

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
COMISIÓN DE ESTUDIOS DE POSTGRADO
MAESTRÍA EN CIENCIAS AGRÍCOLAS
MENCION MEJORAMIENTO DE PLANTAS Y BIOTECNOLOGÍA

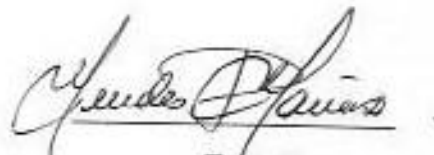
Evaluación de cultivares promisorios de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) frente al estrés por sequía en el Campo Experimental del Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias (CENIAP)

Rommel Igor León Pacheco

Tutora: Dra. Mercedes Pérez Macías

Diciembre 2015

Trabajo de grado presentado como Requisito Final para optar al título de *Magister Scientiarum* en Agronomía en la Orientación Mejoramiento de Plantas y Biotecnología.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Mercedes Pérez', written over a horizontal line.

Tutora

Dra. Mercedes Pérez

C.I. 5.145.642

INIA-CENIAP



UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
COMISIÓN DE ESTUDIOS DE POSTGRADO
POSTGRADO EN AGRONOMÍA
VEREDICTO



Quienes suscriben, miembros del jurado designado por el Consejo de la Facultad de Agronomía de la Universidad Central de Venezuela, para examinar el **Trabajo de Grado** presentado por: **ROMMEL IGOR LEÓN PACHECO**, C.I. 15.532.971, bajo el título "**EVALUACIÓN DE CULTIVARES PROMISORIOS DE YUCA (*Manihot esculenta Crantz*) FRENTE AL ESTRÉS POR SEQUÍA EN EL CAMPO EXPERIMENTAL DEL CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS (CENIAP)**" a fin de cumplir con el requisito legal para optar al grado académico de **Magíster Scientiarum en Agronomía**, dejan constancia de lo siguiente:

1.- Leído como fue dicho trabajo por cada uno de los miembros del jurado, se fijó el día 01 de diciembre de 2015 a las 09:00 am., para que el autor lo defendiera en forma pública, lo que éste hizo en el Salón "D" del Doctorado en Ciencias Agrícolas, mediante un resumen oral de su contenido, luego de lo cual respondió satisfactoriamente a las preguntas que le fueron formuladas por el jurado, todo ello conforme con lo dispuesto en el Reglamento de Estudios de Postgrado.

2.- Finalizada la defensa del trabajo, el jurado decidió **APROBARLO**, por considerar, sin hacerse solidario con la ideas expuestas por el autor, que se ajusta a lo dispuesto y exigido en el Reglamento de Estudios de Postgrado.

Para dar este veredicto, el jurado estimó que el trabajo examinado representa un:

- Aporte fundamental en conocimiento para enfrentar los nuevos retos o desafíos al cambio climático en cultivos de gran interés para la seguridad alimentaria del país.



Dr. Rommel León Pacheco
Rommel León Pacheco

- Aporta insumo para los programas de mejoramiento genético enfocado a la tolerancia del déficit hídrico para el desarrollo de nuevos cultivares.
- El Jurado sugirió otorgar la calificación de **EXCELENTE**.

En fe de lo cual se levanta la presente ACTA, al 01 día del mes de diciembre del año 2015, conforme a lo dispuesto en el Reglamento de Estudios de Postgrado, actuó como Coordinadora del jurado la Dra. Mercedes Pérez Macías.

Dinaba Perdomo

MSc. DINABA PERDOMO
C.I. 7.276.445
AGRONOMÍA-UCV



Gerardo Albarrán

Dr. GERARDO ALBARRÁN
C.I. 8.043.042
INIA-CENIAP

Mercedes Pérez Macías

Dra. MERCEDES PÉREZ MACÍAS
C.I. 5.145.642
AGRONOMÍA-UCV
Tutora

MP/zp
01/12/15

Dedicatoria

*A mis abuelos queridos que aunque no estén físicamente siempre me han guiado
en todas mis decisiones.*

*A mis padres quienes han forjado en mi, principios, moral y buenas costumbres,
junto con un amor profundo.*

A mis hermanos Flor, Beneglis y Nick.

A mi amada esposa Rotciv Chavez

A mis dos hijos quienes son motivo de inspiración

Agradecimiento

Primeramente a dios y a la virgen.

A todos mis familiares y seres queridos quienes han estado siempre en mi corazón y pensamiento y apoyando todas las decisiones tomadas y hago especial atención a padres y hermanos (Egle de León, Benjamin León, Beneglis León, Flor León y Nick León).

A mi esposa e hijos (Rotciv Chavez, Sebastian León y Naia Camila) quienes son la musa de mi pensamiento y me dan el don para seguir avanzando cada día más.

A mis tutores y asesores (Mercedes Pérez, Francia Fuenmayor, Gustavo Rodríguez y Carlos Marín).

A mis compañeros y amigos del departamento de raíces y tubérculos (Adrian Rodríguez, Benedicto Vargas, Luis Ochoa, Franklin Guzmán, Leonardo Balcazar y mi querido viejo Quiñonez).

A todos mis compañeros y amigos del CENIAP (Edilin, Hunaiber, Daisi, Maribel, Nora, María, Ricardo, Yanelis y Merli).

Al programa del estímulo de la investigación e innovación (PEII) por la fuente de financiamiento.

A todos muchas gracias ya que sin ustedes este proyecto de mi vida no se habría podido lograr.

RESUMEN

En Latinoamérica, aproximadamente el 45% del área total de cultivo de yuca proviene de zonas con estrés hídrico o con lluvias esporádicas. Adicionalmente, el potencial de expansión futuro del cultivo está ubicado en zonas marginales. Sin embargo, después de 45 días de estrés sin agua el cultivo de la yuca disminuye su crecimiento del tallo, incrementa la caída de las hojas y disminuye la conductancia estomática, entre otras. Es por ello, que en esta investigación se evaluó el comportamiento fenológico, fisiológico, agronómico y de calidad de raíces bajo condiciones de sequía. Para ello se realizó un diseño factorial 4*4 con tres repeticiones, correspondiente a cuatro tratamientos de riego y cuatro clones. El comportamiento fenológico no tuvo diferencias significativas ($p \leq 0.05$) para los clones, tratamiento de riego y su interacción. Los resultados mostraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre clones para las variables altura de planta, primera ramificación, número de hojas, biomasa seca de raíz y peso aéreo. Asimismo ocurrió con el grado de verdor (spad), área foliar, transpiración y el potencial hídrico. Por su parte, el tratamiento de riego afectó significativamente ($p \leq 0.05$) solamente a la variable altura de planta, mientras que el rendimiento de raíz fue similar para todos los tratamientos. Finalmente, las variables de calidad de raíces (humedad, cenizas, fibra cruda, azúcar total invertido y almidón) mostraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre clones, tratamiento de riego y su interacción.

Palabras claves: *Manihot esculenta*, estrés hídrico, fenología, riego.

ABSTRAC

In Latin America, approximately 45% of total cassava area comes from sub-humid zones or with sporadic rainfall. Moreover, expansion of this crop tends to occur in marginal lands. However, after 45 days of limited water supply, cassava exhibited pronounced reduction in shoot growth, high leaf fall and decreased stomatal conductance and others. In this research the phenological, physiological, agronomic and quality of roots variables was evaluated under drought conditions. The statistical design was factorial 4*4 with three blocks, corresponding to four clones and four irrigation treatments. The phenology not was significant differences ($p \leq 0.05$) between cultivars, irrigation and interaction. The results showed significant difference between cultivars ($p \leq 0.05$) to the variables plant height, first branching, number of leaves, leaf area, root dry biomass, air plant weight, spad values, foliar area, transpiration and stem water potential. It also occurred to irrigation treatments on plant height. The cultivars, irrigation treatments and interaction not was highly significant ($p \leq 0.05$) with relationship to final root yield. Finally, the quality root (moisture, ash, crude fiber, totally invert sugar and starch) showed highly significant difference ($p \leq 0.05$) to cultivars, irrigation treatments and interaction.

Key words: *Manihot esculenta*, water stress, phenology, irrigation.

TABLA DE CONTENIDO

Veredicto	III
Agradecimiento	V
RESUMEN	VI
ABSTRAC	VII
INTRODUCCIÓN:	1
OBJETIVO GENERAL:	3
OBJETIVOS ESPECÍFICOS:	3
ANTECEDENTES	4
Botánica y características agronómicas del cultivo de la yuca.....	4
Fisiología del cultivo de la yuca	7
Respuestas fisiológicas y agronómicas de las plantas sometidas a condiciones de estrés por sequía.	8
Respuestas fisiológicas y agronómicas en el cultivo de la yuca frente a condiciones de estrés por sequía.....	11
Caracterización de las variables asociadas a la calidad de raíces de yuca en cuanto a contenido de ceniza, humedad, fibra cruda, azúcares totales y almidón.	13
METODOLOGÍA.....	15
Características generales del área de estudio.	15
Material vegetal.....	17
Descripción del Experimento.	17
Diseño del experimento.	18
Objetivo 1. Caracterizar el ciclo fenológico en cuatro cultivares de yuca con diferentes suministros hídricos en condiciones de campo.	18
Objetivo 2. Evaluar en cuatro clones de yuca el efecto del déficit por sequía en las variables fisiológicas.....	210

Objetivo 3: Evaluar en cuatro clones de yuca el efecto del déficit por sequía en las variables agronómicas	21
Objetivo 4: Evaluar en cuatro clones de yuca el efecto del déficit por sequía en las variables asociadas a la calidad de las raíces.....	22
RESULTADOS y DISCUSION.	23
Objetivo 1. Caracterizar el ciclo fenológico en cuatro cultivares de yuca con diferentes suministros hídricos en condiciones de campo.	23
Objetivo 2. Evaluar en cuatro clones de yuca el efecto del déficit por sequía en las variables fisiológicas: grado de verdor, tasa de fotosíntesis, conductancia estomática, transpiración y potencial hídrico xilemático.	27
Objetivo 3: Evaluar en cuatro clones de yuca el efecto del déficit por sequía en las variables agronómicas: área foliar, número de hojas, altura de planta, altura de primera ramificación, rendimiento en raíces, biomasa fresca aérea y materia seca aérea y de raíces.....	43
Objetivo 4. Evaluar en cuatro clones de yuca el efecto del déficit por sequía en las variables asociadas a la calidad de las raíces: contenido de humedad, ceniza, fibra cruda, azúcares totales invertidos y almidón.....	60
CONCLUSIONES.....	73 <u>2</u>
RECOMENDACIONES	73
ANEXOS	74
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	88

Tabla de Figuras

Figura 1. Promedio mensual de la radiación global, temperatura del aire, precipitación y evapotranspiración del área de estudio.....	16
Figura 2. Morfología de los cuatro clones de yuca.....	17
Figura 3 Estadios de crecimiento en el cultivo de la yuca.....	19
Figura 4. Fenología del cultivo por Burgos et al., 2013 y cuatro los clones de yuca evaluados.....	24
Figura 5. Relación de la tasa de fotosíntesis con la transpiración en cuatro clones de yuca.....	30
Figura 6. Relación de las tasas de fotosíntesis con la conductancia estomática en cuatro clones de yuca	34

Tabla de Cuadros

Cuadro 1. Comportamiento de las variables fenológicas en cuatro clones de yuca.	24
Cuadro 2. Comportamiento de las variables fenológicas en cuatro factores de riego.	25
Cuadro 3. Comportamiento de la variable Grado de Verdor (spad) en cuatro clones de yuca.....	27
Cuadro 4. Comportamiento de la variable Grado de Verdor (spad) en cuatro factores de riego.....	28
Cuadro 5. Comportamiento de la variable Tasa de Fotosíntesis ($\mu\text{molCO}_2/\text{m}^2.\text{s}$) en cuatro clones de yuca.	31
Cuadro 6. Comportamiento de la variable Tasa de Fotosíntesis ($\mu\text{molCO}_2/\text{m}^2.\text{s}$) en cuatro factores de riego.....	32
Cuadro 7. Comportamiento de la variable Conductancia Estomática ($\mu\text{molCO}_2/\text{m}^2.\text{s}$) en cuatro clones de yuca.....	34
Cuadro 8. Comportamiento de la variable Conductancia Estomática ($\mu\text{molCO}_2/\text{m}^2.\text{s}$) en cuatro factores de riego.....	36
Cuadro 9. Comportamiento de la variable Transpiración ($\mu\text{molH}_2\text{O}/\text{m}^2/\text{s}$) en cuatro clones de yuca.	38
Cuadro 10. Comportamiento de la variable Transpiración ($\mu\text{molH}_2\text{O}/\text{m}^2/\text{s}$) en cuatro factores de riego.....	39
Cuadro 11. Comportamiento de la variable Potencial Hídrico Xilemático (Mpa) en cuatro clones de yuca.	40
Cuadro 12. Comportamiento de la variable Potencial Hídrico Xilemático (Mpa) en cuatro factores de riego.....	41
Cuadro 13. Comportamiento de la variable Área Foliar (cm^2) en cuatro clones de yuca.	43
Cuadro 14. Comportamiento de la variable Área Foliar (cm^2) en cuatro factores de riego.....	44

Cuadro 15. Comportamiento de la variable Número de Hojas en cuatro clones de yuca.	45
Cuadro 16. Comportamiento de la variable Número de Hojas en cuatro factores de riego.....	46
Cuadro 17. Comportamiento de las variables Altura de Planta y Primera Ramificación (cm) en cuatro clones de yuca.	48
Cuadro 18. Comportamiento de las variables Altura de Planta y Primera Ramificación (cm) en cuatro factores de riego.	49
Cuadro 19. Comportamiento de las variables Número de Raíces Totales, Comerciales, Peso de Raíces Totales y Comerciales (g) en cuatro clones de yuca.	52
Cuadro 20. Comportamiento de las variables Número de Raíces Totales, Comerciales, Peso de Raíces Totales y Comerciales (g) en cuatro factores de riego.....	52
Cuadro 21. Comportamiento de la variable Biomasa Fresca Aérea (g) en cuatro clones de yuca.	54
Cuadro 22. Comportamiento de la variable Biomasa Fresca Aérea (g) en cuatro factores de riego.....	55
Cuadro 23. Comportamiento de las variables Materia Seca Aérea y de Raíz (%) en cuatro clones de yuca.	56
Cuadro 25. Comportamiento del contenido de Azúcar Total Invertido y Almidón (%) en cuatro clones de yuca.....	60
Cuadro 26. Comportamiento del contenido de Azúcar Total Invertido y Almidón (%) en cuatro factores de riego.....	61
Cuadro 27. Comportamiento del contenido de Azúcar Total Invertido y Almidón (%) en cuatro factores de riego y cuatro clones de yuca.	62
Cuadro 28. Comportamiento del contenido de Almidón (%) en cuatro factores de riego y cuatro clones de yuca.....	62
Cuadro 29. Comportamiento del contenido de Humedad, Ceniza y Fibra Cruda (%) en cuatro clones de yuca.....	66

Cuadro 30. Comportamiento del contenido de Humedad, Ceniza y Fibra Cruda (%) en cuatro factores de riego.....	67
Cuadro 31. Comportamiento del contenido de Humedad (%) en cuatro factores de riego y cuatro clones de yuca.....	68
Cuadro 32. Comportamiento del contenido de Ceniza (%) en cuatro factores de riego y cuatro clones de yuca.....	69
Cuadro 33. Comportamiento del contenido de Fibra Cruda (%) en cuatro factores de riego y cuatro clones de yuca.....	69
Cuadro 33 . Resumen de las variables agronómicas, fisiológicas y de calidad de raíces en cuatro clones de yuca.....	71
Cuadro 34 . Resumen de las variables agronómicas, fisiológicas y de calidad de raíces en cuatro clones de yuca.....	71
Cuadro 35 . Resumen de las variables agronómicas, fisiológicas y de calidad de raíces en cuatro tratamientos de riegos en clones de yuca..	71

INTRODUCCIÓN

La yuca (*Manihot esculenta* Crantz) es cultivada por pequeños agricultores en más de 100 países tropicales y subtropicales. Gracias a su uso eficiente del agua, nutriente del suelo, tolerancia a sequía y plagas esporádicas, la yuca puede producir rendimientos aceptables, con pocos o ningún insumo, en áreas con suelos pobres y lluvias erráticas. Las raíces de yuca son muy ricas en hidratos de carbono; éstas se pueden consumir después de la cocción, transformadas en productos alimenticios o para alimentar al ganado. El almidón de yuca se puede utilizar en una amplia gama de industrias, desde la fabricación de alimentos, productos farmacéuticos, para la producción de madera contrachapada, papel y bio-etanol. En algunos países, la yuca también se siembra tanto para el uso de sus raíces como para el uso de las hojas (FAOa, 2013a).

En Venezuela, la yuca dentro del renglón de las raíces y tubérculos es el cultivo con la mayor superficie cosechada y consumo *percapita*, alrededor de 57 mil hectáreas y 13.6 kg/per/año (FEDEAGRO, 2012), y actualmente está considerado como uno de los rubros estratégicos por las políticas del Ministerio del Poder Popular para la Agricultura y Tierra.

Este cultivo es uno de los mejor adaptados a amplias condiciones ambientales tropicales y tolerantes a la sequía. Es producida por agricultores de escasos recursos económicos, en suelos de baja fertilidad y es una de las principales fuentes de carbohidratos en su subsistencia, lo que le da un alto valor social. Por otra parte, se ha convertido en un cultivo agroindustrial de amplio desarrollo. A pesar de su importancia, en Latinoamérica aproximadamente el 45 % del área total del cultivo de la yuca proviene de zonas con estrés hídrico o con lluvias esporádicas. Aunque existe un amplio rango de variabilidad genética en la mayoría de los caracteres de tolerancia a la sequía, la investigación multidisciplinaria, podría incrementar la eficacia en la selección de los mejores parentales y de la pirimidación de genes que potencien las características fisiológicas de tolerancia a la sequía preexistentes en el genoma de la yuca (Tofiño *et al.*, 2008).

Sin embargo, a pesar de su adaptación a condiciones de estrés hídrico por sequía, el cultivo de la yuca responde bien al riego; la plena irrigación superficial ha permitido obtener una producción de raíces dos veces mayor a la alcanzada sin riego, igualmente los sistemas de goteo ofrecen un rendimiento similar al del riego superficial pero empleando un 50 % menos de agua (FAO, 2013b).

La reducción en el rendimiento de raíces depende de la duración de la sequía de agua y está determinado por la sensibilidad en las etapas de crecimiento. El déficit hídrico durante al menos dos meses reducen los rendimientos entre 30-60% (Alves, 2002).

En una investigación realizada en el sur de Anzoátegui, encontraron que el rendimiento promedio de raíces en siembras de secano fue de 20 t/ha de raíces frescas y 30 t/ha con riego complementario, con un incremento de 50%. La influencia de variabilidad genética de cada cultivar de yuca produjo respuestas diferentes en cada ambiente evaluado (Caraballo y Velasquez, 1997).

A fin de optimizar la producción de yuca de secano es preciso elegir con cuidado las fechas de siembra, los métodos de plantación y los lugares en que esta se realiza, identificar cultivares superiores en cuanto a calidad y rendimiento de raíces frente a condiciones de déficit de agua y adoptar prácticas de gestión del suelo que ayuden a conservar el agua. Por ello, se sugiere que una estrategia a corto plazo para la selección eficiente de genotipos tolerantes a la sequía implica además de la caracterización morfológica de caracteres de interés, la utilización de análisis bioquímicos y fisiológicos que disminuyan el efecto de la interacción genotipo-ambiente en la selección de parentales.

Por último, los agricultores siembran yuca normalmente a entrada de lluvias, quedando la segunda mitad del ciclo fenológico con deficiencia hídrica al comenzar la época seca; además las precipitaciones en Venezuela cada día son más erráticas, limitando así la productividad de este cultivo.

En virtud de lo expuesto anteriormente y la poca información existente sobre los mecanismos fisiológicos del cultivo frente a condiciones de estrés hídrico, surge la necesidad de este trabajo, cuyo objetivo es evaluar el efecto del déficit por sequía

sobre las variables fisiológicas y agronómicas en cuatro clones de yuca, así como los requerimientos hídricos necesarios que potencien la producción sin perjudicar los rendimientos y calidad del producto final del cultivo.

OBJETIVO GENERAL:

Evaluar el rendimiento y la tolerancia al déficit hídrico por sequía de cuatro cultivares promisorios de yuca ('Guajira 3', 'Mven 77-3', 'Concha Rosada' y 'Bolívar 32') provenientes del Banco de Germoplasma del INIA-CENIAP durante un ciclo de producción en el Campo Experimental del CENIAP, Maracay, Estado Aragua.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- 1) Caracterizar el ciclo fenológico en cuatro cultivares de yuca evaluados bajo diferentes suministros hídricos en condiciones de campo.
- 2) Evaluar en cuatro clones de yuca el efecto del déficit hídrico en las variables fisiológicas: fotosíntesis, conductancia estomática, transpiración, potencial hídrico xilemático y área foliar.
- 3) Determinar el efecto del déficit hídrico en cuatro clones de yuca en las variables agronómicas: altura de planta, altura de primera ramificación, rendimiento de raíces y biomasa seca y fresca.
- 4) Evaluar en cuatro clones de yuca el efecto del déficit por sequía en las variables asociadas a la calidad de las raíces: contenido de humedad, ceniza, fibra cruda, azúcares totales y almidón.

ANTECEDENTES

Botánica y características agronómicas del cultivo de la yuca.

Al respecto, Suárez y Mederos (2011) señalan:

La yuca pertenece al reino Vegetal, División Spermatophyta, Subdivisión angiospermae y a la Clase Magnoliopsidae. Se encuentra ubicada en el Orden Euphorbiales, Familia Euphorbiaceae, Tribu Manihotae a la que pertenece, el Género Manihot, Especie esculenta.

