, se realizó con el objetivo de documentar la diversidad morfológica existente en 40 accesiones de yuca provenientes del estado de Chiapas y conservados *ex situ* en el Banco de Germoplasma de Yuca, ubicado en el Campo Experimental Cotaxtla del Instituto de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), así como valorar sus potencialidades y enriquecer los datos de la Red yuca del Sistema Nacional de Recursos Fitogenéticos (SINAREFI). Lo anterior, permitirá conocer las particularidades del germoplasma, a su vez que dará pauta en la identificación de materiales promisorios para a futuro continuar con evaluaciones de campo, elegir estrategias para un mejor aprovechamiento sostenible e integral, lo que contribuirá la base para su valoración, conservación así como el mejoramiento genético.

6.0.1 Importancia económica

Hasta hace pocas décadas la yuca era poco conocida, en parte porque sus productos no eran exportados, y porque la especie no se adapta a climas templados, aunado a la escasa producción realizada en fincas de pequeños agricultores y en áreas agrícolas marginales, consecuentemente, una proporción importante de la producción no se registra en las estadísticas de manera adecuada y precisa siendo las mejores reportadas por la FAO, pero los errores en las estimaciones pueden ser grandes (CIAT, 2002). En este sentido FAO (2014) reportó, que la yuca se cultiva en 103 países, en una superficie sembrada mayor a 27 millones de hectáreas, un rendimiento promedio de 9.6 t ha⁻¹ y con una producción de 262, 585,741 toneladas, y un valor de US\$ 25, 248,280.

En México durante el 2014, la superficie sembrada fue de 1521.34 hectáreas, con un rendimiento promedio de 13.13 t ha⁻¹ (Tabla 6), en el cual el estado de Tabasco lidera la producción nacional, seguido de Morelos, Michoacán, Veracruz, Yucatán, Estado de México y Guerrero (SIAP, 2014).

6.0.2 Diversidad genética

El género *Manihot* tiene alrededor de 180 especies, de las cuales, la única cultivada comercialmente es *M. esculenta* Crantz, cuyos sinónimos son: *M. utilissima*, *M. edulis* y *M. aipi*. Sin embargo, se han encontrado grupos que tienen gran afinidad morfológica con la especie cultivada, en este caso en México y América Central con *M. aesculifolia* y *M. rubricaulis*; Brasil, Paraguay y Argentina con *M. pilosa*, así también en regiones tropicales bajas con *M. leptopoda* y *M. caeruleascens* (Pincay, 2010). En México, la distribución de especies del género *Manihot* se extiende hasta la zona árida y templada, que corresponde a los estados de Sonora y Baja California Sur, toda la franja costera del golfo de México desde la Península de Yucatán, Tabasco, Veracruz y sur de Tamaulipas, así como la costa del Pacífico desde el estado de Chiapas, Oaxaca, Guerrero, Jalisco, Nayarit y Colima (Meneses *et al.*, 2014).

6.0.3 Disponibilidad y conservación en bancos de germoplasma

Los bancos de germoplasma resguardan pues la fuente de variabilidad requerida por los mejoradores de plantas para el desarrollo de variedades que permitirán al agricultor superar las limitaciones naturales a fin de obtener mayores beneficios de su actividad, así como asegurar la fuente contra la erosión genética (Demey *et al.*, 2003). La demanda por el germoplasma de yuca es sustancial y proviene de un rango amplio de usuarios externos y utilizados para diferentes propósitos. se encuentran bancos de germoplasma 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) (Mafla, 2007; Meneses *et al.*, 2014).

6.0.4 Mejoramiento genético

En México, dentro de los resultados más importantes de investigación de la Red yuca destaca un diagnóstico a nivel nacional sobre la distribución y aprovechamiento del recurso en el país, la colecta y resguardo de 85 accesiones que permiten conocer la diversidad existente y al mismo tiempo tener material disponible para las actividades de caracterización; el trabajo en conjunto con más de 15 productores de Tabasco y Veracruz 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).