El número total de hojas producidas por la planta, su longevidad y capacidad fotosintética son características varietales muy influenciadas por las condiciones ambientales. Las hojas son simples y están compuestas por la lámina foliar y el pecíolo. La lámina foliar es palmeada y profundamente lobulada. El número de lóbulos en una hoja es variable y por lo general impar, oscilando entre 3 y 9. Los lóbulos miden entre 4 y 20 cm de longitud y entre 1 a 6 cm de ancho; los lóbulos centrales son de mayor tamaño que los laterales. El tamaño de la hoja es una característica típica de cada cultivar, aunque depende mucho de las condiciones ambientales. Las hojas producidas en los primeros 3-4 meses de vida de la planta, son más grandes que las producidas luego del cuarto mes. La inflorescencia puede ser una panícula, un racimo o una combinación de los dos; éstas se forman a partir de yemas en el punto de inserción de las ramificaciones reproductoras. Ocasionalmente se desarrollan a partir de las yemas, en las axilas de las hojas de la parte superior de la planta. El fruto es una cápsula de 1 a 2 cm de diámetro, aristado (seis aristas longitudinales, estrechas y prominentes), dehiscente y semicircular. Las raíces son fibrosas, y estas se agrandan, debido a la acumulación de almidón, y se denominan tuberosas. Este tipo de raíz es morfológica y anatómicamente iguales a las raíces fibrosas; la diferencia radica en el cambio de la dirección del crecimiento, de longitud radial, cuando se inicia la acumulación de almidones.

En cuanto a las evaluaciones agronómicas, León *et al.* (2013) caracterizaron una parte de la colección de la UCV-Facultad de Agronomía y encontraron para la altura de planta porte bajo a los tres meses, debido a que no había expresado su máximo potencial y a los seis meses el 25,7% de los clones de porte intermedio, sólo 2% de porte alto para las primeras ramificaciones, con un valor máximo de 147,33 cm (clon 2477). Resultados similares señalan Marín *et al.*, (2008) en el Banco de Germoplasma de yuca del INIA-CENIAP con introducciones del CIAT-Colombia observando portes bajos a intermedios. Por su parte, Montaldo (1972) agrupó la escala para la altura de la planta: portes bajos (menores a 1,5 m), intermedios (1,50 a 2,5 m) y altos (más de 2,5 m). La altura de la primera ramificación la clasifica en: bajos (hasta 0,5 m), intermedio (0,5 a 1m) y alto (más de 1m).

Por otra parte, el área foliar medida en nueve hojas de la colección del banco de germoplasma de yuca de la UCV-Facultad de Agronomía mostró valores promedio a los seis meses de edad del cultivo de 209,39 cm² y con un máximo de 389,95 cm² por lámina foliar (clon 2761), por lo que podrían ser materiales promisorios para la alimentación animal (Preston, 2012). Los clones presentaron raíces con pesos totales que van desde 0,3 hasta 4,66 kg/planta y con valores máximos de raíces comerciales de 3,66 kg/planta (clon 2723) (León *et al.*, 2013); lo que indica que en general la colección de yuca tuvo buenos rendimientos, ya que el promedio nacional se encuentra entre 1-3 kg/planta (FEDEAGRO, 2012).

Así mismo, Fuenmayor *et al.* (2012) evaluaron 12 cultivares de yuca en los estados Anzoátegui, Aragua y Barinas encontrando: rendimiento de raíces frescas (kg/ha) con valores que oscilaron entre 22.000 a 44.163 kg/ha y materia seca (%) con materiales que oscilaron entre 30 a 44%.

El-Sharkawy (2012) señala que el tipo de planta de yuca ideal requiere las siguientes características: ramificación final del sexto al noveno mes después de sembrado (mds), tamaño máximo de la hoja de 500 cm² al cuarto mes después de

la siembra; índice de área foliar máximo de 2,5-3,5 al finalizar el ciclo (este índice relaciona el área foliar ó superficie total fotosintetizadora con el área del suelo ocupada por el cultivo), índice de cosecha (relación entre la variable rendimiento y la biomasa total de la planta) mayor a 0,5 , más de nueve raíces de almacenamiento por planta, 90 t/ha de raíces frescas y alrededor de 30 t/ha de materia seca. Sin embargo, es necesario que el ambiente sea óptimo (sin estrés), elevada radiación solar; más de 1000 mm de precipitación distribuida en los primeros meses del ciclo, alta temperatura media (mayor a 28 °C) y alta humedad atmosférica (70%) (El-Sharkawy, 2012). La productividad de la yuca se determina por la tasa de producción de biomasa seca y por su eficiencia al acumular fotosintetizados en las raíces, por lo tanto, la tasa de fotosíntesis es de gran importancia en la planta (De Tafur *et al.*, 1997).

Caraballo y Velásquez (1997), mencionan, que para iniciar un programa de producción de yuca durante todo el año hace falta en primer lugar, cultivares de alta calidad para la siembra que sean resistentes a plagas y a enfermedades. El riego constituye otro elemento de importancia a considerar, para definir la conveniencia ó no de regar plantaciones de yuca. La experiencia actual sugiere que la planta requiere humedad para la brotación y el establecimiento del cultivo; incrementando su demanda entre el cuarto y quinto mes después de la siembra.

Fenología del cultivo de la yuca

El conocimiento de las particularidades biológicas de los cultivos son básicos para aumentar su eficiencia económica y productiva. La fenología contribuye a conocer los cambios en los patrones de desarrollo y crecimiento de las plantas, en relación con las condiciones de clima, el manejo y otros aspectos del ambiente. Por eso, las investigaciones dirigidas a analizar las características fenológicas de los cultivos, son fundamentales por su importancia técnica y científica. Además, estos estudios son necesarios para efectuar un adecuado manejo agronómico con base

a las características y actitudes de las diferentes variedades ó genotipos de cada especie (Gamboa, 2005).

Para completar un ciclo de crecimiento, la planta presenta seis fases morfológicas y agronómicas principales, cuatro activas: brotación de estaca, formación del sistema radical, crecimiento de la parte aérea, engrosamiento de raíces reservantes y una de reposo (Ternes, 2012).

Así mismo, Onwueme y Winston (1994) caracterizaron fenológicamente la acumulación de materia seca en las raíces. Estos indicaron cinco fases principalmente: I. Fase de establecimiento; II. Fase de iniciación de raíces de almacenamiento; III.a. Fase de lenta acumulación de raíces de almacenamiento; III.b. Fase de rápida acumulación de raíces de almacenamiento; IV. Fase de recuperación y V. Segunda fase de almacenamiento de raíces.

Por su parte, Noval *et al.*, (1999) describieron fenológicamente al cultivo, separando este en ocho fases (germinación, formación de brotes superficiales, formación de hojas, crecimiento del tallo, crecimiento de la raíz, formación de botones florales, floración y madurez).

Fisiología del cultivo de la yuca

Las hojas de yuca poseen actividad de PEP-Carboxilasa elevada alcanzando valores de 15-25% menor que el de los cultivos tropicales C4 y mayor que las observadas en las plantas C3 típicas (fríjol común) (El-Sharkawy, 2007). Estos resultados tienen implicaciones importantes por la capacidad de fijar carbón y tener más afinidad por el CO₂; en particular frente a las altas temperaturas y al estrés hídrico. Las hojas de yuca obtuvieron valores de PEP-carboxilasa entre 1,5-5,5 mol/mg de clorofila por minuto en comparación con los valores encontrados en sorgo (C4) de 6-12 mol/mg de clorofila y de 0.2-0.4 mol/mg de clorofila en el fríjol común (C3), lo que indica posiblemente el comportamiento intermedio de una C3-C4 (El-Sharkawy, 2012).

La planta de yuca ajusta su eficiencia fotosintética a la máxima intensidad de luz, a la temperatura, al estado fisiológico, a factores genéticos, a la apertura y cierre de los estomas, los cuales, a su vez; están determinados por el estado hídrico de la planta y por la humedad relativa del aire (De Tafur, 2002). La yuca tiene una capacidad fotosintética relativamente alta, con tasas de 35-45 $\mu\text{molesCO}_2/\text{m}^2/\text{s}$ (Calatayud *et al.*, 2000). Esto debido a que la especie presenta características fisiológicas C3-C4, acumulando PEP-carboxilasa o Rubisco dependiendo de las condiciones ambientales que enfrenta el cultivo (El-Sharkawy, 2012). Asimismo, Ascencio (1996) señala tasas de fotosíntesis entre 22 a 26 $\mu\text{molesCO}_2/\text{m}^2/\text{s}$ con temperaturas óptimas de 25 a 35 °C.

El-Sharkawy (2012) reporta que la alta productividad del cultivo es debido a las altas tasas de fotosíntesis (40-50 $\mu\text{molesCO}_2/\text{m}^2/\text{s}$) bajo una radiación promedio mayor a los 1800 $\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$. Estas tasas de fotosíntesis son comparables con la de los cultivos tropicales C4, tales como la caña de azúcar, maíz y sorgo. De esta forma, la yuca se considera una especie intermedia C3-C4 basado en variables fisiológicas, anatómicas y bioquímicas (El Sharkawy, 2012).

Respuestas fisiológicas y agronómicas de las plantas sometidas a condiciones de estrés por sequía.

Tezara (2015) menciona que el déficit hídrico es uno de los factores limitantes más fuertes que gobiernan en gran parte la distribución de las plantas terrestres. Muchas especies en ecosistemas venezolanos están sujetas a sequía durante una parte del año, y necesariamente presentan respuestas a este estrés que se pueden considerar como adaptaciones. En todos los casos, la sequía no sólo disminuyó la apertura estomática sino que afectó negativamente diversos componentes del mesófilo en la fotosíntesis de la yuca (la actividad de componentes bioquímicos y fotoquímicos), ya que los cultivos en general cierran los estomas para evitar la pérdida de agua y provocando así un efecto negativo y la disminución en las tasas de fotosíntesis.

Sobre este aspecto, Ledent (2002) indica que el estrés es el factor externo que ejerce una influencia negativa sobre las plantas. Se evalúa en función de la supervivencia, rendimiento, acumulación de biomasa, fotosíntesis u otros parámetros relacionados con los anteriores. Se trata del estado interno de la planta, que resulta de factores externos y que limita el mejor funcionamiento de la misma. La sequía puede ser climática en donde se reduce el régimen de lluvias con relación a lo normal (largo plazo); mientras que la sequía agronómica se entiende por el déficit de agua en el continuum suelo-planta-atmósfera que perjudica la producción a corto plazo.

Este mismo autor señala que las plantas responden a este estrés tolerándolo debido a la capacidad de la planta para adaptarse a un ambiente desfavorable. Esto lo logra aclimatándose, ya que la planta es capaz de aumentar su tolerancia luego de exponerse al estrés ó puede adaptarse ejerciendo un nivel de resistencia genéticamente determinada y adquirida a través de un proceso de selección a lo largo de un gran número de generaciones. Entre los mecanismos de adaptación está el escape ó la tolerancia; este último puede ser por evitamiento, ó por tolerancia propiamente dicha, ya que en el primer caso la planta puede cumplir su ciclo antes que la sequía comience ó en el segundo caso se adapte al estrés. Otro mecanismo que tienen las plantas es la resistencia, siendo esta la función de la manifestación de los genes y de la síntesis de las proteínas en las respuestas de las plantas al estrés.

Las plantas pueden, ahorrar agua reduciendo el consumo con el objeto de preservarla en el suelo y en los tejidos para usarla posteriormente ó usando mecanismos como la disminución de la superficie foliar, senescencia, abscisión, enrollamiento, regulación estomática, orientación de las hojas, reflexión de la luz, etc (Ledent, 2002). También lo pueden lograr las plantas gastadoras de agua que son grandes consumidoras de este recurso debido sobre todo a su sistema radicular profundo; mientras que la tolerancia a la

deshidratación es la capacidad de funcionar a pesar de la deshidratación. (Ledent, 2002).

Otro mecanismo de resistencia a nivel fisiológico es el cierre de estomas, ya que estos son los responsables de la mayor proporción de pérdida de agua en las plantas (Taiz y Zeiger, 2006). Esto ocurre, cuando el mesófilo comienza a sufrir deshidratación y está regulado por el ácido abscísico (ABA) (Leung y Giraudat, 1998). El contenido de ABA en la hoja se incrementa debido a la descompartmentalización y redistribución desde los cloroplastos de las células del mesófilo y a la síntesis y transporte desde las raíces, siendo liberado al apoplasto para llegar a las células guarda a través de la corriente de transpiración e iniciando así la señal para que las hojas entren en proceso de senescencia, se caigan y así la planta ahorra agua por la menor tasa de transpiración (Zhang y Outlaw, 2001).

A nivel celular, otra respuesta de resistencia a la sequía es el ajuste osmótico, está se da en las plantas a través de la biosíntesis de osmolitos orgánicos de bajo peso molecular y por la acumulación de iones, fundamentalmente K^+ (Cushman, 2001). En general, las enzimas son sensibles a las altas concentraciones de iones, como el Na^+ . La acumulación de iones durante el ajuste osmótico ocurre principalmente en la vacuola, mientras que en el citoplasma se acumulan solutos que no afectan negativamente la funcionalidad de macromoléculas celulares (Buchanan *et al.*, 2000).

Otro aminoácido importante asociado a la tolerancia a la sequía es la prolina; éste se encuentra en pequeñas cantidades en las plantas, cuando éstas crecen en condiciones óptimas; en condiciones de estrés, se ha encontrado que el contenido de prolina aumenta para actuar como un agente osmótico, protegiendo a la planta de la deshidratación (Ferrarotto, 2003 y Quezada *et al.*, 2011).

Respuestas fisiológicas y agronómicas en el cultivo de la yuca frente a condiciones de estrés por sequía.

Okogbenin *et al.* (2013) mencionan que el mecanismo principal de defensa frente al estrés por sequía en el cultivo de la yuca es evitando ó tolerando la deshidratación, para lograr un óptimo metabolismo y crecimiento. Estos autores señalan que el sitio ideal de siembra debe tener más de 600 mm de lluvia distribuida en los tres primeros meses de siembra ó a través de riegos complementarios que permitan establecer el cultivo. Luego cualquier eventualidad que ocurra en este aspecto permitirá identificar de forma efectiva los genotipos superiores frente al estrés.

El mecanismo principal de tolerancia a la sequía en este cultivo es la sensibilidad a los cambios en la humedad atmosférica y al estado en que se encuentra el agua en el suelo (en términos de si es suficiente ó no para el cultivo). La planta cuando es expuesta a aire seco y suelos secos, cierra los estomas para evitar la pérdida de agua, y por tanto restringiendo así su capacidad fotosintética (El-Sharkawy, 2004; Setter y Fregene, 2007).

Siguiendo el mismo orden de ideas, se puede mencionar que el potencial hídrico de las hojas se define como la energía potencial por unidad de masa con respecto al agua pura cuyo potencial es cero. El potencial de las hojas en la yuca sufre poca variación con el estrés hídrico con valores que oscilan entre -1,3 Mpa hasta -0,4 Mpa. La capacidad de la planta para mantener su potencial hídrico, se debe al cierre de los estomas y por ende, a una considerable reducción de la conductancia estomática (este término expresa datos relativos a la difusión de CO₂ y vapor de agua por los estomas), lo cual impide la pérdida de agua (El-Sharkawy *et al.*, 1992).

Asimismo, De Tafur (2002) y Alves (2002) señalan que las plantas de yuca responden al déficit de agua de muchas maneras: morfológicas, fisiológicas y metabólicas. La primera respuesta es el cierre estomático, disminución de la

transpiración y potencial hídrico de las hojas. Sin embargo, también responden metabólicamente y dentro de ellas la prolina juega un papel muy importante, ya que en condiciones de estrés, se ha encontrado que el contenido de prolina aumenta para actuar como un agente osmótico, protegiendo a la planta de la deshidratación (Quezada *et al.*, 2011).

En este mismo sentido, Sundares y Sudhakaram (1995) indicaron en su investigación que las plantas de yuca estresadas en condiciones de sequía acumularon más prolina que las plantas que no se sometieron a estrés hídrico; por lo que se evidencia que durante el estrés por déficit de agua hay alteraciones en el metabolismo de prolina en este cultivo, además de las variaciones observadas debida a los genotipos.

Por su parte, Potluri y Prasad (2001) indicaron que en dos cultivares de yuca sometidos a estrés salino, el efecto de la sal fue contrarrestado por el aumento de afluencia de potasio y síntesis de prolina; debido a que hubo un aumento en la acumulación de este aminoácido.

Del mismo modo, el cultivo utiliza eficientemente el agua, pues el cierre estomático durante períodos largos de sequía, disminuye la evapotranspiración y el agua disponible en el suelo puede asimilarse lentamente, gracias al sistema radical disperso y profundo (Tofiño *et al.*, 2008).

El cultivo de la yuca posee características de control estomático para proteger a la planta de la pérdida de agua y asimismo evitar la deshidratación foliar. Sin embargo, el rendimiento es reducido en menor grado a las pérdidas que alcanza en el crecimiento del cultivo (El-Sharkawy, 2007).

La yuca conserva el agua bajo condiciones de estrés prolongado de sequía a través de aspecto del desarrollo foliar, tales como, la reducción en el dosel foliar, restricción en la formación de nuevas hojas, producción de hojas de menor tamaño, respuesta heliotrópica y caída de las hojas (Catalayud *et al.*, 2000 y Alves

and Setter 2004). Esta disminución en el área foliar posiblemente podría reducir la biomasa y el rendimiento. Sin embargo, este cultivo tiene la capacidad de recuperarse rápidamente cuando recibe agua formando nuevas hojas; incrementando así la intercepción de la luz y la fotosíntesis; compensando las pérdidas de biomasa y rendimiento (El-Sharkawy y Cadavid, 2002).

Caracterización de las variables asociadas a la calidad de raíces de yuca en cuanto a contenido de ceniza, humedad, fibra cruda, azúcares totales y almidón.

Este cultivo presenta la siguiente composición química de raíces en base seca: % carbohidratos disponibles 92,4; % proteína cruda 1,56; % ceniza 2; % hemicelulosa 1,45 y % de extracto etéreo 0.88 (Ceballos, 2002). Las raíces de yuca tienen una composición media de 68,2% de humedad, 30% de almidón, 2% de cenizas, proteína de 1,3%, 0,2% de lípidos y 0,3 fibras (Albuquerque *et al.*, 1993).

De igual forma, Metzler *et al.*, (2004) indican que el contenido de macronutrientes de este cultivo confirma que este alimento está compuesto en mayor proporción por agua y carbohidratos, y se pueden considerar como fuentes moderadas de energía. El contenido de proteína es bajo y sólo se detectaron niveles traza de (proteína (g) 0,5; carbohidratos disponibles (g) 27,7; cenizas (g) 0,5; humedad (g) 71,2 y grasa (g) 0,1).

De igual forma, López y Ramírez (2006) realizaron el análisis proximal en hojas y raíces de yuca (humedad, ceniza, fibra, proteína y grasa), pigmentos (clorofila total, carotenoides y carotenos) y cianuro potencial, donde se encontraron diferencias estadísticamente significativas al 5%, salvo en el contenido de carotenos, que para cada edad obtuvo concentraciones similares entre clones. Por su parte, Ramos (2007) y López y Ramírez (2006) hacen referencia al deterioro de las variables humedad, ceniza, fibra cruda, proteína y grasa,

pigmentos (clorofila total, carotenoides y carotenos) y cianuro potencial en hojas y raíces en yuca ocasionadas por el déficit hídrico.

En cuanto a la composición química de las raíces de plantas de yuca cosechadas a los 12 meses se encontraron menores niveles de almidón y fibra y mayores niveles de hidratos de carbono reducidos, pectina total, proteínas y lípidos en la masa seca que las plantas que fueron cosechadas a los 15 meses dds (Mengue, 2004).

En este mismo sentido, Rodríguez *et al.* (2009) reportaron en su investigación un % de materia seca en raíces reservantes de 53,2% y en el vástago de 46,78% indicando que en este trabajo finalmente la mayor ganancia en términos de biomasa seca es principalmente en las raíces.

La variabilidad genética hace que se presenten rangos de contenido en los componentes más importantes de la raíz, tales como carbohidratos (almidón y azúcares), ácido cianhídrico (HCN) y fenoles. Estudios realizados en el CIAT durante el año 1977 demostraron que es factible aumentar el contenido de almidón mediante el mejoramiento genético. Mientras que los contenidos de HCN varían de una variedad a otra y dentro de una misma variedad de una planta a otra. (Aristizábal *et al.*, 2007)

METODOLOGÍA

Características generales del área de estudio.

Localización

El estudio se realizó en el Campo Experimental del Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas-Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIA-CENIAP), Maracay, Estado Aragua; ubicado en zona de Bosque Seco Tropical Premontano, 10°17'14" LN y 67°36'02" LO, altura 480 msnm.

La fecha de siembra del ensayo fue en enero del 2014 y la precipitación durante todo el ciclo del cultivo fue de 509,5 mm; distribuyéndose el 62,17 % del agua caída en los últimos tres meses (Junio-Agosto). La evapotranspiración del cultivo fue en promedio durante el ciclo de 70,67 mm.

Clima y suelo

El clima de la zona está clasificado como Bosque Seco Tropical (Ewel et al., 1976), con un promedio anual de radiación global de 18,5 Mj/m²/d con valores máximos de 20,7 Mjm-2d-1 en marzo y mínimos de 17,2 Mjlm-2d-1 en noviembre (Figura 1).

El régimen térmico de la zona se caracteriza por presentar una temperatura media anual de 25°C, siendo enero el mes más frío con temperatura mínima media de 16°C y marzo el mes más cálido con temperatura máxima media de 34°C, los meses más frescos son diciembre y enero, sin embargo en ocasiones la temperatura mínima desciende unos 4 a 5°C en el mes de septiembre (Figura 1).

Con un promedio anual de precipitación (Pp) de 1051,3 mm las precipitaciones se distribuyen entre los meses de abril y noviembre con un promedio máximo mensual de 191,4 mm en agosto y un promedio mínimo mensual de 4,1 mm en febrero (Soto *et al.*, 2005). La evapotranspiración potencial (ETo) promedio anual, calculada por el método de Penman-Monteith fue de 1556,8 mm.

Estación CENIAP, Maracay. Promedio mensual 1980-2008

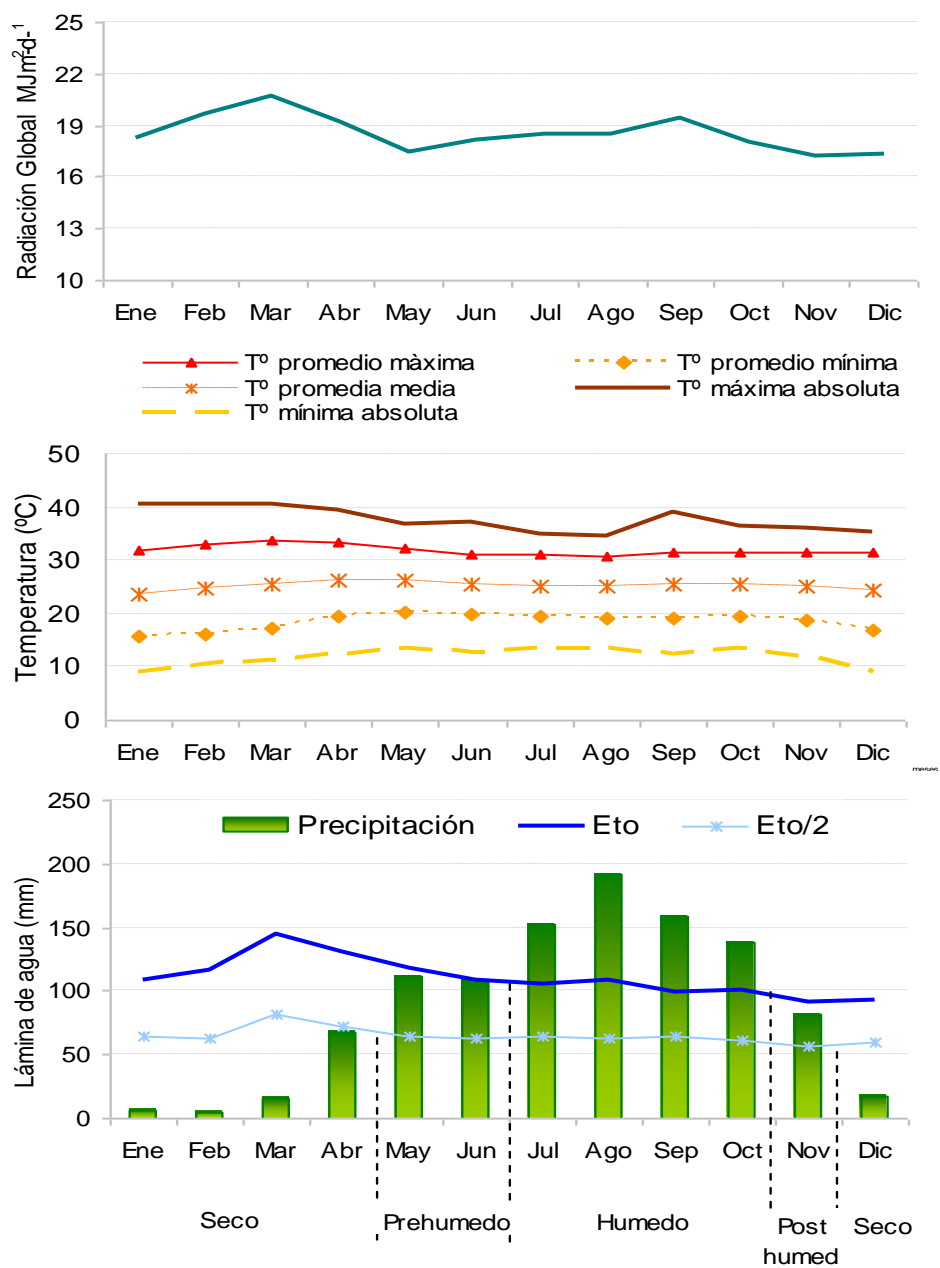


Figura 1. Promedio mensual de la radiación global, temperatura del aire, precipitación y evapotranspiración del área de estudio.

Material vegetal.

Se estudiaron cuatro clones de yuca: dos del programa de mejoramiento genético 'Guajira 3', 'Mven 77-3', y dos del banco de germoplasma 'Concha Rosada' y 'Bolívar 32' (Figura 2), previamente seleccionados en función de su comportamiento potencial favorable frente a la sequía.



Figura 2. Morfología de los cuatro clones de yuca.

Descripción del Experimento.

Se sembró el área experimental usando unas distancias de siembra de un metro entre plantas y un metro entre hileras, obteniendo un área total del ensayo de 540 m². El riego utilizado fue por goteo, con un tanque de 2000 l de capacidad y bomba de 1 hp, usando cintas de goteo con descarga de 0,7 l/h y frecuencias de riego de dos veces por semana, utilizando para los cálculos de necesidades hídricas el programa Riego a la Carta desarrollado por el Prof. Roberto Villafañe. Para ello, se llevó un registro de la Eto y precipitación con el apoyo de la estación climatológica ubicada en el campo experimental (Lote H3).

Durante las fases de establecimiento y desarrollo inicial del cultivo se le garantizó a todas las plantas del ensayo el 100% del requerimiento hídrico, lo cual duró dos meses; luego de ello, del tercer al octavo mes de establecido el cultivo se aplicó las restricciones hídricas (25, 50, 75 y 100% la evapotranspiración del cultivo (ETc)).

Los coeficientes de cultivo (kc) se aplicaron en cada fase fenológica de acuerdo a lo propuesto por Allen *et al.* (2006). El experimento duró ocho meses y todas las evaluaciones se realizaron al cuarto, sexto y octavo mes, en los cuatro tratamientos tanto de clones como riego.

Diseño del experimento.

Se realizó un diseño de bloques completamente aleatorizado, bajo un arreglo de tratamientos en franjas 4*4, con tres repeticiones, correspondientes a cuatro manejos del riego (parcela principal) y cuatro clones (parcela secundaria).

Las unidades experimentales (UE) estuvieron representadas por la combinación de los factores clon ('Guajira 3', 'Mven 77-3', 'Concha Rosada' y 'Bolívar 32') y riego (100, 75, 50 y 25% de la (Etc)) las cuales fueron aleatorizadas en tres repeticiones. Cada unidad experimental representó un área total de 15 m² con 15 plantas/UE.

Objetivo 1. Caracterizar el ciclo fenológico en cuatro cultivares de yuca con diferentes suministros hídricos en condiciones de campo.

Para ello, se contaron los días en los que comienza cada estado del ciclo del cultivo y este se cumple cuando al menos el 50% de las plantas están en la fase fenológica que corresponde a cada estadio; utilizando el descriptor señalado por Noval *et al.* (1999) y Burgos *et al.*, (2013), como se describe a continuación:

Estado 01: Formación de Brotes Superficiales. Como inicio se consideró la aparición de la primera hoja expandida sobre la superficie del suelo.

Estado 02: Formación de Hojas. Se consideró como inicio la aparición de la novena hoja totalmente expandida.

Estado 03: Crecimiento del Tallo. Se tomó como inicio el alargamiento del entrenudo inferior hasta 2 cm de altura.

Estado 04: Formación de botones florales. Se tomó cuando aparecieron los primeros rudimentos de la inflorescencia o botones en las axilas de las hojas.

Estado 05: Floración. Se apreció la apertura de los primeros botones florales en al menos el 50% de las plantas.

Estado 06: Madurez Fisiológica de las raíces reservantes. Se inicia con la senescencia foliar de las plantas (Figura 3).



Estado 01: Formación de Brotes Superficiales.



Estado 02: Formación de Hojas.



Estado 03: Crecimiento del tallo.



Estado 04: Formación de botones florales.



Estado 05: Floración.



Estado 06: Madurez Fisiológica de las raíces reservantes.

Figura 3. Estadios de crecimiento en el cultivo de la yuca.

Objetivo 2. Evaluar en cuatro clones de yuca el efecto del déficit por sequía en las variables fisiológicas: fotosíntesis, conductancia estomática, transpiración y potencial hídrico xilemático.

El método de evaluación para las distintas variables fue el siguiente:

Grado de verdor (unidades spad): se evaluó con el medidor de clorofila Spad 502 Konica Minolta. Se tomaron dos plantas y dos hojas/plantas de la quinta hoja totalmente expandida en sentido ápice base, por cada unidad experimental a los dos, cuatro, seis y ocho meses de edad del cultivo. Esta variable está asociada con el contenido de clorofila en las hojas.

Fotosíntesis ($\mu\text{molCO}_2/\text{m}^2/\text{s}$), conductancia estomática ($\mu\text{molCO}_2/\text{m}^2/\text{s}$) y la transpiración ($\mu\text{molH}_2\text{O}/\text{m}^2/\text{s}$): estas variables fueron medidas en las horas comprendidas desde las 10:00 hasta las 13:00 horas (De Tafur, 2002); utilizando un Analizador Infrarrojo de Gases CI-340 Photosynthesis Systems, en dos hojas.planta⁻¹, de la quinta hoja totalmente expandida en sentido ápice base para cada unidad experimental a los cuatro, seis y ocho meses de edad del cultivo.

Potencial hídrico xilemático (MPa): Esta variable se midió en las horas comprendidas entre las 11:00 hasta las 13:00 horas; para ello se tomó una muestra de tejido foliar de la última hoja totalmente expandida en el sentido de la parte basal de la planta hasta la parte apical del tallo, previamente tapada con papel de aluminio por 30 minutos (Celédon *et al.*, 2012), para luego ser llevada al equipo (Bomba de Scholander o cámara de presión) (Scholander *et al.*, 1965). Se midieron dos plantas y dos hojas/planta del dosel superior para cada unidad experimental, a los cuatro, seis y ocho meses de edad.

Objetivo 3: Evaluar en cuatro clones de yuca el efecto del déficit por sequía en las variables agronómicas: área foliar, número de hojas, altura de planta, altura de primera ramificación, rendimiento de raíces y biomasa seca y fresca.

El método de evaluación para las distintas variables fue el siguiente:

Área Foliar (cm²): se cortaron dos hojas/clon/planta en cada unidad experimental, a los cuatro, seis y ocho meses de edad del cultivo y fueron llevadas al laboratorio, donde luego se escanearon y procesaron con el programa Image J.

Número de hojas: se contaron el número de hojas de cuatro plantas del hilo central por unidad experimental, desde la parte basal de la planta hasta la apical del tallo, a los cuatro, seis y ocho meses.

Altura de planta (cm): se midió la altura de cuatro plantas del hilo central por unidad experimental desde la parte basal de la planta hasta la parte apical del tallo, a los cuatro, seis y ocho meses. Las cuatro plantas fueron las mismas que se utilizaron en todo el experimento.

Altura de primera ramificación (cm): se midió la altura de cuatro plantas del hilo central por unidad experimental desde la parte basal de la planta hasta la primera ramificación del tallo, a los cuatro, seis y ocho meses. Las cuatro plantas fueron las mismas que se utilizaron en todo el experimento.

Rendimiento (g): en cada unidad experimental se cosecharon cuatro plantas del hilo central al octavo mes, determinando: número y peso de raíces totales y comerciales (raíces mayores a 20 cm de largo y mayores a 4 cm de ancho) (Montaldo, 1996).

Biomasa fresca aérea (g): se cosecharon cuatro plantas del hilo central al octavo mes, y se procedió a pesar la parte aérea de la planta.

Materia seca aérea y de Raíces: se midió al octavo mes la cantidad de materia seca por unidad de superficie o volumen. Para ello, se cortaron dos plantas/clon/UE y fueron llevadas al laboratorio, donde luego fueron secados en estufa a 60 °C y por 72 horas; una vez que estuvieron secas se separaron en vástago y raíz, para posteriormente pesarlas, las cuales fueron previamente separadas en campo (vástago-raíz).

Objetivo 4: Evaluar en cuatro clones de yuca el efecto del déficit por sequía en las variables asociadas a la calidad de las raíces: contenido de humedad, ceniza, fibra cruda, azúcares totales y almidón.

Fue tomada una muestra compuesta de 2 kg de las raíces de cuatro plantas centrales, luego se secaron en la estufa a 60 °C durante 72 horas y posteriormente se procedió a medir las raíces secas con dos repeticiones por unidad experimental de las variables que se mencionarán a continuación: Humedad, ceniza y fibra cruda (%): se midió por la Metodología Oficial de la Asociación de Químicos Analíticos (AOAC, 1975). Los azúcares totales (%) fueron estimados con la metodología propuesta por Dubois y Gilles (1956). El almidón (%) se midió por el método colorimétrico descrito por Mc Cready *et al.* (1950). Estos análisis fueron realizados en el Laboratorio de Nutrición Animal del INIA-CENIAP.

Análisis de los resultados: Previo cumplimiento de los supuestos, se analizaron el conjunto de datos con un análisis de varianza y prueba de media de Tuckey, con un nivel de significancia de 5 %, de acuerdo al diseño propuesto, con el uso del programa Infostat, versión estudiantil.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Objetivo 1. Caracterizar el ciclo fenológico en cuatro cultivares de yuca con diferentes suministros hídricos en condiciones de campo.

Ternes (2002) y Gomes (2015) mencionan que la planta de yuca cumple su ciclo de desarrollo en cinco fases fisiológicas, con cuatro activas y otra inactiva. En la primera fase, llamada surgimiento de raíces, en condiciones favorables de humedad y temperatura, son las primeras raíces fibrosas y esto ocurre después del séptimo día de la siembra. En la segunda fase continúa formando el sistema de raíces que consiste en raíces fibrosas, esta fase dura unos 70 días. En la tercera es el desarrollo de brotes y dura 90 días. Durante esta ya comienza la acumulación de almidón en las raíces fibrosas. La cuarta es el llenado de las raíces, lo que corresponde a la migración de sustancias de reserva para las raíces de almacenamiento a partir de la fase anterior y esta comienza en el quinto mes. En esta etapa no hay un mayor crecimiento de las raíces en longitud, pero sí de diámetro por la deposición del almidón. En la quinta y última, llamada de reposo, la planta pierde el follaje naturalmente cerrando su actividad vegetativa, quedando sólo la migración de sustancias de reserva para las raíces. Es durante esta fase en el que la planta de yuca almacena la reserva máxima de almidón en las raíces. Reanuda después de este período de descanso en una nueva etapa de crecimiento cuando se reinicia la formación de ramas y hojas, que inicialmente es a expensas del almidón almacenado en los tallos y las raíces durante la de crecimiento anteriormente descrito.

Se observó que los estadios 01 (días a formación de los brotes superficiales), estadio 02 (días a formación de hojas) y estadio 03 (días a crecimiento del tallo) (Figura 4), no mostraron diferencias significativas entre los clones, con el tipo de riego y con la interacción de los clones con el riego. Asimismo ocurrió con los clones y con el tipo de riego (Cuadros 1 y 2). A pesar de que esta especie se adapta a condiciones de sequía, se hace necesaria la presencia de que de lo contrario no se garantiza el desarrollo del cultivo. Es por ello, que en

esta investigación en el momento en el que se midieron estas variables los clones no habían sido sometidos a condiciones de estrés.

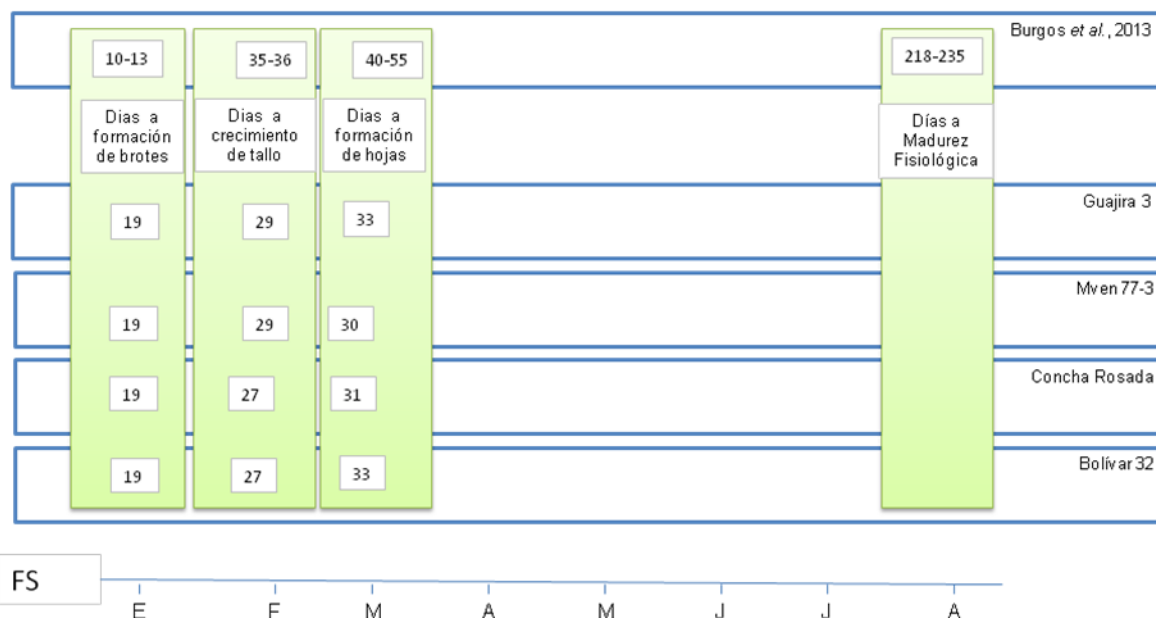


Figura 4. Fenología del cultivo por Burgos et al., 2013 y cuatro los clones de yuca evaluados.

Cuadro 1. Comportamiento de las variables fenológicas en cuatro clones de yuca.

Clones	DFBT	DFH	DCT
Guajira 3	19,58	33,00	27,00
Mven 77-3	19,41	31,00	27,75
Concha Rosada	19,00	30,17	28,91
Bolívar 32	19,41	33,00	28,08
Promedio	19,35	31,79	27,94
Desviación Estandar	0,25	1,44	0,79
CV (%)	1,29	4,52	2,85

DFBT: formación de brotes superficiales (días); DFH: formación de hojas (días) y DCT: crecimiento del tallo (días).

Nota: Letras diferentes en cada columna indican valores estadísticamente diferentes (Tuckey, $p \leq 0,05$).

Cuadro 2. Comportamiento de las variables fenológicas en cuatro factores de riego.

Riego	DFBT	DFH	DCT
25% ET _c	19,65	30,21	28,20
50% ET _c	19,58	31,50	28,16
75% ET _c	19,08	33,17	28,75
100% ET _c	18,91	32,00	27,33
Promedio	19,30	31,72	28,11
Desviación			
Estándar	0,36	1,23	0,59
CV (%)	1,84	3,86	2,08

DFBT: formación de brotes superficiales (días); DFH : formación de hojas (días) y DCT: crecimiento del tallo (días).

Nota: Letras diferentes en cada columna indican valores estadísticamente diferentes (Tuckey, $p \leq 0,05$)

Caso contrario reportó Rós *et al.* (2011) con diferencias en las características fenológicas en nueve clones de yuca. Este autor señala que el número de hojas está asociado al inicio de acumulación de almidón en raíces; esta etapa fenológica comienza aproximadamente cuando las plantas de yuca tienen por lo menos 21 hojas totalmente expandidas; de tal forma que los clones que producen hojas más rápidamente serán aquellos que comiencen más pronto la acumulación de almidón.

En esta investigación a pesar de ser genotipos con la capacidad de producir flores, en este trabajo no se observó el desarrollo floral. Esto se pudo deber, a que en general el inicio de la floración depende de que comience la inducción iniciación y diferenciación; esto depende de factores internos (hormonas y condición nutricional) y externo, como las condiciones ambientales. Asimismo, también se podría decir que en el caso de la yuca, esta se siembra a entradas de lluvias alcanzando la floración para el mes de diciembre, donde las condiciones de fotoperíodo son de días cortos y noches largas, lo que posiblemente sería las condiciones óptimas para la producción de flores. Sin embargo, esta etapa es de suma importancia solamente para los programas de mejoramiento genético, ya que esta especie se propaga comercialmente de forma asexual.

En este mismo orden de ideas, León *et al.* (2013) observaron a los tres meses que 7,92 % de los genotipos habían alcanzado floración mientras que con seis meses de edad el 61,39% de plantas presentaron floración.

Según Albuquerque *et al.* (2009), el tiempo de floración varía con el genotipo y las condiciones ambientales. Fukuda *et al.* (1999) afirman que la mayoría de las variedades de yuca tienen una asociación entre la floración y el hábito de ramificación, en el que las variedades con poca o ninguna ramificación apenas florecen.

Asimismo, no se pudo observar la madurez fisiológica de las plantas, ya que evaluaciones anteriores de estos genotipos, demostraron tener comportamiento tardío y la cosecha se realizó a los ocho meses de edad, debido a que las lluvias para ese mes (agosto) se concentraron en una semana, lo que comenzó a causar la pudrición de algunas raíces. A pesar de que la fenología está fuertemente influenciada por el genotipo, se hace necesario evaluaciones con mayor número de clones que permita observar el comportamiento prematuro y/o tardío de la aparición de la floración

Objetivo 2. Evaluar en cuatro clones de yuca el efecto del déficit por sequía en las variables fisiológicas: grado de verdor, tasa de fotosíntesis, conductancia estomática, transpiración y potencial hídrico xilemático.

Grado de verdor (spad).

Esta variable es de suma importancia, ya que es un método rápido y fácil de utilizar, permitiendo realizar muestreos más frecuentes. El fundamento del método se basa en las estrechas relaciones que existen entre las lecturas del medidor spad y el contenido de clorofila (Schepers *et al.*, 1992; Finnan, 1997; Grindlay, 1997 y Gandrup *et al.*, 2004).