6.0.5 Caracterización de germoplasma

La gran variabilidad de ecotipos hace necesaria la recolección, resguardo, así como la necesidad de caracterizarlos y evaluarlos, utilizando para tal fin descriptores definidos que permitan la sistematización de los caracteres estudiados en todas las accesiones. Cabe recalcar que 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).

Las características morfológicas se utilizan para estudiar la variabilidad genética, 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). Pincay (2010) encontró, que dichas características además de depender del genotipo están fuertemente influenciadas por el medio ambiente 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 y longitud de la raíz son altamente susceptibles.

En la actualidad, se cuenta con manuales para la caracterización de yuca, 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).

6.1 Metodología

6.1.1 Ubicación del sitio experimental

Este trabajo se realizó en campo Cotaxtla del INIFAP, Veracruz, México, 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 (Rosas y Meneses, 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).

6.1.2 Material vegetal

Se estudiaron 40 accesiones procedentes del estado de Chiapas y resguardadas *ex situ* en el Banco de Germoplasma de Yuca del INIFAP.

6.1.3 Descriptores evaluados

La caracterización de las accesiones se basó del manual “Selección Morfológica y Descriptores Agronómicos para la Caracterización de Yuca” (Fakuda *et al.*, 2001). Dicha publicación define 50 características o descriptores a evaluar a partir de los tres, seis, nueve meses y cosecha. Los datos que corresponden a los tres (dos descriptores) y seis meses (16 descriptores) fueron tomados por personal del Banco de Germoplasma el 13 de agosto y 19 de noviembre del año 2015. El 15 de febrero del 2016 se inició con la caracterización del descriptor 17 al 25 (nueve meses) de haberse establecido las accesiones.

Posteriormente, el 11 de abril se procedió con la caracterización del periodo de cosecha a partir del descriptor 26 al 48. 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 4 plantas por causa de insuficiencia de material vegetal.

6.1.4 Diseño del experimento

La unidad experimental fue una planta, para el registro de datos se tomaron cuatro plantas por accesión, evaluando aquellas de surcos centrales para inhibir el efecto “orilla”. Cada accesión se encuentra en parcelas de siete surcos con una longitud de cinco metros y un metro de ancho así como una distancia entre plantas de un metro.

6.1.5 Análisis estadísticos

Una vez registrados los valores de cada variable, se examinaron y dividieron en variables cualitativas y cuantitativas. Las variables cualitativas se analizaron utilizando la estadística descriptiva mediante el uso de análisis de frecuencias absolutas y relativas para cada una de las accesiones.

Se realizó un análisis multivariado mediante el uso de componentes principales (ACP) utilizando el paquete estadístico SAS (SAS, 2009). Para el proceso de la información, se estandarizaron los datos obtenidos, después se realizó una matriz de correlaciones de las 15 variables cuantitativas. Se consideraron los valores propios (eigenvalues) y los vectores propios (eigenvectors). Con el objetivo de determinar visualmente los descriptores que más contribuyen a la variabilidad así como la relación entre accesiones, se graficaron los componentes en un plano bidimensional (gráfica biplot) mediante el uso del paquete estadístico INFOSTAT (Rienzo *et al.*, 2011), así también, se sometió a un análisis de agrupamiento (cluster) expresado en un conglomerado jerárquico con el método de encadenamiento simple y la distancia euclidiana, resultando así un dendrograma que permitió agrupar y conocer más a fondo las colecciones que presenten similitud en características morfo- agronómicas.