Los clones mostraron solamente diferencias significativas al cuarto mes de evaluación, destacándose con los mayores valores los genotipos ‘Guajira-3’ y ‘Mven 77-3’ con 49,44 y 48,73 spad respectivamente (cuadro 3).

Cuadro 3. Comportamiento de la variable Grado de Verdor (spad) en cuatro clones de yuca.

Clones	GDV1	GDV2	GDV3
Guajira 3	49,44b	52,14	41,10
Mven 77-3	48,73ab	50,62	43,25
Concha			
Rosada	47,37b	51,11	40,60
Bolívar 32	45,65a	48,39	41,57
Promedio	47,80	50,57	41,63
Desviación			
Estandar	1,67	1,58	1,15
CV (%)	3,49	3,13	2,77

1: cuarto mes de evaluación; 2: sexto mes de evaluación; 3: octavo mes de evaluación y GDV: Grado de Verdor

Nota: Letras diferentes en cada columna indican valores estadísticamente diferentes (Tuckey, $p \leq 0,05$).

Para esta investigación no se observó diferencias significativas en la variable grado de verdor (spad) con el tipo de riego (cuadro 4). El mismo comportamiento

ocurrió con la interacción, donde no pudo diferenciarse ningún nivel del riego con los clones.

Cuadro 4. Comportamiento de la variable Grado de Verdor (spad) en cuatro factores de riego.

Riego	GDV1	GDV2	GDV3
25% ET _c	46,95	50,23	42,03
50% ET _c	48,46	50,41	43,18
75% ET _c	47,02	49,89	40,29
100% ET _c	48,21	51,08	41,45
Promedio	47,67	50,41	41,74
Desviación Estandar	0,78	0,50	1,20
CV (%)	1,64	0,99	2,88

1: cuarto mes de evaluación; 2: sexto mes de evaluación; 3: octavo mes de evaluación y GDV: Grado de Verdor

Nota: Letras diferentes en cada columna indican valores estadísticamente diferentes (Tuckey, $p \leq 0,05$).

Sin embargo, es importante destacar que esta variable disminuyó sus valores de spad al octavo mes de evaluación en comparación con las evaluaciones anteriores en todos los niveles de riego y de clones. Esto posiblemente ocurrió debido a que para la fecha de evaluación la precipitación fue excesiva (Figura 2), provocando en este caso una condición de estrés por hipoxia, disminuyendo así el grado de verdor en las hojas (Cuadros 3 y 4)

Caso similar, reporta Barbosa (2013) donde encontraron un menor valor spad para la estación seca en comparación con la temporada de lluvias; con una diferencia de aproximadamente 10 puntos de índice spad, durante la época de lluvia, con respecto a las mediciones realizadas en época seca. Caso similar ocurrió con los clones, en el que obtuvieron altas diferencias significativas y con valores que oscilaron entre 32,10 y 56,48. Este efecto, tanto en los clones como en la época de medición estuvo relacionado por las diferentes sensibilidades de los clones a factores de inducción de reposo fisiológico. Lo que se podría traducir en un mayor

contenido de clorofila y por ende mayores tasas de fotosíntesis y mejor productividad.

Por su parte, Simão *et al.* (2013) reportaron valores promedios en el contenido de clorofila en unidades spad en cuatro clones de yuca, medidos a los 10, 12 y 14 meses después de la siembra de 56,56 a 77,1; 47,98 a 74,32 y 42,96 a 75,84 spad respectivamente.

Los diferentes resultados que se observan en la medición de esta variable tal vez se deben a que la misma es afectada por numerosos factores como: genotipos, estados de crecimiento, nutrientes, enfermedades o ataques de insectos y, condiciones ambientales como humedad y temperatura (Schepers *et al.*, 1992); con lo que se demuestra que las respuestas de los individuos no es lineal al contrario es multifactorial con respuestas en ocasiones logarítmicas.

En este sentido, Biechler and Fock (1996) en su investigación encontraron contenidos de clorofila con diferencias importantes entre hojas jóvenes y maduras, y comportamiento similar entre los tratamientos de los clones de yuca estresados a condiciones de sequia y el testigo con valores de 617 y 676 mg.m⁻² de clorofila respectivamente.

De igual forma, Makus (1996) evaluó el contenido de clorofila y carotenoides en cuatro clones de yuca y observó correlación positiva con las lecturas de índice de verdor (spad) con valores de r² de 0,88 y 0,90 respectivamente. Asimismo, este autor reporta diferencias significativas entre los clones con valores que promediaron entre 28,8 y 47 (spad); y con valores de clorofila de 4,47 y 7,16 mg.m⁻² entre los distintos genotipos.

Adicionalmente, Lahai *et al.* (2003) encontraron que el rendimiento de raíces en cuatro cultivares de yuca y las concentraciones de los tres componentes de clorofila disminuyeron linealmente a medida que el agua estaba menos disponible. Asimismo, Haripriya y Byju (2008) encontraron que la hoja de yuca más joven completamente expandida tuvo correlación significativa y positiva con la

producción de tubérculos con el valor spad. Por lo tanto, la selección de cultivares de yuca que pueden mantener alto contenido de clorofila por falta de humedad puede conducir a un alto rendimiento en raíz.

Tasa de Fotosíntesis ($\mu\text{molCO}_2/\text{m}^2/\text{s}$).

La tendencia fue a disminuir las tasas de fotosíntesis en la medida que transcurría el ciclo fenológico del cultivo, siendo el más sensible el clon 'MVen 77-3', ya que éste en todos fue quien alcanzó las mayores disminuciones en esta variable. (cuadro 5 y Figura 5).

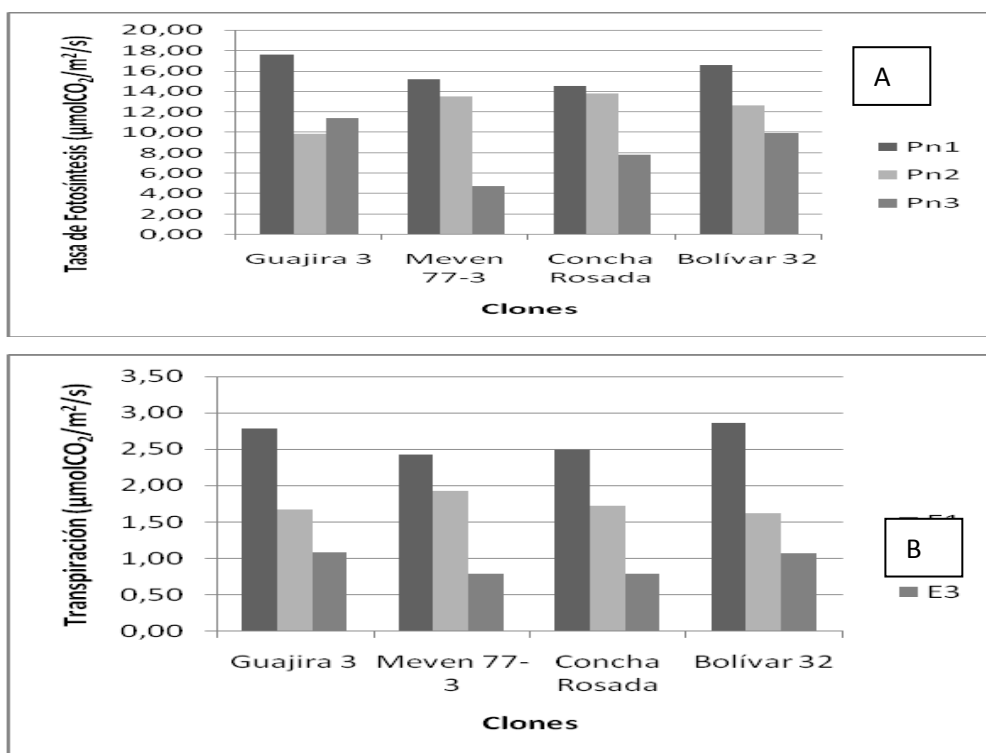


Figura 5. Relación entre la tasa de fotosíntesis (A) y la transpiración (B) en cuatro clones de yuca

Nota: Pn 1, 2 y 3 corresponden a las tasas de fotosíntesis al cuarto, sexto y octavo mes de medición respectivamente.

C 1, 2 y 3 corresponde a la conductancia estomatica al cuarto, sexto y octavo mes de medición respectivamente.

Cuadro 5. Comportamiento de la variable Tasa de Fotosíntesis ($\mu\text{molCO}_2/\text{m}^2.\text{s}$) en cuatro clones de yuca.

Clones	Pn1	Pn2	Pn3
Guajira 3	17,57	9,85	11,42
Mven 77-3	15,15	13,54	4,76
Concha			
Rosada	14,49	13,81	7,82
Bolívar 32	16,58	12,64	9,94
Promedio	15,95	12,47	8,49
Desviación			
Estándar	1,39	1,81	2,89
CV (%)	8,70	14,52	34,06

1: cuarto mes de evaluación; 2: sexto mes de evaluación; 3: octavo mes de evaluación y Pn: Tasa de fotosíntesis.

Nota: Letras diferentes en cada columna indican valores estadísticamente diferentes (Tuckey, $p \leq 0,05$).

Asimismo ocurrió con el factor riego, sin diferencias para esta variable al cuarto, sexto y octavo mes de medición respectivamente. Sin embargo, la tendencia durante todo el ciclo fue de mantener los valores más bajos el factor de riego de 25% Etc (riego que simuló el tratamiento de estrés) para el cuarto y sexto mes de evaluación y mientras que al octavo mes todos los tratamientos disminuyeron sus tasas, producto del cierre de los estomas provocados por el exceso de humedad (cuadro 6). Por su parte, la interacción no mostró diferencias significativas entre los clones y el riego.

De igual forma ocurrió con los clones, con valores similares entre genotipos (Cuadro 6). Sin embargo, hay que destacar que esta variable, tal vez, disminuyó al octavo mes en todos los factores, igual que el grado de verdor, posiblemente debido al exceso de humedad, provocando el cierre de los estomas y la disminución de esta variable por el estrés por inundación.

Cuadro 6. Comportamiento de la variable Tasa de Fotosíntesis ($\mu\text{molCO}_2/\text{m}^2.\text{s}$) en cuatro factores de riego.

Riego	Pn1	Pn2	Pn3
25% ET _c	13,06	8,39	8,16
50% ET _c	14,17	16,48	8,07
75% ET _c	15,97	11,06	8,72
100% ET _c	20,10	13,85	8,58
Promedio	15,83	12,45	8,39
Desviación Estándar	3,09	3,49	0,32
CV (%)	19,52	28,06	3,76

1: cuarto mes de evaluación; 2: sexto mes de evaluación; 3: octavo mes de evaluación y Pn: Tasa de fotosíntesis.

Nota: Letras diferentes en cada columna indican valores estadísticamente diferentes (Tuckey, $p \leq 0,05$).

Tasas de fotosíntesis similares indica El-Sharkawy (2012), encontrando en ambientes con períodos de precipitación estacional y con valores mayores a 900 mm/año¹ valores entre 25 a 31 $\mu\text{molCO}_2/\text{m}^2/\text{s}^1$ entre los cultivares; mientras que los ambientes semiáridos y con lluvias menores a 600 mm/año las tasas de fotosíntesis variaron de 7-20 $\mu\text{molCO}_2/\text{m}^2/\text{s}$ entre los clones evaluados

Resultados similares reporta León *et al.* (2014) en un trabajo desarrollado en el Campo Experimental del INIA-CENIAP, donde caracterizaron un ensayo sembrado a entradas de lluvias y riego complementario con cuatro clones de yuca, durante siete meses de evaluación, no observaron diferencias significativas para la variable fotosíntesis en los distintos clones evaluados, con valores que oscilaron entre 11,14-16,63 $\mu\text{molCO}_2/\text{m}^2/\text{s}$.

De igual forma, De Tafur *et al.* (1997) evaluaron 44 clones en dos zonas agroecológicas de Colombia (una zona semiárida (Riohacha) y otra con estación seca (Santo Tomas) y observaron valores de fotosíntesis de 0 hasta 11 $\mu\text{molesCO}_2/\text{m}^2/\text{s}^1$ en la zona semiárida y de 22-33 $\mu\text{molesCO}_2/\text{m}^2/\text{s}$ en la zona de Santo Tomas.

Por su parte, El-Sharkawy (2007) en una investigación evaluando aspectos fisiológicos en clones de yuca en condiciones de sequía, encontraron tasas de fotosíntesis que variaron de 20,6 a 26,2 $\mu\text{molesCO}_2/\text{m}^2/\text{s}$ con un promedio para todos los clones de 24 $\mu\text{molesCO}_2/\text{m}^2/\text{s}$ en el testigo y para los cultivares estresados de 16,2-22,3 $\mu\text{molesCO}_2/\text{m}^2/\text{s}$, con un promedio para todos los clones de 19 $\mu\text{molesCO}_2/\text{m}^2/\text{s}$; lo que pudiera indicar la reducción en esta variable producto del estrés por sequía.

El-Sharkawy y De Tafur (2007), en un estudio comparativo con variables fisiológicas entre clones, encontraron que las tasas de fotosíntesis en los cultivares de yuca, fueron más bajos en el período seco. Estos autores afirman que la diversidad en la capacidad fotosintética de la yuca puede estar relacionado al hábitat de origen de los cultivares. En ambientes secos las tasas de fotosíntesis oscilaron entre valores cercanos a cero hasta 20 $\mu\text{molesCO}_2/\text{m}^2/\text{s}$.

Conductancia estomática ($\mu\text{molCO}_2/\text{m}^2/\text{s}$)

Los clones mantuvieron valores similares para esta variable, como se muestra en el cuadro 7. Sin embargo, se pudo observar que la tendencia a disminuir durante el ciclo fue en mayor magnitud para los clones 'Concha Rosada' y 'Bolívar 32'; lo que parece indicar que son los genotipos que en el tiempo se ajustaron fisiológicamente para evitar las mayores pérdidas de agua, manteniendo tasas de conductancias similares. Así mismo, ocurrió al octavo mes, con una gran disminución para esta variable, producto del exceso de humedad, como se muestra en la Figura 2.

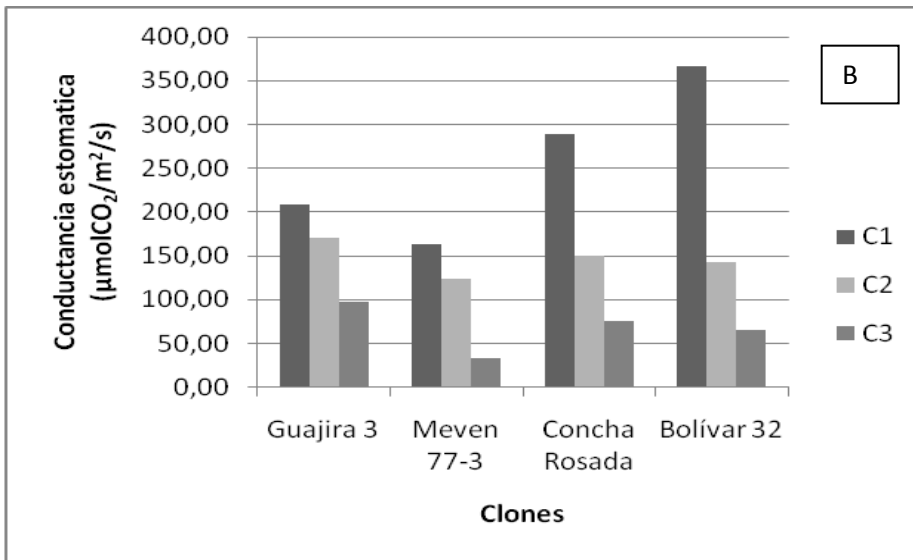
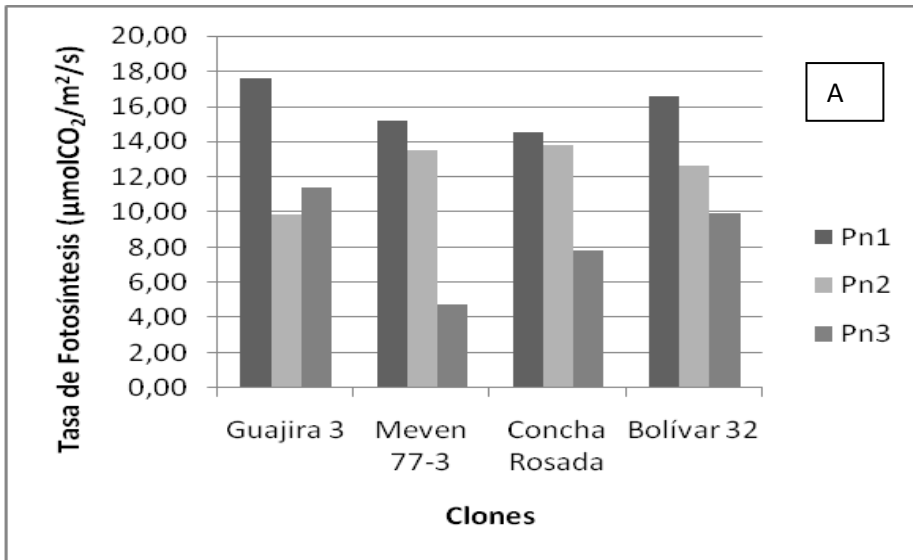


Figura 6. Relación entre las tasas de fotosíntesis (A) con la conductancia estomática (B) en cuatro clones de yuca

Nota: Pn 1, 2 y 3 corresponden a las tasas de fotosíntesis al cuarto, sexto y octavo mes de medición respectivamente.

C 1, 2 y 3 corresponde a la conductancia estomática al cuarto, sexto y octavo mes de medición respectivamente.

Cuadro 7. Comportamiento de la variable Conductancia Estomática ($\mu\text{molCO}_2/\text{m}^2.\text{s}$) en cuatro clones de yuca.

Clones	C1	C2	C3
Guajira 3	209,12	171,26	97,50
Mven 77-3	163,71	124,11	33,93
Concha			
Rosada	289,51	149,99	76,64
Bolívar 32	366,43	143,04	65,54
Promedio	257,20	147,11	68,41
Desviación			
Estándar	89,50	19,47	26,53
CV (%)	34,80	13,23	38,79

1: cuarto mes de evaluación; 2: sexto mes de evaluación; 3: octavo mes de evaluación y C: Conductancia Estomática.

Nota: Letras diferentes en cada columna indican valores estadísticamente diferentes (Tuckey, $p \leq 0,05$).

Igualmente ocurrió para el riego, observándose pocas diferencias entre los factores de riego. Sin embargo a pesar de que no hubo diferencias significativas para esta variable, biológicamente la tendencia fue que en las primeras fechas de evaluación el factor del 25% del Etc fue menor que el del 100% Etc; y luego entre el sexto y octavo mes, los riegos mostraron valores similares para esta variable, lo que pareciera indicar que el estrés en etapas fenológicas tempranas, el riego con el 100% de la dotación hídrica produce un efecto positivo para esta variable, manteniendo una mayor conductancia estomática y todo lo contrario para el de la menor dotación de agua (25% Etc), ya que para este nivel de riego las plantas cierran los estomas para evitar las pérdidas de agua. Sin embargo, hay que destacar que los mayores valores lo alcanzaron los riegos 100 y 50% Etc, éste último mantuvo siempre valores similares en casi todas las fechas de evaluación, lo que parece indicar que aparentemente con el 50% del Etc del cultivo es suficiente para mantener el equilibrio fisiológico (Cuadro 8). Es importante destacar que al octavo mes las plantas cerraron los estomas producto del exceso de humedad y causando una disminución en esta variable.

La conductancia estomática no presentó interacción positiva entre los tratamientos de riego y clones.

Cuadro 8. Comportamiento de la variable Conductancia Estomática ($\mu\text{molCO}_2/\text{m}^2.\text{s}$) en cuatro factores de riego.

Riego	C1	C2	C3
25% ET _c	250,68	99,09	42,64
50% ET _c	185,05	222,06	105,32
75% ET _c	164,20	120,41	47,58
100% ET _c	444,88	124,11	49,83
Promedio	261,21	141,42	61,35
Desviación Estándar	127,88	54,88	29,47
CV (%)	48,96	38,80	48,04

1: cuarto mes de evaluación; 2: sexto mes de evaluación; 3: octavo mes de evaluación y C: Conductancia Estomática.

Nota: Letras diferentes en cada columna indican valores estadísticamente diferentes (Tuckey, $p \leq 0,05$).

Esto lo explica Taiz y Zeiger (2006) ya que como la cutícula de las hojas es prácticamente impermeable al agua, la mayor parte de la transpiración de la hoja tiene lugar por difusión a través del poro estomático. Los poros estomáticos proporcionan una ruta de baja resistencia para la difusión de gases a través de la epidermis y de la cutícula. Es decir, los poros estomáticos reducen la resistencia difusional para la pérdida de agua después de la hoja. Los cambios en la resistencia estomática son importantes en la regulación de la pérdida de agua por la planta y en el control de la tasa de incorporación de dióxido de carbono para que su fijación se mantenga en la fotosíntesis.

Lo anteriormente expuesto se explica, debido a que las plantas de yuca frente al déficit hídrico en distintas fases fenológicas, disminuye su rendimiento de raíces y la calidad química de hojas y raíces, siendo los más sensibles los cuatro primeros meses (De Tafur, 2002; López y Ramírez, 2006; Ramos, 2007 y Tofiño *et al.*, 2008).

Por su parte, De Tafur *et al* (1997) reportó valores de conductancia estomática de 0,38 y 0,46 $\mu\text{mol de CO}_2/\text{m}^2.\text{s}$ en la estación seca y semiárida respectivamente, lo que indica que un mecanismo de la planta al déficit de agua es reducir su pérdida de agua por unidad de área.

Al mismo tiempo, León *et al.* (2014) en clones de yuca sembrados en el Campo Experimental del CENIAP, en condiciones de lluvia y con riego complementario observaron que la variable conductancia estomática (C), no mostraron diferencias significativas entre los clones estudiados ($p \leq 0,05$) durante todo el ciclo del cultivo; con valores que oscilaron de 94,63-138,4 ($\mu\text{molCO}_2/\text{m}^2/\text{s}$).

En estudios realizados en el Instituto Internacional de Agricultura Tropical (IITA) con 10 clones de yuca, la conductancia estomática incremento en los clones evaluados a los cuatro meses después que la precipitación comenzó a disminuir (Okogbenin *et al.*, 2013). Así mismo, El-Sharkawy (2012) encontró valores de conductancia estomática de 0.38 $\mu\text{molCO}_2/\text{m}^2/\text{s}$ en clones de yuca sembrado en un ambiente con estación seca marcada con más de 900 mm de precipitación anual y de 0,46 $\mu\text{molCO}_2/\text{m}^2/\text{s}$ en la zona semiárida con precipitaciones menores a los 600 mm de agua al año.

Sin embargo, Barbosa (2013) encontró valores desde 0,16 $\mu\text{molH}_2\text{O}/\text{m}^2/\text{s}$, durante el período seco a 0,32 $\mu\text{mol H}_2\text{O}/\text{m}^2/\text{s}$, en temporada de lluvias. El-Sharkawy *et al.* (1985) han puesto de manifiesto que la hoja de yuca cierra rápidamente los estomas bajo condiciones de sequía y, como consecuencia, las tasas fotosintéticas también se reducen debido a la entrada de la restricción de CO_2 en los estomas.

En este aspecto, De Tafur *et al* (1997) reportó valores de conductancia estomática de 0,38 y 0,46 $\mu\text{mol de agua m}^2/\text{s}$ en la estación seca y semiárida respectivamente, lo que indica que un mecanismo de la planta al déficit de agua es reducir su pérdida de agua por unidad de área.

Transpiración ($\mu\text{molH}_2\text{O}/\text{m}^2/\text{s}$)

Los clones se diferenciaron solamente al cuarto mes, destacándose con los mayores valores los clones 'Guajira 3' y 'Bolívar 32' (cuadro 9). Esto es sumamente importante, ya que para esta fecha de evaluación el clon 'Bolívar 32' tuvo las mismas tendencia para la variables fotosíntesis y conductancia estomática (mayores valores), como se muestra en los cuadros 6 y 7.

Cuadro 9. Comportamiento de la variable Transpiración ($\mu\text{molH}_2\text{O}/\text{m}^2/\text{s}$) en cuatro clones de yuca.

Clones	E1	E2	E3
Guajira 3	2,79ab	1,67	1,09
Mven 77-3	2,43a	1,93	0,79
Concha			
Rosada	2,49a	1,72	0,79
Bolívar 32	2,86b	1,62	1,08
Promedio	2,65	1,74	0,94
Desviación			
Estándar	0,22	0,13	0,17
CV (%)	8,13	7,67	17,61

1: cuarto mes de evaluación; 2: sexto mes de evaluación; 3: octavo mes de evaluación y E: Transpiración.

Letras diferentes en cada columna indican valores estadísticamente diferentes (Tuckey, $p \leq 0,05$).

Por su parte, los distintos niveles de riego mostro valores similares para todas las plantas (cuadro 10). Sin embargo, en esta investigación se pudo observar que aparentemente la tendencia fue que las plantas con la menor dotación de agua se ajustaron fisiológicamente para evitar las pérdidas de agua, manteniendo así niveles de transpiración bajos en todas las evaluaciones. De igual forma, se observó con la interacción riego con los clones, donde no hubo variaciones en el comportamiento de esta variable.

Cuadro 10. Comportamiento de la variable Transpiración ($\mu\text{molH}_2\text{O}/\text{m}^2/\text{s}$) en cuatro factores de riego.

Riego	E1	E2	E3
25% ET _c	2,37	1,67	0,81
50% ET _c	2,84	2,22	1,18
75% ET _c	2,40	1,51	0,94
100% ET _c	2,87	1,56	0,84
Promedio	2,62	1,74	0,94
Desviación Estándar	0,27	0,32	0,17
CV (%)	10,41	18,62	17,74

1: cuarto mes de evaluación; 2: sexto mes de evaluación; 3: octavo mes de evaluación y E: Transpiración.

Nota: Letras diferentes en cada columna indican valores estadísticamente diferentes (Tuckey, $p \leq 0,05$).

Para explicar lo anteriormente expuesto, Taiz y Zeiger (2006) indican que la efectividad de las plantas para moderar la pérdida de agua mientras se incorpora CO_2 para que la fotosíntesis pueda realizarse es valorada por esta variable (tasa de transpiración). Este valor se define como la cantidad de agua transpirada por la planta dividida por la cantidad de dióxido de carbono asimilado por la fotosíntesis. Este comportamiento se explica porque la planta incrementa la resistencia al flujo de agua en el trayecto entre el suelo y la atmósfera, reduciendo la conductancia estomática y por ende la capacidad de la planta de producir tasas de fotosíntesis importantes (De Tafur, 2002).

Contrario a esta investigación ocurrió con la transpiración, con valores de 1-3 $\text{mol H}_2\text{O}/\text{m}^2/\text{s}$ en ambientes sin estrés por sequía; mientras que en los ambientes semiáridos alcanzaron valores cercanos a cero hasta dos $\text{H}_2\text{O}/\text{m}^2/\text{s}$. (El-Sharkawy y De Tafur, 2007).

De igual manera, León *et al.* (2014) en clones de yuca sembrados a entradas de lluvia y con riego complementario, observaron que la variable transpiración no tuvo diferencias significativas entre los clones estudiados ($p \leq 0,05$), durante todo el ciclo del cultivo; con valores que oscilaron entre 1,27-1,61 ($\mu\text{mol H}_2\text{O}/\text{m}^2/\text{s}$).

En este sentido, Alves (2002), evaluó cinco variedades de yuca las cuales fueron cultivadas en umbráculos y sometidos a déficit hídrico y rehidratación durante el estadio de crecimiento vegetativo. El autor encontró reducción en la tasa de crecimiento y transpiración, en respuesta al déficit hídrico. En esta investigación se reportó una disminución en la transpiración con valores que promediaron en el testigo 150 ml agua.planta⁻¹.dia⁻¹ hasta valores de 50 ml agua/planta/dia en el tratamiento con estrés.

Potencial Hídrico Xilemático (Mpa)

Sin embargo, a pesar de lo expuesto anteriormente al octavo mes de medición hubo diferencias significativas entre los clones, donde los genotipos 'Guajira 3' y 'Mven 77-3' tuvieron los menores valores con -1,19 y -0,96, respectivamente (cuadro 11). Lo que pudiera indicar que estos clones se pudieron ajustar fisiológicamente para evitar las pérdidas de agua ó posiblemente fue una respuesta al exceso de agua en el que fueron sometidos los clones en esa fecha de evaluación.

Cuadro 11. Comportamiento de la variable Potencial Hídrico Xilemático (Mpa) en cuatro clones de yuca.

Clones	PH1	PH2	PH3
Guajira 3	-1,18	-1,37	-1,19a
Mven 77-3	-1,11	-1,3	-0,96a
Concha			
Rosada	-1,07	-1,25	-1,11ab
Bolívar 32	-1,03	-1,37	-1,39b
Promedio	1,10	-1,32	-1,25
Desviación			
Estándar	-0,66	-0,55	-1,91
CV (%)	5,97	4,17	16,96

1: cuarto mes de evaluación; 2: sexto mes de evaluación; 3: octavo mes de evaluación y PH: Potencial Hídrico Xilemático.

Nota: Letras diferentes en cada columna indican valores estadísticamente diferentes (Tuckey, p≤0,05).

Los riegos alcanzaron diferencias significativas al cuarto, sexto y octavo mes de evaluación respectivamente (cuadro 12).

Cuadro 12. Comportamiento de la variable Potencial Hídrico Xilemático (Mpa) en cuatro factores de riego.

Riego	PH1	PH2	PH3
25% ET _c	-0,99	-1,20	-1,14
50% ET _c	-1,12	-1,33	-1,01
75% ET _c	-1,18	-1,34	-1,12
100% ET _c	-1,08	-1,40	-1,23
Promedio	-1,09	-1,32	1,12
Desviación Estándar	-0,80	-0,83	-0,90
CV (%)	7,32	6,24	7,98

1: cuarto mes de evaluación; 2: sexto mes de evaluación; 3: octavo mes de evaluación y PH: Potencial Hídrico Xilemático.

Nota: Letras diferentes en cada columna indican valores estadísticamente diferentes (Tuckey, $p \leq 0,05$).

El potencial hídrico de las hojas en este experimento fue similar en todos los tratamientos de las interacciones del riego con los clones.

En este sentido, Taiz y Zeiger (2006) señalan que el potencial hídrico impulsa el transporte a través de las membranas celulares. El déficit de agua provoca la inhibición del crecimiento vegetal y la fotosíntesis, entre otros efectos perjudiciales. El proceso que se ve más afectado por el déficit hídrico es el crecimiento celular. Un estrés hídrico grave conduce a la inhibición de la división celular, la inhibición de la pared y de proteínas, la acumulación de solutos, el cierre de los estomas y la inhibición de la fotosíntesis. El potencial hídrico es una medida de lo hidratada que está una planta y proporciona un índice relativo del estrés hídrico experimentado por la planta. Las plantas cuando están bien regadas expresan potenciales hídricos de 0 a -1; cuando tienen estrés suave los valores varían de -1 a -2 y las plantas de clima desértico los potenciales se encuentran por encima de -2 Mpa. En este sentido, todos los tratamientos mostraron un comportamiento de plantas sometidas estrés hídrico suave.

El-Sharkawy *et al.* (1992) explica que el potencial de las hojas en la yuca sufre poca variación con el estrés hídrico con valores que oscilan entre -1,3 Mpa hasta -0,4 Mpa. La capacidad de la yuca para mantener su potencial hídrico, se debe al cierre de los estomas y por ende, a una considerable reducción de la conductancia estomática, lo cual impide la pérdida de agua.

En este mismo orden de ideas, El-Sharkawy (2007) reportó en su experimento niveles de potencial de agua en las hojas más bajos y así reducir la pérdida de agua a través de la transpiración. El potencial de agua en las hojas fue de -1,13 hasta -1,12 Mpa para el testigo y las plantas estresadas respectivamente.

De igual forma, El-Sharkawy (1993) reportó valores de potencial foliar en hojas con -1,6 Mpa, lo que indica que el cultivo de la yuca conserva agua y previene la deshidratación extrema en las hojas.

En resumen, este comportamiento en el potencial de las hojas es debido a las características morfológicas relacionadas con los estomas, la densidad y el patrón de distribución en la superficie superior e inferior de la hoja que pueden afectar el grado de sensibilidad de los estomas como resultado de la humedad relativa (El-Sharkawy *et al.*, 1985). Independientemente del estado de humedad del suelo, los estomas de la planta de yuca se cierran en parte por la baja humedad, prácticamente sin cambios en el potencial hídrico foliar (El-Sharkawy, 2003 y 2004), mediante el aumento de la concentración de ácido abscísico (ABA) en respuesta al aumento del vapor de agua (El-Sharkawy *et al.*, 1985). La planta de yuca también sintetizan y acumulan ABA rápidamente en respuesta a la fase inicial de déficit de agua, influyendo en la sensibilidad de los estomas (Alves y Setter, 2004). Este mecanismo en la deshidratación severa protege la hoja, logrando también que la hoja permanezca fotosintéticamente activa (El-Sharkawy, 2003 y 2004).

Objetivo 3: Evaluar en cuatro clones de yuca el efecto del déficit por sequía en las variables agronómicas: área foliar, número de hojas, altura de planta, altura de primera ramificación, rendimiento en raíces, biomasa fresca aérea y materia seca aérea y de raíces.

Área Foliar (cm²)

Los clones estudiados mostraron diferencias significativas al cuarto, sexto y octavo mes de evaluación, siendo el clon 'Mven 77-3' el que presentó el menor valor al sexto y octavo mes de medición y con las mayores tasas de crecimiento en esta variable el clon 'Bolívar 32' (Cuadro 13) y provocando así las mayores pérdidas de agua (mayor transpiración y conductancia estomática) (Figura 4 y 5), esto debido a que tenía la mayor área de superficie foliar expuesta.

Cuadro 13. Comportamiento de la variable Área Foliar (cm²) en cuatro clones de yuca.

Clones	AF1	AF2	AF3
Guajira 3	199,38a	174,31ab	166,82b
Mven 77-3	213,19a	143,51a	100,86a
Concha			
Rosada	223,59ab	172,87ab	162,02ab
Bolívar 32	247,70b	205,42b	172,38b
Promedio	220,97	174,03	150,52
Desviación			
Estándar	20,40	25,29	33,38
CV (%)	9,23	14,53	22,17

1: cuarto mes de evaluación; 2: sexto mes de evaluación; 3: octavo mes de evaluación y AF: Área Foliar.

Letras diferentes en cada columna indican valores estadísticamente diferentes (Tuckey, p≤0,05).

En esta investigación, el área foliar no varió significativamente entre los tratamientos de riego y de la interacción del riego con el clon (cuadro 14).

Cuadro 14. Comportamiento de la variable Área Foliar (cm²) en cuatro factores de riego.

Riego	AF1	AF2	AF3
25% ET _c	221,80	184,15	150,63
50% ET _c	214,39	148,69	168,76
75% ET _c	227,54	178,69	137,29
100% ET _c	226,39	187,09	148,48
Promedio	222,53	174,66	151,29
Desviación Estándar	5,97	17,65	13,03
CV (%)	2,68	10,11	8,61

1: cuarto mes de evaluación; 2: sexto mes de evaluación; 3: octavo mes de evaluación y AF: Área Foliar.

Letras diferentes en cada columna indican valores estadísticamente diferentes (Tuckey, $p \leq 0,05$). Sin embargo, esta variable disminuyó para todas las plantas en el transcurso de la fenología del cultivo, característico de la especie, ya que a partir del sexto mes, los fotoasimilados los usará para la producción de raíces y en menor grado para el crecimiento vegetativo. Esta disminución fue mucho mayor para el octavo mes, aunque en este caso pareciera que se debió más al exceso de humedad en el suelo (Montaldo, 1996).

Este comportamiento posiblemente se debe a que la expansión foliar depende sobre todo de la expansión celular, los principios que rigen los dos procesos son similares. La disminución de superficie foliar reduce la transpiración y ahorra el agua en la planta. En este sentido, la disminución de la expansión foliar no necesariamente es debida a una pérdida de turgencia de las células foliares, ya que a menudo hay una disminución de la expansión sin pérdida de turgencia. La reducción es debida, a una pérdida de extensibilidad (aumento de la rigidez) de la pared, en respuesta a señales químicas que vienen de las raíces en contacto con el suelo (Ledent, 2002).

Asimismo, Alves (2002) observó que 15 días después de provocar el estrés hídrico, las plantas de yuca disminuyeron el área foliar de 200 cm² hasta aproximadamente 80 cm².

Contrario a esta investigación, Nesreen *et al.* (2013) señala que el área foliar disminuyó en el tratamiento al que se le suministro la menor demanda hídrica del cultivo de yuca (25% de la capacidad de campo del suelo).

Por su parte, León *et al.* (2014) en lo que respecta a la variable área foliar observó diferencias significativas para los clones, destacándose los clones 'CM-6740-7' y 'Concha Rosada', con valores de 261 cm² al cuarto mes y de 61 cm² al octavo mes de evaluación. Al mismo tiempo, León *et al.* (2013) reportaron en promedio para la variable área foliar a los tres meses 209,39 cm² en más de 100 genotipos de yuca evaluados en el Banco de Germoplasma de FAGRO-UCV. Lo que indica que los efectos de los genotipos y del ambiente son de suma importancia en esta variable.

Número de hojas

En esta investigación el número de hojas estuvo fuertemente influenciado por el factor clon, donde 'Guajira 3' fue quien alcanzó los mayores valores al sexto mes de evaluación, y junto con los clones 'Meven 77-3' y 'Bolívar 32' al octavo mes; teniendo el peor comportamiento en esta última medición el clon 'Concha Rosada', con apenas 94 hojas (cuadro 15); lo que pareciera indicar que para esta fecha este genotipo fue el más sensible pero al exceso de humedad, producto de la inundación que se produjo para la fecha.

Cuadro 15. Comportamiento de la variable Número de Hojas en cuatro clones de yuca.

Clones	NDH1	NDH2	NDH3
Guajira 3	140,5	300,25b	238,83
Mven 77-3	139,91	226,19a	205,28
Concha Rosada	144,72	216,33a	94,27
Bolívar 32	109,05	232,77a	207,08
Promedio	133,55	243,89	186,37
Desviación Estándar	16,47	38,18	63,30
CV (%)	12,33	15,65	33,96

1: cuarto mes de evaluación; 2: sexto mes de evaluación; 3: octavo mes de evaluación y NH: Número de Hojas.

Letras diferentes en cada columna indican valores estadísticamente diferentes (Tuckey, $p \leq 0,05$).

Para esta variable, no se observaron diferencias significativas, ni para el riego ni para las interacciones. A pesar de ello, se puede resaltar que la tendencia fue de mantener los mayores valores en el factor de riego al que se le aplicó el 100% Etc (riego con la mayor dotación hídrica) (cuadro 16). Asimismo, es de denotar que la tendencia en el tiempo (hasta el sexto mes aproximadamente) fue de producir más hojas, aunque de menor tamaño (comportamiento propio de esta especie) (Montaldo, 1996). No obstante, a pesar de que al finalizar el ciclo del cultivo, la abscisión de las hojas es un proceso natural en estas plantas; al octavo mes de medición ocurrió la mayor disminución profunda en esta variable, comportamiento que se atañe más al exceso de humedad que al ciclo fenológico, ya que estos cultivares son tardíos, comportamiento que se ha observado en varias generaciones en el Campo Experimental del CENIAP.

Cuadro 16. Comportamiento de la variable Número de Hojas en cuatro factores de riego.

Riego	NDH1	NDH2	NDH3
25% ET _c	124,39	230,05	158,94
50% ET _c	122,11	215,30	194,99
75% ET _c	126,36	239,19	177,64
100% ET _c	154,47	265,41	200,94
Promedio	131,84	237,49	183,13
Desviación			
Estándar	15,19	21,06	18,91
CV (%)	11,52	8,87	10,33

1: cuarto mes de evaluación; 2: sexto mes de evaluación; 3: octavo mes de evaluación y NH: Número de hojas.

Letras diferentes en cada columna indican valores estadísticamente diferentes (Tuckey, $p \leq 0,05$).

Contrario a esta investigación, Nesreen *et al.* (2013) señalan que el número de las hojas disminuyó en el tratamiento al que se le suministró la menor demanda hídrica del cultivo de yuca (25% de la capacidad de campo del suelo). Esta

reducción se atribuyó a la disminución y culminación de la producción de nuevas hojas, así como a la abscisión foliar bajo condiciones de sequía. Resultados similares reportaron Vandegeer *et al.* (2013) en el que observaron a los 28 días después de la siembra 1,5 hojas para el tratamiento bajo condiciones de estrés por agua y de ocho hojas para el tratamiento en el que los clones de yuca fueron regados homogéneamente.

Durante un período de sequía prolongado, el cultivo produce menos hojas y éstas son más pequeñas y aumenta la retención de las hojas ya expandidas. La reducción del área foliar durante la sequía puede considerarse como un mecanismo de la planta para disminuir la pérdida de agua por la transpiración. Sin embargo, cuando la sequía es muy prolongada la disminución del área foliar también reduce la tasa de crecimiento del cultivo, siendo más pronunciada en la parte aérea y por ende el rendimiento de raíces. Cuando la sequía termina la planta comienza a recuperarse con rapidez y produce nuevas hojas a expensas del almidón de las raíces y tallos. Si la planta sufre estrés por exceso ó por déficit, las hojas pueden entrar en senescencia y caer. Esta abscisión es debida a un aumento de la síntesis y de la sensibilidad al etileno (Ledent, 2002).

El comportamiento de estas variables en el factor clon fue distinto a lo reportado por León *et al.* (2014), en el que no hubo diferencias significativas para el número de hojas entres los clones, con valores que oscilaron entre 181 y 305 hojas. Contrario con este aspecto, Suárez y Mederos (2011) indican que el número total de hojas producidas por la planta y su longevidad son características varietales, profundamente influidas por las condiciones ambientales.

Sin embargo, Calatayud *et al.* (2000) demostraron que la ocurrencia simultánea de las bajas temperaturas y restricción en la disponibilidad de agua durante la época de lluvia, modifica el patrón de la vida útil de la hoja, lo que aumenta el

proceso de senescencia, abscisión y restricción en la expansión de la lámina de la hoja en el cultivo de la yuca. Por su parte, Rós *et al.* (2011) reportaron diferencias significativas entre clones con valores que oscilaron entre 6 hasta 360 hojas para los 80 y 360 días después de la siembra.

Altura de Planta y Primera Ramificación (cm)

En cuanto al factor clon, esta variable mostró diferencias significativas durante las tres fechas de evaluación presentando los mayores valores, los clones ‘Guajira 3’ y ‘Bolívar 32’ y el de menor valor ‘Meven 77-3’ (cuadro 17).

En este mismo sentido, la altura de la primera ramificación no se había expresado al cuarto mes de medición, por lo que no se reportan valores para esta fecha.

Cuadro 17. Comportamiento de las variables Altura de Planta y Primera Ramificación (cm) en cuatro clones de yuca.

Clones	AP1	AP2	AP3	APR2	APR2	APR3
Guajira 3	153,39c	249,02c	286,25c	-	132,08b	-
Mven 77-3	101,16a	173,05a	204,44a	-	131,94b	-
Concha						
Rosada	121,36b	200,83b	242,83b	-	52,78a	-
Bolívar 32	140,22c	236,94c	289,16c	-	183,03c	-
Promedio	129,04	214,96	255,67		124,96	131,42
Desviación						
Estándar	22,76	34,64	40,19		53,80	49,06
CV (%)	17,64	16,11	15,72		43,05	37,33

1: cuarto mes de evaluación; 2: sexto mes de evaluación; 3: octavo mes de evaluación; AP: Altura de Planta y APR: Altura de Primera Ramificación.