6.2 Resultados

6.2.1 Variación morfológica de las accesiones

6.2.1.1 Análisis de datos cualitativos

En total se evaluaron 33 características cualitativas, las cuales se analizaron mediante un análisis de frecuencia para cada órgano vegetativo. En las variables cualitativas de la hoja, para los descriptores color de la hoja adulta, color del brote apical y el color de la nervadura el color verde claro seguido del verde oscuro se presenta con mayor frecuencia entre las accesiones coincidiendo con; Acosta *et al.*, (2006) y Marín *et al.*, (2008) donde de los 19 clones en estudio el 60% presentaron follaje verde oscuro y el 40% restante verde claro. El color verde claro es un atributo fácilmente observable, que pueden ser altamente heredables y, por tanto, contribuye a una discriminación rápida de fenotipos, además se expresan en la misma forma en cualquier ambiente y, por tanto, constituye una característica varietal importante (Ceballos y de la Cruz, 2002; Demey *et al.*, 2003). En cuanto al color del peciolo se encontró una variabilidad importante, ya que 14 accesiones son de color púrpura, 10 de color rojo, 9 verde- rojizo y 7 verde- amarillento.

El resultado es muy parecido con Acosta *et al.*, (2006) quienes reportaron que el color predominante de 11 clones de yuca fueron rojo en diferentes tonalidades, seguido por el color verde. De acuerdo con Marín *et al.*, (2008) el color de peciolo es considerado como una característica varietal que permite la identificación de genotipos de yuca.

En cuanto a la orientación del peciolo se encontró variabilidad entre las accesiones ya que la orientada en dirección horizontal e inclinado hacia arriba, aunque alcanzaron frecuencias altas (87.5 %) también fue posible observar peciolos inclinados hacia abajo (7.5%), así como orientación irregular (5%).

Para el tallo, en el descriptor color de la epidermis del tallo, se encontró variación entre las accesiones ya que las había de color café claro (47.5%) y crema (42.5%), mientras que el 10% correspondía al color café oscuro, el cual comprende las accesiones MMEXCH1, MMEXCH6, MMEXCH39 y MMEXCH40.

En cuanto al color de la superficie externa del tallo maduro estos son gris con 33 accesiones (82.5%), seguido de café claro con 5 (12.5%), café oscuro con 1 (2.5%) y 1 accesión verde– amarillento (2.5%). Este carácter presentó gran variabilidad, coincidiendo con Ceballos y de la Cruz (2002) y Marín *et al.*, (2008), quienes reportaron que esta característica varía significativamente, dependiendo del clon y de la edad de la planta.

En base al hábito de ramificación también tiene una variación importante ya que el 50% de las accesiones fueron dicotómicas, 42.5% tricotómicas, y el 5% erecta en este último caso con las accesiones MMEXCH22, MMEXCH37 y MMEXCH40. En base a esta información las accesiones con el tipo de ramificación, dicotómico y tricotómico, son buenos productores de semilla.

Por último, en cuanto a la forma de la planta el carácter dominante es de tipo sombrilla con 16 accesiones, compacta con 13 y cilíndrica en 11 accesiones. Como se ha encontrado en casi todos los casos esta característica también posee gran variabilidad dentro de las accesiones evaluadas.

Las características de las raíces reservantes también son útiles en la identificación de genotipos en este cultivo, dada su amplia variabilidad (Marín *et al.*, 2008), estas pueden adquirir formas y tamaños muy variables, siendo dependientes tanto de la variedad como de las condiciones ambientales en que la planta crece (Ceballos y de la Cruz, 2002).

Se encontró que hay variabilidad importante con respecto a la extensión del pedúnculo de la raíz, para este descriptor hay accesiones con raíz pedunculada (50%), mezclada (42.5%) y sésil (7.5%) esta última en las accesiones MMEXCH6, MMEXCH7 y MMEXCH28. Resultado similar a lo encontrado por Torres (2012), quien observó que 29 de 37 accesiones presentan una raíz pedunculada. Según Ceballos y de la Cruz (2002), señalan que esta característica es de importancia económica, ya que durante la cosecha en la separación de raíces sésiles se producen daños en la zona de corte, que aceleran el deterioro fisiológico poscosecha y cuando el pedúnculo es muy largo (>10cm) es necesario remover gran cantidad de suelo para su extracción y si el pedúnculo se rompe ocurren mayores pérdidas de raíces, ya que las raíces de interés comercial permanecen en el suelo.

La forma de la raíz se encuentra en un 47.5% irregular, un 42.5% cónica cilíndrica y solo cuatro accesiones son cilíndricas, resultado muy parecido a lo que obtuvo Marín *et al.*, (2008) quien encontró que de 19 clones de yuca la forma varió de cónica- cilíndrica (66.66%) a cilíndrica (33.33%), recalando que estas son clones elites de yuca mejorados por el CIAT e introducidos en Venezuela y donde raíces irregulares para su cultivo son una característica indeseada.

En cuanto a la posición de las raíces o la dirección del crecimiento, aunque no se registró se pudo observar que la dirección más frecuente fue la horizontal, siendo esta característica favorable ya que según Montaldo (1991) de los tipos cultivados se seleccionan los de este tipo de crecimiento. Se pudo notar que en la cosecha manual de raíces con crecimiento vertical tienden a romperse, lo que provoca pérdidas en la cosecha. La pulpa constituye la parte utilizable de la raíz, por lo tanto, es el tejido de mayor relevancia económica (Ospina y Ceballos, 2002). Para el color de la pulpa fue crema (57.5%), blanco (37.5%) y un 5% amarillas (MMEXCH17 y la MMEXCH18). Cabe mencionar que la pulpa blanca es una característica de preferencia en la industria para elaboración de harinas, a su vez que es la más preferida para el mercado en fresco (Polanco, 1998). Del total de las accesiones 31 son difíciles de pelar, mientras que MMEXCH10, MMEXCH11, MMEXCH12, MMEXCH13, MMEXCH14, MMEXCH18, MMEXCH23, MMEXCH24 y MMEXCH29 son fáciles de pelar. La facilidad de pelado es una característica relacionada con la textura, ya que se encontró en su mayoría que las accesiones difíciles tienen una textura rugosa e intermedia, y aquellas fáciles de pelar contienen textura suave. Por otro lado, el sabor en la mayoría de las accesiones es intermedia en un 57.5%, dulce en un 32.5% y amarga en un 10%. Cabe recalcar que la experiencia de los productores demuestra que, más que los rendimientos del cultivo les dan mayor importancia a otras características como la calidad culinaria, su precocidad, o incluso el color y forma de la raíz (Beovides *et al.*, 2014).

La flor y polen está ausente a los 6 meses de hacer la caracterización en casi todo el germoplasma (92.5%), sin embargo, en las accesiones MMEXCH 1, MMEXCH7 y MMEXCH8 (7.5%) se encontraron escasas plantas con estas características, a su vez se pudo observar una pequeña cantidad de frutos en las mismas. Esto es contrario a lo reportado por Pincay (2010) quien encontró que de 141 accesiones el 96.45% florecieron y el 3.55% no alcanzaron a florecer. Se detectaron presencia de más floración y polen en forma muy esporádica solo en pocas plantas por accesión hasta el octavo mes, y a partir de las cuales posteriormente se originaron frutos. Y es que, aunque no es importante para la reproducción y multiplicación habitual, según Marín *et al.*, (2008) la floración es una característica de importancia en el fitomejoramiento, ya que permite la realización de cruces entre clones seleccionados y con ello la obtención de nuevos clones genéticamente superiores. Para el periodo de cosecha hay presencia de fruta y semillas sólo en un 10%, correspondiendo a las accesiones: MMEXCH1, MMEXCH4, MMEXCH7 y MMEXCH8.