Letras diferentes en cada columna indican valores estadísticamente diferentes (Tuckey, $p \leq 0,05$).

Sin embargo, se observó diferencias significativas para los clones al sexto y octavo mes de evaluación, siendo el clon ‘Bolívar 32’ el que presento los valores más altos 183,03 y 197.54 cm respectivamente (cuadro 18). Esta variable no se diferenció significativamente ni para la interacción ni para el

factor riego, lo que indica que esta variable no es tan sensible frente a condiciones de sequía.

En el factor riego se observaron diferencias significativas al cuarto y sexto mes de medición, donde la tendencia a tener los portes más altos fue el factor al que se le aplicó el 100% de la Etc, debido a que éste fue el riego con la mayor dotación hídrica, provocando un mejor comportamiento para la parte aérea (cuadro 18). No obstante, al octavo mes de evaluación, el exceso de humedad en la fecha pudo haber afectado la condición diferencial del riego y por consiguiente la expresión de algunas variables agronómicas. Mientras que para la interacción no hubo diferencias significativas.

Cuadro 18. Comportamiento de las variables Altura de Planta y Primera Ramificación (cm) en cuatro factores de riego.

Riego	AP1	AP2	AP3	APR1	APR2	APR3
25% ETc	119,05ab	210,72ab	249,79	-	148,84	152,97
50% ETc	116,25a	199,16a	245,00	-	158,05	147,50
75% ETc	126,80ab	213,74ab	245,97	-	144,03	146,11
100% ETc	146,05b	227,91b	273,88	-	123,61	139,67
Promedio	127,04	212,89	253,66		143,64	146,57
Desviación Estándar	13,44	11,83	13,64		14,56	5,46
CV (%)	10,58	5,55	5,38		10,14	3,73

1: cuarto mes de evaluación; 2: sexto mes de evaluación; 3: octavo mes de evaluación; AP:Altura de Planta y APR: Altura de Primera Ramificación.

Letras diferentes en cada columna indican valores estadísticamente diferentes (Tuckey, $p \leq 0,05$).

Estos caracteres son de suma importancia para el manejo agronómico, prefiriéndose plantas con portes intermedios a altos, con valores para la altura de planta y de primera ramificación por encima de 150 y 100 cm respectivamente (Montaldo, 1996).

Montaldo (1972), agrupa la escala para las alturas de las plantas en: bajos (menores a 150 cm), intermedios (150 a 250 cm) y altos (más de 250 cm). La

altura de la primera ramificación la clasifica en: bajos (hasta 50 cm), intermedio (50 a 100 cm) y alto (más de 100 cm).

Esto concuerda con lo señalado por Caraballo y Velásquez (1997) en el que la altura de planta con 600 mm de agua disponible alcanzó 165 cm en promedio y disminuyó el valor en esta variable en un 35% cuando la lámina de agua fue de 154 mm; lo que indica que esta variable se ve afectada por las condiciones de sequía.

En este sentido, los clones según la clasificación son entre portes intermedios y altos para ambas variables.

Asimismo, León *et al.* (2014) reportaron para la altura de planta diferencias significativas para los distintos clones, con valores entre 217-262 cm, sobresaliendo la variedad 'PER 183'; sin embargo, no hubo diferencias entre las interacciones de los clones con el tiempo de evaluación.

Caso contrario reportaron Marín *et al.*, (2008) y León *et al.*, (2013) en el banco de germoplasma de yuca del INIA-CENIAP con introducciones del CIAT-Colombia y de FAGRO-UCV respectivamente, observándose portes de bajos a intermedios en ambas colecciones en dos fechas de evaluación.

Barbosa (2013) señaló en su investigación, que el 55 % de los clones fueron de porte bajo. Esta característica es importante para definir la competencia potencial con plantas y con las malas hierbas; entre tanto, la altura de la primera ramificación estuvieron por debajo de los 50 cm, característica no deseable para los agricultores, ya que se dificulta las labores de manejo agronómico; siendo está muy influenciada por el ambiente. En este mismo sentido, Rós *et al.* (2011) encontraron en su investigación valores de altura de plantas que alcanzaron hasta 280 cm a los 320 días después de la siembra. Mientras que para la altura de la primera ramificación los clones fueron de

portes bajos a los 80 dds, momento en el que comenzaron a ramificar la mayoría de los materiales.

Contrariamente, Albuquerque *et al.* (2009) no reportó en su investigación diferencias importantes entre los clones y entre las fechas de medición para la variable altura de planta con promedios de 143 cm a los siete meses de edad del cultivo y de 208 cm a los 13 meses.

Rendimiento (Número de raíces totales, número de raíces comerciales, peso de raíces totales (g) y peso de raíces comerciales (g)).

Las plantas estuvieron afectadas por los excesos de humedad en la fecha de la cosecha, causando la pudrición de algunas raíces. Adicionalmente, se tuvo que anticipar la cosecha, ya que se tenía previsto hacerlo a los 10 meses, lo que posiblemente causó los bajos rendimientos en las plantas, ya que no se había expresado el máximo potencial de rendimiento, debido a que los genotipos en evaluaciones preliminares han tenido un comportamiento tardío. Asimismo, los tratamientos con una buena dotación hídrica provocaron que los asimilados se desviarán principalmente para la parte aérea, causando que las plantas tuvieran pocas raíces. En este sentido, el efecto de los factores de riego que causaron estrés también disminuyeron las raíces en las plantas. Finalmente, muchas raíces con valores de cero afectaron la prueba de normalidad, por lo que se procedió a transformar los datos a escala, y posteriormente se realizó una prueba no paramétrica (Kruskall-Wallis), con un nivel de significancia de 0.05.

Por lo expuesto anteriormente, el rendimiento no mostró diferencias significativas para los clones, riego y la interacción con el riego y los clones.

Sin embargo, la tendencia fue para el número de raíces totales valores por debajo a seis raíces y con un peso promedio que osciló entre 921 y 1385 g/planta. Por su parte, las raíces comerciales estuvieron entre 0-2 raíces

comerciales, con un peso entre 435 y 794 g/planta, respectivamente (cuadro 19 y 20). A pesar de ello, el rendimiento estuvo dentro del promedio nacional, ya que este no supera las 12,612 t/ha, lo que indica que en una densidad de siembra de 10.000 planta/Ha, esta se encuentran alrededor de 1260 g/planta.

Cuadro 19. Comportamiento de las variables Número de Raíces Totales, Comerciales, Peso de Raíces Totales y Comerciales (g) en cuatro clones de yuca.

Clones	NRT	NRC	PRT	PRC
Guajira 3	(4-6)	(1-2)	(921-1385)	(435-794)
Mven 77-3	(4-6)	(1-2)	(921-1385)	(435-794)
Concha Rosada	(4-6)	(1-2)	(921-1385)	(435-794)
Bolívar 32	(4-6)	(1-2)	(921-1385)	(435-794)

NTR: Número de Raíces Totales, NRC: Número de Raíces Comerciales, PRT: Peso de Raíces Totales y PRC: Peso de Raíces Comerciales

Cuadro 20. Comportamiento de las variables Número de Raíces Totales, Comerciales, Peso de Raíces Totales y Comerciales (g) en cuatro factores de riego.

Riego	NRT	NRC	PRT	PRC
25% ETc	(4-6)	(1-2)	(921-1385)	(435-794)
50% ETc	(4-6)	(1-2)	(921-1385)	(435-794)
75% ETc	(4-6)	(1-2)	(921-1385)	(435-794)
100% ETc	(4-6)	(1-2)	(921-1385)	(435-794)

NTR: Número de Raíces Totales, NRC: Número de Raíces Comerciales, PRT: Peso de Raíces Totales y PRC: Peso de Raíces Comerciales

A pesar de lo expuesto anteriormente, Olansanmi (2010) estudió el llenado temprano de raíces en las Sabanas de Guinea, localidad cuya estación seca está bien marcada, el objetivo fue evaluar el llenado temprano de raíces como criterio para identificar genotipos superiores frente a condiciones de estrés por sequía. En este sentido, el rendimiento a los siete meses después de la siembra estuvo entre 10 t/ha hasta 21.2 t/ha en las localidades donde había los mayores escases de agua. Estos autores encontraron que los materiales con los mejores rendimientos

a los siete meses alcanzaron buen rendimiento a los 12 meses; lo que indica que la evaluación temprana es un buen criterio de selección en condiciones de sequía.

El-Sharkawy *et al.* (1993), encontró que el rendimiento de las plantas de yuca que sufren estrés no presenta diferencias significativas con respecto al de aquellas que fueron estresadas por sequía. En este sentido, la variedad 'M-Col 1684' produjo rendimientos de 14 t/ha; mientras que el tratamiento bajo condiciones de sequía alcanzó 13 t/ha, producto del efecto negativo provocado por la sequía, disminuyendo una tonelada de raíces frescas por hectárea.

Caraballo y Velasquez (1997) trabajando con tres clones y tres condiciones hídricas; diferenciadas principalmente por la cantidad de agua disponible durante el período de mayor exigencia hídrica del cultivo, comprendido desde el cuarto hasta el séptimo mes aplicaron: 602 mm; 324 mm y 156 mm respectivamente. Las raíces alcanzaron en promedio 2900 g/planta cuando el cultivo recibió al menos 324 mm de agua entre el cuarto y séptimo mes después de la siembra; mientras que cuando la disponibilidad de agua fue de 156 mm, el peso de las raíces alcanzó 1800 g/planta (Caraballo *et al.*, 2000).

De igual forma, Caraballo y Velasquez (1997) reportó un rendimiento promedio de las raíces frescas de 30 t/ha con riego complementario, con un incremento en un 50% en comparación con el testigo. Asimismo con aplicaciones de riego en los períodos de déficits de agua, la yuca alcanzó un buen desarrollo vegetativo. Este resultado genera perspectivas promisorias en la producción de semilla de yuca de alta calidad en futuros programas de certificación. La reducción en el crecimiento del cultivo fue más pronunciada en el tallo que en las raíces; particularmente en variedades con crecimiento vigoroso. Los resultados mostraron una disminución de 37% en el rendimiento de raíces frescas con una reducción del 22% en las zonas con las mayores limitaciones de agua.

El rendimiento de raíces de yuca fue similar en la investigación de Barbosa en el (2013) con valores de 532-1756 g/planta. Caso contrario reporta Rós en el (2011)

con diferencias importantes entre los clones para la variables número y peso total de raíces, con valores de 6-9 raíces.planta⁻¹ y de 3600-4100 g/planta.

Albuquerque *et al.* (2009) reportaron en su investigación diferencias entre los clones y entre las fechas de medición con valores entre los clones de 15,22 a 44.12 t/ha en condiciones de riego complementario. Asimismo observaron que los promedios para el rendimiento de raíces frescas fue de 23,15 t/ha a los siete meses después de la siembra y de 33,38 a los 13 meses después de la siembra.

A pesar de lo expuesto anteriormente, el rendimiento en las plantas de yuca para esta investigación no se vio afectadas por ningún factor de riego ni de clon, ya que se cosecharon de forma temprana.

Biomasa Fresca Aérea (g)

Los clones si lograron diferenciarse con un promedio de 4775 g/planta para la variedad 'Bolívar 32' y de 4716.67 g/planta para 'Guajira 3' (cuadro 21); genotipos cuya tendencia fue durante casi todo el ciclo de un buen comportamiento fotosintético, una mayor expansión del área foliar y una mayor longevidad de las hojas durante la fenología del cultivo; lo que provoco un buen comportamiento en esta variable.

Cuadro 21. Comportamiento de la variable Biomasa Fresca Aérea (g) en cuatro clones de yuca.

Clones	BFA
Guajira 3	4716,66b
Mven 77-3	2866,66a
Concha	
Rosada	3158,33ab
Bolívar 32	4775,00b
Promedio	3879,17
Desviación	
Estándar	1008,08
CV (%)	25,99

BFA: Biomasa Fresca Aérea.

Letras diferentes en cada columna indican valores estadísticamente diferentes (Tuckey, $p \leq 0,05$).

La biomasa aérea fresca no varió significativamente para los tratamientos de riego y su interacción con los clones. Sin embargo, biológicamente se puede observar que el 100% Etc fue quien indujo el mayor incremento para esta variable (cuadro 22).

Cuadro 22. Comportamiento de la variable Biomasa Fresca Aérea (g) en cuatro factores de riego.

Riego	BFA
25% ET _c	3517,70
50% ET _c	3612,50
75% ET _c	3566,66
100% ET _c	4633,33
Promedio	3832,55
Desviación Estándar	535,26
CV (%)	13,97

BFA: Biomasa Fresca Aérea.

Letras diferentes en cada columna indican valores estadísticamente diferentes (Tuckey, $p \leq 0,05$).

La calidad en términos de peso fresco aéreo es diferencial entre cultivares, ya que para la investigación de Ros *et al.*, 2011 el peso aéreo fue diferente entre los cultivares con promedios de 1.5 a 4.6 kg/planta.

Lo contrario a los factores de riego ocurrió en la investigación de Nesreen *et al.* (2013), donde el estrés del agua redujo el peso de la planta comparado con el testigo con riego; y hubo diferencias significativas entre los tratamientos de riego (25%, 50% y 100% la capacidad de campo del suelo). La reducción en el peso de la planta estuvo asociado a la disminución en el crecimiento celular y a la senescencia foliar bajo condiciones de estrés (Bhatt y Srinivasa, 2005). El resultado de esta disminución se la atribuye a la reducción del área foliar como estrategia de la planta para evitar las pérdidas de agua en las hojas; a causa de la reducción en el área fotosintéticamente activa (Kacperska y Kubacka, 1989).

Materia Seca Aérea y en Raíces (%).

De igual forma ocurrió con la materia seca de raíz para la interacción y para el factor del riego, excepto para los clones donde hubo diferencias significativas entre los genotipos, destacándose las variedades 'Bolívar 32', 'Concha Rosada' y 'Guajira 3', esto posiblemente se debió a que estos materiales fueron los que sobresalieron en la biomasa fresca aérea, logrando una relación vástago raíz adecuada y provocando así estas ganancias para esta variable. Caso contrario ocurrió con el clon 'Mven 77-3' con el peor comportamiento para esta variable, ya que los fotoasimilados no pudieron traslocarse en mayor magnitud en las raíces, lo que pareciera indicar que fue el clon que fisiológicamente se vio más afectado, ya que éste tuvo el porte más bajo, menor peso fresco aéreo, menor área foliar y menor conductancia estomática (cuadro 23).

Cuadro 23. Comportamiento de las variables Materia Seca Aérea y de Raíz (%) en cuatro clones de yuca.

Clones	MAS	MSR
Guajira 3	47,59	42,03ab
Mven 77-3	47,77	34,52a
Concha Rosada	45,69	44,07ab
Bolívar 32	46,07	46,79b
Promedio	46,78	41,86
Desviación Estándar	1,06	5,26
CV (%)	2,26	12,58

MSA: Materia Seca Aérea y MSR: Materia Seca de Raíz.

Nota: Letras diferentes en cada columna indican valores estadísticamente diferentes (Tuckey, $p \leq 0,05$).

En lo que respecta a esta investigación, la materia seca aérea en los tratamientos de la interacción, factores de clones y riego, no variaron significativamente, con un promedio de 46 % de materia seca para todos los factores (cuadro 24).

Cuadro 24. Comportamiento de las variables Materia Seca Aérea y de Raíz (%) en cuatro factores de riego.

Riego	MAS	MSR
25% ET _c	45,06	38,38
50% ET _c	43,17	43,06
75% ET _c	47,80	48,09
100% ET _c	50,42	38,43
Promedio	46,62	41,99
Desviación		
Estandar	3,17	4,62
CV (%)	6,80	11,00

MSA: Materia Seca Aérea y MSR: Materia Seca de Raíz.

Letras diferentes en cada columna indican valores estadísticamente diferentes (Tuckey, $p \leq 0,05$).

Al respecto, Okogbenin *et al.* (2013) señalan que durante los tres primeros meses, el cultivo acumula más materia seca en las hojas que en los tallos y que en las raíces respectivamente. Después del tercer mes acumula más en las raíces que en el resto de la planta. A pesar de ello cuando el cultivo es sometido a estrés por sequía entre el tercer y quinto mes (período de iniciación y llenado de raíces) comienza una disminución en el rendimiento alcanzando pérdidas de hasta 60% en estas variables.

Resultados similares reportó Rodríguez *et al.* (2009) al momento de la cosecha, donde el mayor porcentaje de materia seca se presentó en las raíces reservantes con un valor promedio de 53,2%, seguido por tallos con 32,35% y 10,76% en la lámina foliar, el menor porcentaje se observó en los pecíolos con 3,67% de materia seca.

Este fenómeno lo explica Olansanmi (2010) en su investigación donde los genotipos que sobresalieron frente a condiciones de sequía fueron aquellos que mantuvieron un desarrollo robusto en las raíces durante la fase en el que se sometieron a la sequía; mientras que los clones con el peor comportamiento mostraron un mejor desarrollo de otros órganos en ventaja con respecto al de las

raíces. El cultivar 'M col 2215' sobresalió por su tolerancia a la sequía alcanzando en climas secos % de materia seca mayores al 40%; tuvo una mejor retención de hojas, altas tasas de fotosíntesis y elevadas tasas de PEP-Carboxilasa (El-Sharkawy *et al.*, 2012). Sin embargo, Barbosa (2013) observó una correlación positiva y significativa entre la altura de la planta de yuca con el diámetro del dosel, diámetro de la raíz y del tallo, peso aéreo de las plantas y peso seco de raíz, lo que indica que los aumentos en las partes vegetativas tienen efecto significativo sobre la producción de materia seca de yuca.

Caso similar demuestra El-Sharkawy (2007), donde clones de yuca sin estrés de agua tuvieron valores de biomasa seca entre 23 y 38 t/ha y con un contenido de materia seca de 32-39 %. Mientras que las plantas estresadas por sequía tuvieron una biomasa total de 18-28 t/ha, 14-19 t/ha para las raíces secas y de 30-38 % de materia seca. Estos datos demuestran claramente que el estrés no alcanzó grandes diferencias para estas variables en los clones evaluados; lo que evidencia que el cultivo tiene grandes habilidades para tolerar el estrés prolongado en las etapas tempranas.

Lo opuesto ocurrió en la investigación de El-Sharkawy y Cadavid (2002), desarrollada durante dos años de evaluación bajo tres condiciones de estrés: temprano (2-6 meses después de la siembra sin agua); medio (6-8 meses después de la siembra sin agua) y tardío (6-12 meses después de la siembra sin agua). En este trabajo, encontraron que para el testigo la biomasa seca total, biomasa seca de raíces y biomasa seca de tallo (t/ha) estuvieron entre 18,9, 12,9 y 6,0 respectivamente, mientras que en el estrés temprano fue de 14,5, 11,9 y 3,3 t/ha respectivamente; en lo que respecta al estrés medio se alcanzó valores de 18, 12,9 y 5,9 t/ha para las tres variables medidas y en el estrés tardío los valores fueron 16,9, 11,7 y 5,2 t/ha. Lo que demuestra que los primeros meses para esta especie son las fases fenológicas más sensibles a la sequía.

Muchos clones han sido seleccionados con alto potencial de rendimiento, tolerancia a la sequía, bajo contenido de ácido cianhídrico y tolerancia a plagas y a enfermedades, con rendimientos mayores a 12 t/ha y contenido de materia seca por encima del 25% (El-Sharkawy *et al.*, 2012).

El porcentaje de materia seca de las raíces obtenida a los 12 meses después de la siembra estuvo entre 39,3% y 44,0% (Rós *et al.*, 2011). Valores más altos que los reportados por Vidigal (2000) quien realizó la cosecha a los 10 meses después de la emergencia. Esto puede estar relacionado a lo reportado por Peressin *et al.* (1998), en el que sugiere que en este cultivo hay una creciente acumulación de materia seca en las raíces de yuca hasta la cosecha.

La biomasa seca y fresca disminuyeron significativamente en condiciones de sequía; cuando los clones de yuca recibieron el 50% de agua de la capacidad de campo del suelo (Nesreen *et al.*, 2013). El resultado de esta disminución los autores se la atribuyen a la reducción del área foliar como estrategia de la planta para evitar las pérdidas de agua en las hojas; a causa de la reducción en el área fotosintéticamente activa (Kacperska y Kubacka, 1989).

Objetivo 4. Evaluar en cuatro clones de yuca el efecto del déficit por sequía en las variables asociadas a la calidad de las raíces: contenido de humedad, ceniza, fibra cruda, azúcares totales invertidos y almidón.

Contenido de Azúcar Total Invertido y Almidón en raíces (%)

Así mismo ocurrió con los clones, éstos se diferenciaron significativamente, los clones ‘Mven 77-3’ y ‘Concha Rosada’ alcanzaron los mayores valores para ambas variables, haciendo un uso eficiente de los fotosintetizados, mientras que la variedad ‘Bolívar 32’ tuvo el peor comportamiento en el contenido de los parámetros evaluados (cuadro 25). El clon ‘Bolívar 32’ utilizó más eficientemente sus asimilados hacia la parte aérea, ya que éste tuvo los portes más altos, incrementos en el área foliar y la mayor biomasa fresca aérea, disminuyendo así el contenido del almidón y el azúcar total invertido en las raíces. Mientras que todo lo contrario ocurrió con los clones ‘Mven 77-3’ y ‘Concha Rosada’, haciendo un uso eficiente de los fotosintetizados para mantener una ganancia en la calidad de raíces.

Cuadro 25. Comportamiento del contenido de Azúcar Total Invertido y Almidón (%) en cuatro clones de yuca.

Clones	ATI	A
Guajira 3	75,37b	66,74b
Mven 77-3	76,38c	67,57c
Concha Rosada	77,1c	68,17c
Bolívar 32	71,95a	63,63 ^a
Promedio	75,20	66,53
Desviación Estándar	2,28	2,02
CV (%)	3,03	3,03

ATI: Azúcar Total Invertido y A: Almidón.