6.3 Análisis de datos cuantitativos

En la tabla 6, se pueden visualizar los descriptores que describen a las variaciones obtenidas mediante ACP. El resultado señala que con las cuatro componentes principales se explica el 68.977% de la variación, lo que indica que probablemente la variabilidad está muy repartida entre todos los descriptores que representan la amplia diversidad de las accesiones en estudio. Se puede visualizar que el CP1 está altamente correlacionado con la mayoría de las variables, donde la longitud del lóbulo de la hoja recibe el peso positivo más alto de variabilidad entre las accesiones seguido del ancho del lóbulo de la hoja, longitud del peciolo, niveles de ramificación, número de raíces reservantes, número de raíces comerciales, niveles de ramificación, grosor de la corteza e índice de cosecha.

La segunda componente está más correlacionada con contenido de materia seca y contenido de almidón, posteriormente altura a la primera rama, ángulo de la primera rama, así como la relación de la longitud con el ancho del lóbulo central. En el CP4 se agrupan las colecciones en base a la altura de la planta. Con esto se demuestra que estas son las características con mayor influencia en la distinción de grupos.

Tabla 6 Vectores y valores propios del análisis de componentes principales con las respectivas variables y valor descriptivo de la varianza total en colecciones de yuca (*Manihot esculenta* Crantz.) procedentes del estado de Chiapas

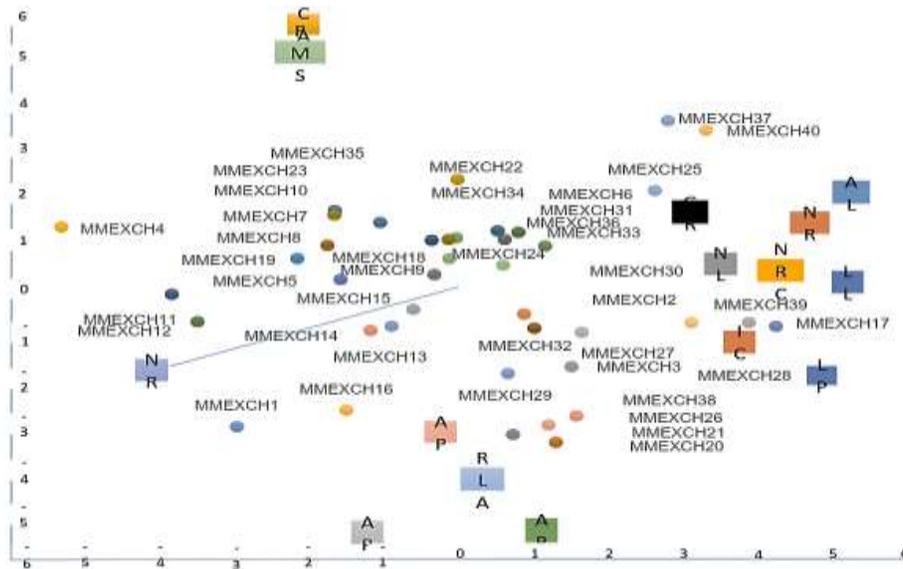
Descriptor	CP1	CP2	CP3	CP4
Número de lóbulos de la hoja	0.55962	-0.05047	-0.06723	-0.0335
Longitud del lóbulo de la hoja	0.88267	-0.00742	-0.13708	-0.28688
Ancho del lóbulo de la hoja	0.81221	-0.24596	-0.32126	-0.32161
Relación de la longitud con el ancho del lóbulo central	0.01393	0.53536	0.38276	0.09428
Longitud del peciolo	0.78081	0.20289	-0.39054	-0.0282
Altura de la planta	-0.01359	0.35438	-0.20765	0.75423
Altura a la primera rama	0.11958	0.71263	0.35202	0.12408
Niveles de ramificación	-0.60107	0.20332	-0.38734	-0.23372
Ángulo de la rama	-0.15647	0.63826	0.257	-0.47558
Número de raíces reservantes /planta	0.70052	-0.17792	0.16423	0.41218
Número de raíces comerciales por planta	0.67349	-0.03341	0.34633	0.16728
Grosor de la corteza	0.47743	-0.45908	-0.02279	0.15413
Contenido de materia seca	-0.3156	-0.79865	0.31892	-0.03062
Contenido de almidón	-0.31558	-0.79863	0.31893	-0.03057
Índice de cosecha	0.60696	0.11961	0.56925	-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

Graficar los componentes principales en un plano bidimensional, permite agrupar las accesiones por similitudes y formar grupos homogéneos.

En el Gráfico 6, se representan las dos primeras componentes (CP1 y CP2) para el conjunto de las 15 variables y se han superpuesto sobre el gráfico vectores que representan a las variables originales. Este nos indica que las variables como: longitud y ancho del lóbulo de la hoja, longitud del peciolo, número de raíces de almacenamiento y raíces comerciales existe una gran variabilidad entre las 40 accesiones.

Los puntos azules muestran la distribución de las accesiones donde se puede notar la similitud de variables que comparten en común.

Gráfico 6 Dispersión de 40 colecciones de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) mediante los componentes principales CP1 y CP2



En el análisis de conglomerados o cluster (Gráfico 6.1), se puede observar que las accesiones que aparecen juntas y marcadas con el mismo color forman parte de un mismo grupo esto, con base en la similitud de características. Así se indica la existencia de seis grupos de accesiones y dos subgrupos bien diferenciados en donde apoyándose con la información del biplot se obtiene lo siguiente:

El primer grupo formado solo por la accesión MMEXCH1 se caracteriza por poseer mayor número de niveles de ramificación, en este caso de 6 ubicados a partir de los 73 centímetros. Este resultado coincide con Pincay (2008) quien indica que estas ramificaciones pueden dar origen hasta dos tres y cuatro ramas, a su vez tanto el número y la prontitud con la que se producen estas ramificaciones influye de manera notable en la arquitectura de la planta. En cuanto a la altura de la primera rama, este es un carácter importante desde el punto de vista agronómico ya que influye especialmente en la eficiencia de las labores de escarde y limpias ya sean manuales, con bueyes o mecanizadas, así como las aplicaciones de herbicidas (Beovides *et al.*, 2014; Montaldo, 1991). Posee 5 lóbulos por hoja con una longitud de cada uno de 10 y 2 cm de ancho, una hoja palmeada relativamente pequeña, lo que explica el tamaño pequeño del peciolo (9.5 cm). Posee en promedio 3 raíces comerciales (≥ 20 cm) con uno de los más bajos contenidos de materia seca puesto alcanzó un valor de 26.54% repercutiendo directamente en el contenido de almidón con un 13.017%.

El segundo grupo: MMEXCH20, MMEXCH21, MMEXCH26, MMEXCH27 y MMEXCH38, se caracterizan por contener la altura de planta más grande con respecto a las demás accesiones, esta comprende desde 2.9 a 3.667 metros a su vez con solo una rama localizada aproximadamente a 10 cm de la punta. Según Montaldo (1991) este grupo se clasifica como plantas de porte alto miden más de 2.5 metros y según Bellotti, (2002) la altura va a depender indispensablemente de las condiciones climáticas como también de la presencia de plagas. Poseen entre 4 y 6 raíces comerciales a excepción de MMEXCH21 y MMEXCH26 con 3 raíces. A su vez con un bajo contenido de materia seca (27.894%) incidiendo directamente en el bajo porcentaje de almidón (13.976%).

El tercero grupo: MMEXCH40, MMEXCH37, MMEXCH25, y MMEXCH22 se caracteriza por tener accesiones con una corteza de raíz gruesa con valores de entre 2 a 3.34 milímetros.