Letras diferentes en cada columna indican valores estadísticamente diferentes (Tuckey, $p \leq 0,05$).

En este mismo sentido, el riego se diferenci6 significativamente y el nivel de riego que logr6 los mayores aumentos en ambas variables fue el riego de la menor dotaci6n h6drica (25% Etc); mientras que el 100% Etc provoc6 el peor comportamiento en las mismas variables (cuadro 26). Este 6ltimo nivel de riego fue el que logr6 inducir los portes m6s altos en las plantas y con la tendencia de tener los mayores pesos a6reos, lo que se tradujo en una relaci6n positiva de los asimilados hacia la parte a6rea en vez de traslocarse hacia las ra6ces, provocando esta menor respuesta en los par6metros evaluados. Caso contrario ocurri6 con la menor dotaci6n h6drica (25% Etc) provocando una relaci6n v6stago-ra6z, con ganancias en los az6cares totales invertidos y almid6n mayor en las ra6ces.

Cuadro 26. Comportamiento del contenido de Az6car Total Invertido y Almid6n (%) en cuatro factores de riego.

Riego	ATI	A
25% ETc	77,42c	68,37c
50% ETc	74,98b	66,32b
75% ETc	75,28b	66,63b
100% ETc	73,12a	64,78a
Promedio	75,20	66,53
Desviaci6n Est6ndar	1,76	1,47
CV (%)	2,34	2,21

ATI: Az6car Total Invertido y A: Almid6n.

Letras diferentes en cada columna indican valores estad6sticamente diferentes (Tuckey, $p \leq 0,05$).

En esta investigaci6n se observaron diferencias significativas entre las interacciones, con los mayores valores para el contenido de az6car total invertido y de almid6n, los tratamientos 75% Etc con el clon 'Concha Rosada'; 25% Etc con el clon 'Concha Rosada'; 25% Etc con 'Meven 77-3' y 50% Etc con el clon 'Guajira 3' mientras que el tratamiento con el menor valor fue 100% Etc con el genotipo 'B6livar 32' (cuadro 27 y 28).

Cuadro 27. Comportamiento del contenido de Azúcar Total Invertido y Almidón (%) en cuatro factores de riego y cuatro clones de yuca.

	25% ETc	50% ETc	75% ETc	100% ETc
Guajira 3	75,93def	77,57fgh	73,63bc	74,33bcd
Mven 77-3	78,27ghi	75,73cdef	74,67bcde	76,83efgh
Concha Rosada	78,8hi	73,6bc	79,9i	76,1defg
Bolívar 32	76,67efgh	73,03b	72,9b	65,2a

Letras diferentes en cada columna indican valores estadísticamente diferentes (Tuckey, $p \leq 0,05$).

Cuadro 28. Comportamiento del contenido de Almidón (%) en cuatro factores de riego y cuatro clones de yuca.

	25% ETc	50% ETc	75% ETc	100% ETc
Guajira 3	67,03def	68,64fg	65,24bcd	66,04bcde
Mven 77-3	69,25fg	67cdef	66,05bcde	67,99efg
Concha Rosada	69,41gh	65,06bc	70,73h	67,47efg
Bolívar 32	67,8efg	64,6b	64,48b	57,63a

Letras diferentes en cada columna indican valores estadísticamente diferentes (Tuckey, $p \leq 0,05$).

Sin embargo, es importante mencionar que las plantas fueron cosechadas a los ocho meses de edad, afectando la medida en la calidad química de las raíces, ya que las condiciones climáticas durante el desarrollo del cultivo y el período de cosecha puede afectar la calidad de las raíces de yuca. Es por ello, que los valores que se reportaron en el contenido de almidón y azúcar total invertido en base seca son más bajos que los que indican Rojas (2012) y Ceballos (2002) con contenidos que están por encima del 90 % de carbohidratos (azúcares totales y almidón).

Sobre este aspecto, Lorenzi (1994) indica que la influencia de estos factores siguen los procesos fisiológicos de crecimiento, acumulación y la movilización de sustancias en las raíces de almacenamiento, estos adicionalmente pueden influir en la composición de las raíces de yuca y calidad de la pasta cocida.

En este mismo orden de ideas, Rojas (2012) señala que la industria prefiere mayores contenidos de almidón pero caso contrario en azúcares totales invertidos, debido a que la presencia de éstos, se relaciona con el grado de oscurecimiento no enzimático desarrollado en la fritura, por tanto, altos contenidos de azúcares favorecerán coloraciones más castañas lo que puede causar un rechazo del producto por parte del consumidor. Por lo que se puede decir que para la industria los clones que alcanzaron los mayores valores para el azúcar total invertido podría causar una disminución en la calidad de las raíces para este parámetro.

Al respecto, Hasbun (2009) indica que el contenido de materia seca en la yuca es una de las características más importantes para el procesamiento industrial, ya que los contenidos altos son sinónimo de alto rendimiento para los procesos industriales que involucren deshidratación como yuca frita o chips en este caso. El contenido de materia seca de la raíz fluctúa entre el 30 y 40%, aunque ocasionalmente se observan casos que exceden este rango de variación. La materia seca del parénquima está constituida en su mayor parte (90% a 95%) por la fracción no nitrogenada, es decir, por carbohidratos tales como almidón y azúcares, el resto corresponde a fibra (1% a 2%), grasa (0,5% a 1,0%), cenizas o minerales (1,5% a 2,5%) y proteína alrededor del 2% (Ceballos, 2002).

Existen diferentes factores que pueden incidir sobre la calidad química de la yuca como la variedad, la edad de la planta, los efectos ambientales, ataque de plagas y enfermedades, la distribución de la precipitación, temperatura, deficiencias del suelo, fertilización del suelo y rotación del lote, densidad de siembra y cultivos asociados, entre otros (Wheatley, 1991a).

La sequía reduce los niveles de nutrientes por las raíces y su transporte en el tallo a las raíces a causa de la reducción en las tasas de transpiración, así como el

daño en el transporte activo y en la permeabilidad de las membranas (Nesreen *et al.*, 2013). La translocación en el floema no es afectada sino bastante más tarde en el caso del estrés hídrico, y cuando otros procesos, tales como la fotosíntesis han sido ya fuertemente inhibidos. Esta sensibilidad de la traslocación permite a las plantas movilizar y utilizar reservas incluso cuando el estrés hídrico es severo (Ledent, 2002).

Por su parte, Mengue (2004) obtuvo poca variación en los niveles de materia seca en las raíces del cultivar de yuca evaluado a los 12 meses y a los 15 meses después de la siembra, con 33,1% y 34,9% respectivamente. La composición química de las raíces cambió significativamente durante el período estudiado para las variables contenido de almidón, reducción de hidratos de carbono y fibra total. La primera cosecha, a los 12 meses de edad, tuvo lugar en la fase fisiológica de crecimiento del cultivo, momento en el que la planta necesitó más energía para completar su primer ciclo de desarrollo. Mientras que las plantas que se cosecharon a los 15 meses, momento en el que la especie está en su período de reposo, y es cuando tienden a acumular un mayor contenido de almidón en las raíces. Esto implica la acumulación de almidón más bajo en las raíces y justifica un mayor contenido de carbohidratos reductores presentes.

El ambiente interacciona con la base genética de la planta para determinar la calidad de la raíz. A pesar de tratarse de un cultivo de propagación vegetativa, en la yuca se observa gran variación entre plantas de un mismo clon sembradas en un mismo lote y cosechadas en un tiempo dado, en cuanto a su rendimiento en el campo y calidad (Wheatley, 1991b). Las fertilizaciones en suelos fértiles podrían provocar un crecimiento excesivo de la parte aérea de la planta y perjudicar la calidad de las raíces (Balagopalan *et al.*, 1998). Otras variables como la alta densidad de siembra y el estrés de agua conllevan a un menor contenido de almidón. El efecto del estrés sobre la calidad que se observa con frecuencia es el fenómeno llamado "vidriosidad"; en este caso, la raíz fresca se ve aguada y con poco almidón, y al cocinarla se torna dura y vidriosa o traslúcida. (Aristizábal *et al.*, 2007)

Caso similar obtuvo Nesreen *et al.* (2013), en el que el contenido de almidón incrementó en las raíces de yuca con valores mayores a los 15 mg/g en el tratamiento al que se le aplicó el 50% del agua de la capacidad de campo del suelo. Las plantas después de sobrevivir períodos de sequía, se recuperan rápidamente, formando nuevas hojas; y esta energía es obtenida del almidón de reserva que tiene la planta; es por ello que el efecto neto se ve en el contenido y calidad del almidón.

Según Barragan *et al.* (2000), los valores de materia seca superiores al 34% presentan buen rendimiento de producción. Al mismo tiempo, Rojas (2012) observó que los genotipos evaluados resultaron ser aptos para el procesamiento. En este trabajo hubo diferencias significativas con las edades y variedades, con valores que alcanzaron de 39-47%.

El contenido de materia seca, está relacionada principalmente con el porcentaje de almidón alto, debido a esta relación existente, en consecuencia, el rendimiento de producción, también depende de este contenido. El almidón es el segundo componente más abundante en la yuca y representa la mayor parte de los carbohidratos (96%), es por tanto el principal componente de la materia seca de la raíz (Rojas, 2012). El contenido de almidón al igual que la materia seca en las raíces de yuca, presentan un aumento a medida que transcurre la edad, con valores que varían de 90-93% en base seca (Rojas, 2012).

Resultados similares reportó Ferreira *et al.* (2003) en el que encontraron valores de 87.44-91.04% en el contenido de carbohidratos en raíces de yuca.

La variación de azúcares reductores no fue significativa comparando las variedades en cada una de las edades estudiadas (0,39-0,75%). Sin embargo, este investigador pudo observar un ascenso en el contenido de azúcares reductores a medida que aumenta la edad, además se presentan valores superiores en la variedad 'MCol 2066' (Rojas, 2012).

Contenido de Humedad, Ceniza y Fibra Cruda (%)

Los clones mostraron diferencias significativas para estas variables. Los clones 'Mven 77-3' y 'Concha Rosada' alcanzaron los mayores valores de humedad. Esto fue debido a que estos genotipos tendieron a conservar agua en la planta con las menores tasas de transpiración al cuarto mes de evaluación, así como de conductancia estomática. Mientras que lo contrario ocurrió con el clon 'Guajira 3' (cuadro 29).

En lo que respecta al contenido de ceniza, ésta fue mayor para 'Guajira 3', 'Mven 77-3' y 'Concha Rosada' y el menor valor para 'Bolívar 32'. Por su parte, el mayor contenido de fibra cruda fue para los genotipos 'Guajira 3' y 'Bolívar 32'; este último genotipo es amargo (alto contenido de ácido cianhídrico), por lo que su uso es principalmente para la industria del casabe, lo que implica que para este caso esta característica es de poca importancia en este clon, ya que no se usa para el consumo fresco; mientras que el clon 'Concha Rosada' es usado comercialmente para tales fines, por lo que tuvo el menor valor en fibra cruda, alrededor del 2,5 % de fibra cruda (Rojas, 2012 y Ceballos, 2002), lo que se traduce en raíces con texturas más suaves (cuadro 29).

Cuadro 29. Comportamiento del contenido de Humedad, Ceniza y Fibra Cruda (%) en cuatro clones de yuca.

Clones	H	C	FC
Guajira 3	9,87a	1,86b	4,11c
Mven 77-3	10,46c	1,92b	3,27b
Concha Rosada	10,53c	1,93b	2,73a
Bolívar 32	10,19b	1,66 ^a	3,9c
Promedio	10,26	1,84	3,50
Desviación Estándar	0,30	0,13	0,63
CV (%)	2,92	6,81	17,89

H: Humedad, C: Ceniza y FC: Fibra Cruda.

Letras diferentes en cada columna indican valores estadísticamente diferentes (Tuckey, $p \leq 0,05$).

En este mismo orden de ideas, los tipos de riego variaron significativamente para todas las variables, la dotación hídrica de 75% Etc mantuvo niveles de humedad adecuados en el suelo, lo que se tradujo en la respuesta positiva para este parámetro, comportamiento contrario ocurrió con el 50% Etc (cuadro 30).

Por su parte, el 25% ETc mostró los mayores valores de cenizas y fibra cruda, producto de que fue el nivel de riego que simuló la condición de estrés hídrico, provocando deterioro en la textura de las raíces para el consumo fresco. Mientras que los mejores niveles para cenizas (menor a 2,5 %) y fibra cruda (alrededor del 2 %) fue el 75% y 50% Etc respectivamente (cuadro 30).

Cuadro 30. Comportamiento del contenido de Humedad, Ceniza y Fibra Cruda (%) en cuatro factores de riego.

Riego	H	C	FC
25% ETc	10,52c	2,03c	4,26d
50% ETc	9,49a	1,79b	2,74 ^a
75% ETc	10,91d	1,66 ^a	3,16b
100% ETc	10,12b	1,89b	3,85c
Promedio	10,26	1,84	3,50
Desviación Estándar	0,35	0,16	0,68
CV (%)	3,38	8,49	19,46

H: Humedad, C: Ceniza y FC: Fibra Cruda.

Letras diferentes en cada columna indican valores estadísticamente diferentes (Tuckey, $p \leq 0,05$).

Para estas variables se observaron diferencias significativas entre las interacciones. En lo que respecta a la humedad, ésta fue mayor en el 75% del ETc con el clon 'Mven 77-3', 'Concha Rosada' y 'Bolívar 32', producto de que la adecuada humedad en el suelo de este factor de riego, logró producir un incremento de este parámetro en la mayoría de los clones. Lo contrario ocurrió con el 50% del Etc con la variedad 'Guajira 3' (cuadro 31).

Por su parte, el contenido de ceniza fue mayor para el 50% del Etc con el clon 'Mven 77-3' y menor para la dotación hídrica del 50% Etc con 'Bolívar 32' (cuadro

32). Sin embargo, el contenido de ceniza fue óptimo para la mayoría de los tratamientos con valores que oscilaron entre 1 y 2,5 % (Rojas, 2012). Mientras que el tratamiento con el mayor contenido de fibra cruda fue 100% Etc con 'Bolívar 32' y 25% Etc con 'Guajira 3'; este último tratamiento disminuyó el valor de fibra cruda a partir del 50% Etc, lo que indica que la textura para este clon es sensible a las condiciones de estrés. El menor valor lo tuvo el tratamiento 50% Etc con 'Mven 77-3' y para todos los tratamientos de riego con el clon 'Concha Rosada', debido a que este último genotipo es utilizado para el consumo fresco, por lo que cualquier tratamiento de riego que se le aplique no influirá negativamente en la calidad de la textura (cuadro 33).

Caso similar se reportó en la investigación de Rojas (2012) y Ceballos (2002), en el que las plantas en general alcanzaron valores altos, ya que estos en general no deberían superar el 2 % de fibra cruda (Rojas, 2012 y Ceballos, 2002).

Cuadro 31. Comportamiento del contenido de Humedad (%) en cuatro factores de riego y cuatro clones de yuca.

	25% ETC	50% ETC	75% ETC	100% ETC
Guajira 3	10,43cde	9,27a	9,32ab	10,45cde
Mven 77-3	10,92ef	9,63b	11,39f	9,87bc
Concha Rosada	10,51de	9,53ab	11,46f	10,62de
Bolívar 32	10,24cd	9,55ab	11,44f	9,53ab

Letras diferentes en cada columna indican valores estadísticamente diferentes (Tuckey, $p \leq 0,05$).

Cuadro 32. Comportamiento del contenido de Ceniza (%) en cuatro factores de riego y cuatro clones de yuca.

	25% ETc	50% ETc	75% ETc	100% ETc
Guajira 3	2,06def	1,67abc	1,63abc	2,06def
Mven 77-3	2,1ef	2,28f	1,53ab	1,75bcd
Concha				
Rosada	2,06def	1,83bcde	1,97cdef	1,87bcde
Bolívar 32	1,9cde	1,36a	1,53ab	1,86bcde

Letras diferentes en cada columna indican valores estadísticamente diferentes (Tuckey, $p \leq 0,05$).

Cuadro 33. Comportamiento del contenido de Fibra Cruda (%) en cuatro factores de riego y cuatro clones de yuca.

	25% ETc	50% ETc	75% ETc	100% ETc
Guajira 3	7,44e	2,98ab	3,05abc	2,95ab
Mven 77-3	4,09d	2,33a	3,78cd	2,87ab
Concha				
Rosada	2,76ab	2,71ab	2,67ab	2,79ab
Bolívar 32	2,75ab	2,93ab	3,12bc	6,8e

Letras diferentes en cada columna indican valores estadísticamente diferentes (Tuckey, $p \leq 0,05$).

Al respecto, Álvarez (2003) señala que la variable humedad es de suma importancia, ya que existe una relación aparente entre el contenido de sólidos totales o materia seca y el contenido de grasa remanente en los productos fritos, donde a mayor contenido de humedad mayor es el porcentaje de grasa debido al reemplazo del agua por aceite; mientras que el contenido de fibra se suele correlacionar con la textura (dureza) del producto, altos contenidos de fibra favorecen mayor dureza en el producto frito, o que los hará inaceptables; es por este motivo que se prefieren valores bajos (Hasbun 2009).

Asimismo, Sinclair *et al.* (2000) encontraron que los más altos niveles de nitrógeno en las hojas se lograron al producir un incremento en las tasas de fotosíntesis, retardando así la senescencia. Bajo condiciones de riego cuando el potencial de

agua es alto, la absorción y transporte de agua y nutrientes es más alto. En este sentido, el contenido de proteína disminuyó en el tallo en el tratamiento al que se le aplicó el 50% de la demanda hídrica del cultivo; mientras que incrementó para el contenido de proteínas en las raíces.

En cuanto a los niveles de fibras solubles e insolubles Mengue (2004) encontró 3,5% (fibra soluble) y 5,1% (fibra insoluble). Aunque los rendimientos de fibra soluble e insoluble en las edades de raíz estudiada no mostraron diferencias significativas, la suma de la misma (Fibra dietética) aumento significativamente con la edad de las plantas, probablemente debido a la mayor tiempo de las raíces en el suelo. En consecuencia, se observó cambio en la textura y aumento en el tiempo de cocción de las raíces. Del mismo modo, Pereira y Beléia (2004) observaron una disminución en el contenido de fibra cruda de las raíces en la medida que transcurría la edad de las plantas de yuca, de 7 meses a 19 meses respectivamente.

Resultados similares observaron en raíces de yuca Pereira y Beléia (2004), donde el porcentaje de cenizas fue de 0.8% para los dos años de edad de evaluación. Para las raíces de las plantas después de los 7 y 19 meses de edad, estos autores encontraron que las concentraciones fueron de 2,3% y 1,9%, respectivamente.

La variación de fibra cruda es significativa (1,84-2,52%) al comparar las dos variedades de yuca estudiadas con respecto a las edades de 11 y 12 meses respectivamente ($p \leq 0,01$) (Rojas, 2012).

Finalmente, como se muestra en las figuras 34 y 35 las plantas de yuca de los clones 'Guajira 3', 'Meven 77-3' y los riegos 50 y 100% Etc, tuvieron la tendencia de cerrar parcialmente los estomas para evitar la pérdida de agua por transpiración, pero manteniendo tasas de fotosíntesis altas, lo que provoco el mejor comportamiento agronómico para dichos tratamientos pero en detrimento de la calidad de las raíces.

Cuadro 34 . Resumen de las variables agronómicas, fisiológicas y de calidad de raíces en cuatro clones de yuca.

Clones	Pn1	Pn2	Pn3	AF1	AF2	AF3	NDH2	AP1	AP2	AP3	BFA	MSR	ATI	A	C	FC
Guajira																
3	17,57	9,85	11,42	199,38a	174,31ab	166,82b	300,25b	153,39c	249,02c	286,25c	4716,66b	42,03ab	75,37b	66,74b	1,86b	4,11c
Mven																
77-3	15,15	13,54	4,76	213,19a	143,51a	100,86a	226,19a	101,16a	173,05a	204,44 ^a	2866,66a	34,52a	76,38c	67,57c	1,92b	3,27b
Concha																
Rosada	14,49	13,81	7,82	223,59ab	172,87ab	162,02ab	216,33a	121,36b	200,83b	242,83b	3158,33ab	44,07ab	77,1c	68,17c	1,93b	2,73a
Bolívar																
32	16,58	12,64	9,94	247,70b	205,42b	172,38b	232,77a	140,22c	236,94c	289,16c	4775,00b	46,79b	71,95a	63,63a	1,66a	3,9c

Cuadro 35 . Resumen de las variables agronómicas, fisiológicas y de calidad de raíces en cuatro tratamientos de riegos en clones de yuca.

Riego	Pn1	Pn2	Pn3	AP1	AP2	AP3	BFA	MSR	ATI	A	H	C	FC
25% ETc	13,06	8,39	8,16	119,05ab	210,72ab	249,79	3517,7	38,38	77,42c	68,37c	10,52c	2,03c	4,26d
50% ETc	14,17	16,48	8,07	116,25a	199,16a	245	3612,5	43,06	74,98b	66,32b	9,49a	1,79b	2,74a
75% ETc	15,97	11,06	8,72	126,80ab	213,74ab	245,97	3566,66	48,09	75,28b	66,63b	10,91d	1,66a	3,16b
100% ETc	20,1	13,85	8,58	146,05b	227,91b	273,88	4633,33	38,43	73,12a	64,78a	10,12b	1,89b	3,85c

Letras diferentes en cada columna indican valores estadísticamente diferentes (Tuckey, $p \leq 0,05$).

Pn: Fotosíntesis; AF: Área Foliar; NDH: Número de hojas; AP: Altura de planta; BFA: Biomasa Fresca Aérea; MSR: Materia Seca de Raíz; ATI: Azúcar Total; A: Almidón; C: Ceniza y FC: Fibra Cruda.

Conclusiones

La fenología del cultivo de la yuca no tuvo cambios a lo largo del ciclo del cultivo para los distintos clones, riegos e interacciones.