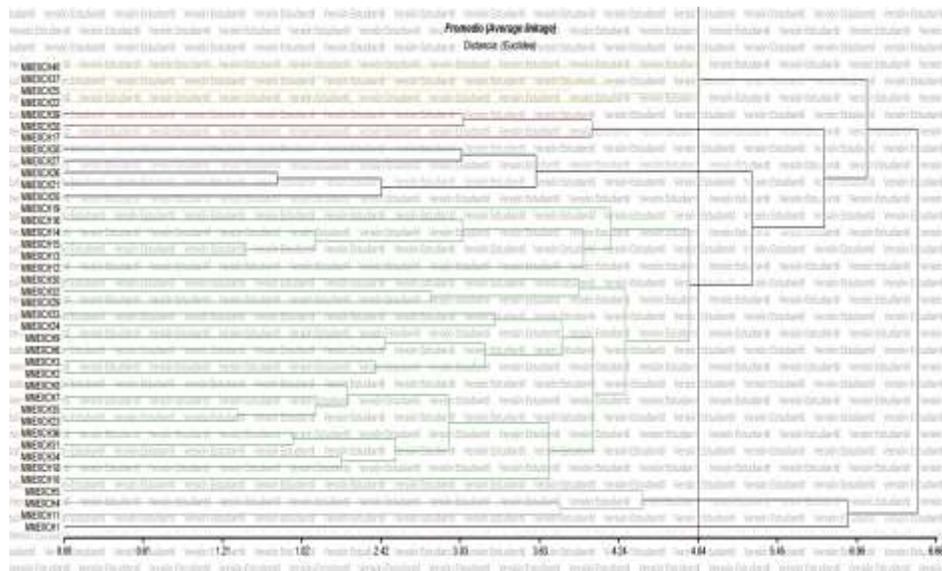
Poseen porte muy alto puesto alcanzaron medidas de 2.583 a 3.417 metros sin ninguna ramificación lo que significa que poseen dominancia apical. De igual forma tienen el mayor número de raíces de almacenamiento (10 raíces), excepto la accesión MMEXCH25 y MMEXCH22 con 6 y 7 raíces. Sin embargo, esta última característica afectó en el número de raíces comerciales (5 y 3 respectivamente), pudiéndose explicar que existe competencia entre ellas.

El cuarto grupo que es el más amplio, se caracteriza por poseer plantas altas, alcanzando una altura promedio de 3.037 metro. Son visibles dos subgrupos donde el primero está conformado por 6 de las 24 accesiones, nombradas a continuación: MMEXCH19, MMEXCH16, MMEXCH14, MMEXCH15, MMEXCH13, MMEXCH12, estas accesiones son similares en contenido de materia seca, ya que comprenden entre 25.489 y 32.152%, para contenido de almidón en 12.273 y 16.992%, para el índice de cosecha en 0.345 y 0.521. Además, las plantas poseen ángulos de ramificación muy cerrados de entre 46.667° a 65° y con solo 2 raíces comerciales.

El segundo subgrupo está conformado por: MMEXCH30, MMEXCH32, MMEXCH29, MMEXCH33, MMEXCH24, MMEXCH9, MMEXCH6, MMEXCH3, MMEXCH2, MMEXCH8, MMEXCH7, MMEXCH35, MMEXCH23, MMEXCH36, MMEXCH31, MMEXCH34, MMEXCH18 y MMEXCH10, destacados por los más altos contenidos de materia seca (25.736- 37.555%) que a su vez incide directamente en el contenido de almidón (12.447- 20.819%). Esto debido a que existe una relación directa entre el contenido de almidón (%AL) y el contenido de materia seca (%M. S) obtenidos a partir del método de gravedad específica. También alcanzaron el índice de cosecha más alto de las accesiones (0.449- 0.673), una longitud de peciolo entre 12.6 y 23 cm., y buena cantidad de raíces comerciales (2- 7). 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 muy apreciados por productores y mejoradores por su contribución al rendimiento y a la calidad de la semilla, resultando por tanto significativamente valiosos cuando se trata de evaluar o caracterizar una colección de trabajo de interés para el mejoramiento (Ceballos *et al.*, 2012).

El quinto grupo: MMEXCH4, MMEXCH5 y MMEXCH11, son similares en la cantidad de número de lóbulos que en este caso con 5. Con plantas altas, pues miden de entre 2.66 a 3.54 metros. A su vez con muy pocas raíces comerciales ya que en promedio se encuentran solo 2 raíces, las cuales tienen una buena cantidad de materia seca (32.477- 35.413%) y a su vez con buen contenido de almidón (17.222- 19.903%).

El sexto grupo: MMEXCH39, MMEXCH28 y MMEXCH17 posee la longitud del lóbulo más grande, en la en este caso entre 16 y 20 centímetros y con un ancho de entre 5 y 6 cm estando muy correlacionados con la longitud del peciolo puesto midieron de 23 y 38 cm. A su vez con altura a la primera rama de entre 0.90 a 1.64 m. y con 3 a 5 niveles de ramificación. De acuerdo con Montaldo (1991) estas accesiones quedan clasificadas como de ramificación intermedia (50- 100 cm) y alta (≥ 100), prefiriendo plantas altas, puesto hacen más fácil las labores del cultivo especialmente para realizar labores de escarda y limpias. Se puede notar una pérdida mínima en la cosecha de raíces comerciales ya que de entre 7 y 8 raíces entre 5 y 7 cumplían los requerimientos para comercializarse (≥ 20 cm). Sin embargo, se pudo notar en este grupo que entre más raíces comerciales más bajo el contenido de materia seca (25.654- 28.794%) y por ende el de almidón.

Gráfico 6.1 Cluster de las 40 accesiones mostrando 6 conglomerados

6.4 Conclusiones

Se logró documentar la caracterización (48 descriptores) de las 40 accesiones provenientes del estado de Chiapas, sin embargo, es necesario que se caracterice el germoplasma con marcadores moleculares, ya que, sumado a los descriptores morfológicos, proveerán una mejor descripción e interpretación de la diversidad genética de la especie en México.

Los descriptores donde existe mayor variabilidad evaluados son: longitud y ancho del lóbulo central de la hoja; longitud, color y orientación del peciolo; color de la superficie externa del tallo maduro; color de la epidermis del tallo; habito de ramificación; extensión del pedúnculo de la raíz; forma y color de la corteza de la raíz; número tanto de raíces totales de almacenamiento y raíces comerciales.

Se encontraron materiales con alto contenido de materia seca y porcentaje 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 a su vez con una buena cantidad de raíces comerciales. Sin embargo, es apropiado evaluar los mismos individuos más de dos ciclos para reafirmar los resultados obtenidos. Una vez hecho se podrían a futuro tomar en cuenta para evaluaciones con agricultores interesados, así como abrir pauta para el mejoramiento genético en yuca.

6.5 Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por apoyarme con la beca en los dos años del posgrado en la Maestría de Horticultura Tropical.

Al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) a través del Doctor. Issac Meneses Márquez director de tesis y la Ing. Xochitl Rosas Gonzáles por su asesoría.

A mi director de tesis, Doctor. Pablo Andres Meza, por su inigualable espíritu de investigación y aplicación de la información.

6.6 Referencias

- 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.
- 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>).
- 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\nhttp://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=I18Dz9sYZO8C&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.
- 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).
- 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>).
- 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/>).
- 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).
- 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/arti/fuenmayor_f.htm
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- SIAP. 2014. Cierre de producción agrícola por cultivo. (Disponible en line en: <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-cultivo/>. (Consulta: 26 octubre 2015).
- SINAREFI. 2008. www.sinarefi.org.mx. Especies del genero *Manihot* en México. (Disponible en línea en: http://www.sinarefi.org.mx/redes/red_yuca.html#cajaIntro) (Consulta: 08 de marzo de 2016).
- Statistic Analisys System, SAS Institute Inc., Cary North Carolina, EE. UU. 2009.
- 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.