Las plantas de yuca cerraron parcialmente los estomas evitando la pérdida de agua por transpiración y permitiendo el intercambio de CO₂ para la fotosíntesis; sobresaliendo fisiológicamente los clones 'Guajira 3' y 'Bolívar 32' y los riegos 50 y 100% Etc.

El comportamiento sobresaliente en las variables fisiológicas provocó que los clones de yuca 'Guajira 3' y 'Bolívar 32' y los riegos 50 y 100% Etc, tuvieran el mejor desempeño agronómico para las variables altura de planta y biomasa aérea y de raíz.

Los asimilados de las plantas se desviaron eficientemente para la raíz en los clones 'Meven 77-3' y 'Concha Rosada' y el riego 100% Etc, alcanzando éstos la mayor cantidad de azúcares, almidones y ceniza en las raíces. Caso contrario ocurrió en la relación vástago-raíz para los clones 'Guajira 3' y 'Bolívar 32' y el riego 100% Etc, viéndose favorecida más la parte aérea.

Por último, la sequía afecta el contenido de fibra cruda en mayor medida al clon 'Guajira 3'; mientras que el genotipo 'Concha Rosada' mantiene contenidos bajos de fibra en cualquiera de los riegos.

Recomendaciones

Ajustar las láminas de riego con implementos de medición de potencial hídrico del suelo o contenido de humedad para determinar en forma más precisa las necesidades de riego para el cultivo.

Ajustar las densidades de siembra a este tipo de riego para que el cultivo pueda expresar mejor su desarrollo en cuanto a humedad del suelo se refiere, ya que con riegos excesivos los clones tienen crecimiento excesivo, provocando sombreadamiento.

Realizar pruebas de cocción en los distintos genotipos para identificar materiales para el consumo fresco.

Aplicar tratamiento de estrés en las fases más tempranas del cultivo, ya que éstas son las más sensibles.

En próximos ensayos evaluar un mayor número de genotipos y agregar un testigo que sea sensible a condiciones de estrés por sequía.

Anexos

Anexo 1. Análisis mecánico y químico de suelo en el lote G3 del Campo Experimental del INIA-CENIAP.

UNIDAD DE SERVICIO DE ANÁLISIS DE SUELO-AGUA-PLANTA CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS (CENIAP) INIA ARAGUA

INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO

N° Informe:	IRE-AR1-SUE-14- 0031	Fecha recibida:	06/03/2014
Propietario o remitente:	Rommel Leon	Dirección:	Palo Negro
Nombre de la Finca:	Campo Experimental Ceniap	Municipio:	Caracas
Cultivo:	- / -	Estado:	Aragua

DATOS DE MUESTRAS

CÓDIGO DE ITEM	14-AR1-SUE-00079				
LOTE/N° MUESTRA	Muestra Única				
PROFUNDIDAD (cm)	0-20				

ANÁLISIS CON FINES DE FERTILIDAD

ANÁLISIS MECÁNICO					
ARENA % (SGCL-IA-603)	36				
ARCILLA % (SGCL-IA-603)	12				
LIMO % (SGCL-IA-603)	52				
TEXTURA	FL				
ANÁLISIS QUÍMICO					
PÓSFORO mg/Kg (SGCL-IA-001)	57				
POTASIO mg/Kg (SGCL-IA-005)	111				
CALCIO mg/Kg (SGCL-IA-007)	600				
MAGNESIO mg/Kg (SGCL-IA-008)	21				
MATER.ORG %	2,76				
pH 1:2,5 Suelo-Agua (SGCL-IA-002)	6,10				
C.E. 1:6 dS/m a 25°C (SGCL-IA-006)	0,13				

FECHA DE REALIZACIÓN DE ENSAYOS: INICIO: 10/03/2014 FINAL: 09/04/2014

NOMBRE / CARGO: Miguel Esteban JEFE DE LABORATORIO FIRMA/FECHA: [Firma] 16/04/14

"Los resultados solo se refieren únicamente a los ítems ensayados".
(Ver nota explicativa al reverso)

"EL LABORATORIO NO SE HACE RESPONSABLE POR LA TOMA DE MUESTRA, QUEDA PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL DEL PRESENTE INFORME SIN AUTORIZACIÓN DEL LABORATORIO EMISOR. LOS CÁLCULOS DE LA INCERTIDUMBRE ESTÁN APROBADOS EN EL LABORATORIO."

Pag. 1 de 1

El Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, es un instituto autónomo, adscrito al Ministerio del Poder Popular para la Agricultura y Tierras, dedicado a la investigación agrícola de carácter tecnológico, asesoramiento y prestación de servicios especializados. Dirección: **El Estero del Encino**, Av. Universidad, Esquina El Charo, Torre MC1, piso 06, La Hoyada, Caracas, Venezuela. Telf: 06-2121 961 3842 / 66-89 03 89 95 42. Fax: 06-2121 964 09 32. Sitio: www.inia.gov.ve Av. Universidad, vía al Lirón, Maracay, Estado Aragua, Carrera Taboada 1243- 2104811 **INIA-CENIAP** Unidad de Laboratorio (URLAB), Dirección: Rocío Universidad "El Limón", UCV-FACRO, Edif. 01, Maracay, Edo. Aragua, Teléfono: 0943 310713. e-mail: lab@ceniap.inia.gov.ve

Anexo 2. Análisis de suelo con fines de fertilidad en lote G3 del Campo Experimental del INIA-CENIAP.



REPUBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
MINISTERIO DE CIENCIA Y TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES AGRICOLAS
CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS
RECURSOS AGROECOLÓGICOS
UNIDAD DE LABORATORIO-SERVICIO DE ANÁLISIS



Número de Solicitud: 00028238 Apellidos: LEON Nombres: ROMEL Fecha de Ingreso: 28/04/2014
 Número de Cédula: - Tel/Fax: E mail: Fecha Prometida: 28/04/2014
 Nombre de la Finca: CAMPO EXPERIMENTAL CENIAP Localidad: Ubicación:
 Estado: Aragua Municipio: Mario Briceño Irigorry

N° Muestra	Id. Lote	Hm	Prof. (cm)	ANÁLISIS MECÁNICO			Clase	ANÁLISIS QUÍMICO					pH (1:2.5)	C.E. (dcm)	N° Registro
				Porcentaje (%)				Fósforo (mg/kg)	Potasio (mg/kg)	Calcio (mg/kg)	Magnesio (mg/kg)	Materia Orgánica (%)			
				arena	Limo	Arcilla									
1	MUESTRA 1	0-20	36.00	52.00	12.00	FL	Medio	57.00	111.00	600.00	21.00	2.76	6.10	0.13	78
								Alto	Medio	Alto	Bajo	Medio		Bajo	

Recomendación de Fertilizante

Cultivo: YUCA **Zona:**

Nitrógeno: Aplicar 40 kg/ha Al momento de la siembra en bandas y 40 Kg/ha A los 75 días después de la siembra.
Fósforo: Aplicar 40 Kg/ha. Al momento de la siembra en bandas.
Potasio: Aplicar 50 kg/ha. Al momento de la siembra en bandas y 50 kg/ha. A los 75 días después de la siembra.

DEFINICIONES

Distribución de tamaño de partículas (textura)
Método orgánico (%)
Fósforo (mg/kg)
Calcio (Ca) (mg/kg)
Magnesio (Mg) (mg/kg)
Reacción del Suelo a pH 1:2.5
Construcción eléctrica (dcm)

METODOLOGÍA

Rayos X
Carbón activo (Walkley y Black)
Oslen
Morgan Modificado
Morgan Modificado
Método potenciométrico
Método conductimétrico

REFERENCIA

Diakari de Bita, J. S. Libro de Rojas y R. Pérez de Soto. 1999. Manual de métodos y procedimientos de referencia (análisis de suelos para diagnóstico de fertilidad). FONIA/CENIAP-Serie D N° 16. Maracay. T-6.

ABREVIATURAS

aa=Ánodo
af=Ánodo Frances
Pa=Franco Argentino
Pa=Franco
EL=Franco Limoso
L=Limosa
Ha=Hidrógeno

Ka=Franco Anódico Argentino
Fa=Franco Anódico
FAL=Franco Anódico Limoso
Aa=Anódico Argentino
AL=Anódico Limoso
A=Anódico
Pr=Profundidad



Anexo 3. Análisis de varianza para las variables fenológicas, fisiológicas, agronómicas y de calidad de raíces.

Días a formación de brotes superficiales

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
Modelo.	52,48	23		2,28	0,5	0,9515
Rep	5,54	2		2,77	2,51	0,1615 (TR*Rep)
TR	6,56	3		2,19	1,98	0,2183 (TR*Rep)
TR*Rep	6,62	6		1,1	0,24	0,9588
TC	2,23	3		0,74	0,16	0,9213
TR*TC	31,52	9		3,5	0,76	0,6524
Error	110,5	24		4,6		
Total	162,98	47				

Días a formación de hojas

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
Modelo.	780,92	23		33,95	1,58	0,1376
Rep	129,04	2		64,52	2,96	0,1273 (TR*Rep)
TR	44,25	3		14,75	0,68	0,5969 (TR*Rep)
TR*Rep	130,63	6		21,77	1,01	0,4417
TC	74,25	3		24,75	1,15	0,3496
TR*TC	402,75	9		44,75	2,08	0,0739
Error	517	24		21,54		
Total	1297,92	47				

Días a formación de tallo

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
Modelo.	209,15	23		9,09	2,61	0,0117
Rep	63,88	2		31,94	7,24	0,0251 (TR*Rep)
TR	15,23	3		5,08	1,15	0,4022 (TR*Rep)
TR*Rep	26,46	6		4,41	1,26	0,3101
TC	22,73	3		7,58	2,17	0,1174
TR*TC	80,85	9		8,98	2,58	0,031
Error	83,67	24		3,49		
Total	292,81	47				

Grado de verdor al cuarto mes de evaluación

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
Modelo.	185,47	23		8,06	1,4	0,2076
Rep	23,49	2		11,74	5,02	0,0524 (TR*Rep)
TR	15,66	3		5,22	2,23	0,1853 (TR*Rep)
TR*Rep	14,05	6		2,34	0,41	0,8667
TC	100,01	3		33,34	5,8	0,0039
TR*TC	32,26	9		3,58	0,62	0,7652
Error	137,9	24		5,75		

Total 323,36 47

Grado de verdor al sexto mes de evaluación

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
Modelo.	170,94	23	7,43	0,59	0,8931	
Rep	9,09	2	4,54	1,36	0,3268	(TR*Rep)
TR	10,03	3	3,34	1	0,4557	(TR*Rep)
TR*Rep	20,11	6	3,35	0,27	0,9469	
TC	90,25	3	30,08	2,4	0,093	
TR*TC	41,47	9	4,61	0,37	0,9397	
Error	301,13	24	12,55			
Total	472,07	47				

Grado de verdor al octavo mes de evaluación

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
Modelo.	507,79	23	22,08	0,79	0,7121	
Rep	141,53	2	70,76	5,48	0,0443	(TR*Rep)
TR	50,48	3	16,83	1,3	0,3568	(TR*Rep)
TR*Rep	77,48	6	12,91	0,46	0,8291	
TC	47,79	3	15,93	0,57	0,6399	
TR*TC	190,52	9	21,17	0,76	0,6546	
Error	670,25	24	27,93			
Total	1178,04	47				

Área Foliar al cuarto mes de evaluación

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
Modelo.	60196,79	23	2617,25	3,02	0,0047	
Rep	31584,19	2	15792,1	19,59	0,0023	(TR*Rep)
TR	1742,2	3	580,73	0,72	0,5753	(TR*Rep)
TR*Rep	4835,82	6	805,97	0,93	0,492	
TC	14980,15	3	4993,38	5,76	0,0041	
TR*TC	7054,43	9	783,83	0,9	0,5375	
Error	20815,93	24	867,33			
Total	81012,72	47				

Área Foliar al sexto mes de evaluación

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
Modelo.	70937,77	23	3084,25	1,04	0,4599	
Rep	5853,27	2	2926,63	1,42	0,3123	(TR*Rep)
TR	10702,98	3	3567,66	1,73	0,2592	(TR*Rep)
TR*Rep	12350,41	6	2058,4	0,7	0,6559	
TC	23016,21	3	7672,07	2,59	0,0762	
TR*TC	19014,91	9	2112,77	0,71	0,6915	
Error	71066,97	24	2961,12			
Total	142004,74	47				

Area Foliar al octavo mes de evaluación

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
Modelo.	88746,92	23	3858,56	1,29	0,2684	
Rep	12308,16	2	6154,08	2,25	0,1862	(TR*Rep)
TR	6246,96	3	2082,32	0,76	0,555	(TR*Rep)
TR*Rep	16383,86	6	2730,64	0,91	0,5015	
TC	40108,04	3	13369,35	4,48	0,0124	
TR*TC	13699,9	9	1522,21	0,51	0,8529	
Error	71654,47	24	2985,6			
Total	160401,38	47				

Fotosíntesis al cuarto mes de evaluación

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
Modelo.	1505,1	23	65,44	1,51	0,1632	
Rep	140,52	2	70,26	0,81	0,488	(TR*Rep)
TR	312,86	3	104,29	1,2	0,386	(TR*Rep)
TR*Rep	520,14	6	86,69	1,99	0,1063	
TC	69,1	3	23,03	0,53	0,6661	
TR*TC	462,48	9	51,39	1,18	0,3499	
Error	1043,36	24	43,47			
Total	2548,47	47				

Fotosíntesis al sexto mes de evaluación

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
Modelo.	1687,99	23	73,39	1,96	0,0542	
Rep	103,5	2	51,75	1,23	0,3558	(TR*Rep)
TR	431,49	3	143,83	3,43	0,093	(TR*Rep)
TR*Rep	251,72	6	41,95	1,12	0,3802	
TC	117,89	3	39,3	1,05	0,3888	
TR*TC	783,39	9	87,04	2,32	0,0479	
Error	898,7	24	37,45			
Total	2586,69	47				

Fotosíntesis al octavo mes de evaluación

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
Modelo.	1218,19	23	52,96	0,71	0,7969	
Rep	90,97	2	45,49	0,74	0,5181	(TR*Rep)
TR	2,88	3	0,96	0,02	0,9971	(TR*Rep)
TR*Rep	371,2	6	61,87	0,82	0,5626	
TC	300,85	3	100,28	1,34	0,2862	
TR*TC	452,29	9	50,25	0,67	0,7281	
Error	1802,05	24	75,09			
Total	3020,25	47				

Transpiración al cuarto mes de evaluación

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
Modelo.	11,08	23	0,48	4,54	0,0002	
Rep	3,77	2	1,88	5,66	0,0415	(TR*Rep)

TR	2,15	3	0,72	2,16	0,1939	(TR*Rep)
TR*Rep	2	6	0,33	3,14	0,0205	
TC	1,67	3	0,56	5,25	0,0063	
TR*TC	1,49	9	0,17	1,56	0,1838	
Error	2,55	24	0,11			
Total	13,62	47				

Transpiración al sexto mes de evaluación

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
Modelo.	11,86	23	0,52	1,56	0,1483	
Rep	1,35	2	0,68	0,81	0,4886	(TR*Rep)
TR	3,81	3	1,27	1,52	0,3031	(TR*Rep)
TR*Rep	5,03	6	0,84	2,53	0,0501	
TC	0,63	3	0,21	0,63	0,6031	
TR*TC	1,04	9	0,12	0,35	0,9478	
Error	7,63	23	0,33			
Total	19,49	46				

Transpiración al octavo mes de evaluación

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
Modelo.	9,03	23	0,39	1,98	0,0511	
Rep	1,2	2	0,6	1,83	0,2391	(TR*Rep)
TR	1,06	3	0,35	1,08	0,4251	(TR*Rep)
TR*Rep	1,96	6	0,33	1,65	0,1765	
TC	1	3	0,33	1,68	0,197	
TR*TC	3,81	9	0,42	2,14	0,0663	
Error	4,75	24	0,2			
Total	13,77	47				

Conductancia estomática al cuarto mes de evaluación

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
Modelo.	3695811,72	23	160687,47	2,61	0,0116	
Rep	1390169,52	2	695084,76	4,12	0,0746	(TR*Rep)
TR	595043,08	3	198347,69	1,18	0,394	(TR*Rep)
TR*Rep	1011045,07	6	168507,51	2,74	0,0359	
TC	288345,5	3	96115,17	1,56	0,2245	
TR*TC	411208,54	9	45689,84	0,74	0,6675	
Error	1476939,58	24	61539,15			
Total	5172751,29	47				

Conductancia estomática al sexto mes de evaluación

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
Modelo.	347870,36	23	15124,8	1	0,5012	
Rep	701,62	2	350,81	0,02	0,9811	(TR*Rep)
TR	92398,03	3	30799,34	1,68	0,2698	(TR*Rep)
TR*Rep	110173,87	6	18362,31	1,21	0,3355	
TC	9104,9	3	3034,97	0,2	0,895	

TR*TC	135491,94	9	15054,66	0,99	0,4715
Error	348293,63	23	15143,2		
Total	696163,99	46			

Conductancia estomática al octavo mes de evaluación

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
Modelo.	245010,76	23	10652,64	1,05	0,4499	
Rep	10482,58	2	5241,29	0,64	0,5603	(TR*Rep)
TR	25769,35	3	8589,78	1,05	0,4374	(TR*Rep)
TR*Rep	49207,21	6	8201,2	0,81	0,5721	
TC	25346,35	3	8448,78	0,83	0,4879	
TR*TC	134205,27	9	14911,7	1,47	0,2139	
Error	242879,53	24	10119,98			
Total	487890,29	47				

Potencial hídrico xilemático al cuarto mes de evaluación

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
Modelo.	190,56	23	8,29	1,63	0,1195	
Rep	49,79	2	24,9	1,94	0,2243	(TR*Rep)
TR	15,91	3	5,3	0,41	0,7501	(TR*Rep)
TR*Rep	77,09	6	12,85	2,53	0,0481	
TC	15,65	3	5,22	1,03	0,3972	
TR*TC	32,11	9	3,57	0,7	0,6995	
Error	121,65	24	5,07			
Total	312,2	47				

Potencial hídrico xilemático al sexto mes de evaluación

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
Modelo.	200,45	23	8,72	1,08	0,4293	
Rep	50,18	2	25,09	2,18	0,1946	(TR*Rep)
TR	20,7	3	6,9	0,6	0,6389	(TR*Rep)
TR*Rep	69,14	6	11,52	1,42	0,2471	
TC	11,06	3	3,69	0,45	0,7163	
TR*TC	49,37	9	5,49	0,68	0,7217	
Error	194,44	24	8,1			
Total	394,89	47				

Potencial hídrico xilemático al octavo mes de evaluación

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
Modelo.	242,07	23	10,52	1,27	0,2802	
Rep	25,19	2	12,59	3,98	0,0795	(TR*Rep)
TR	28,94	3	9,65	3,05	0,114	(TR*Rep)
TR*Rep	19	6	3,17	0,38	0,8825	
TC	131,14	3	43,71	5,29	0,0061	
TR*TC	37,79	9	4,2	0,51	0,8542	
Error	198,35	24	8,26			
Total	440,42	47				

Altura de planta al cuarto mes de evaluación

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
Modelo.	30368,54	23	1320,37	4,96	0,0001	
Rep	911,53	2	455,76	1,28	0,3453	(TR*Rep)
TR	5545,59	3	1848,53	5,18	0,0421	(TR*Rep)
TR*Rep	2142,53	6	357,09	1,34	0,2778	
TC	18645,49	3	6215,16	23,35	<0,0001	
TR*TC	3123,41	9	347,05	1,3	0,2858	
Error	6387,9	24	266,16			
Total	36756,44	47				

Altura de planta al sexto mes de evaluación

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
Modelo.	52040,29	23	2262,62	6,36	<0,0001	
Rep	945,4	2	472,7	1,81	0,2429	(TR*Rep)
TR	5224,02	3	1741,34	6,66	0,0245	(TR*Rep)
TR*Rep	1568,74	6	261,46	0,74	0,6261	
TC	43192,92	3	14397,64	40,49	<0,0001	
TR*TC	1109,2	9	123,24	0,35	0,9492	
Error	8533,15	24	355,55			
Total	60573,44	47				

Altura de planta al octavo mes de evaluación

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
Modelo.	92322,87	23	4014,04	5,4	0,0001	
Rep	8361,93	2	4180,97	2,97	0,1271	(TR*Rep)
TR	6533,54	3	2177,85	1,55	0,297	(TR*Rep)
TR*Rep	8455,12	6	1409,19	1,9	0,1227	
TC	58152,19	3	19384,06	26,1	<0,0001	
TR*TC	10820,09	9	1202,23	1,62	0,1661	
Error	17826,84	24	742,79			
Total	110149,72	47				

Altura de primera ramificación al sexto mes de evaluación

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
Modelo.	21294,66	20	1064,73	4,32	0,0108	
Rep	265,24	2	132,62	0,2	0,8226	(TR*Rep)
TR	1166,19	3	388,73	0,59	0,6431	(TR*Rep)
TR*Rep	3944,64	6	657,44	2,67	0,082	
TC	14546,69	3	4848,9	19,68	0,0002	
TR*TC	1371,9	6	228,65	0,93	0,5149	
Error	2464,49	10	246,45			
Total	23759,15	30				

Altura de primera ramificación al sexto mes de evaluación

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
------	----	----	----	---	---------	---------

Modelo.	71342,37	20	3567,12	2,39	0,0448	
Rep	5658,1	2	2829,05	0,91	0,4532	(TR*Rep)
TR	589,97	3	196,66	0,06	0,9775	(TR*Rep)
TR*Rep	18743,73	6	3123,96	2,1	0,1149	
TC	43820,92	3	14606,97	9,8	0,0008	
TR*TC	2529,64	6	421,61	0,28	0,9362	
Error	22360	15	1490,67			
Total	93702,37	35				

Número de hojas al cuarto mes de evaluación

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
Modelo.	40908,08	23	1778,61	1,54	0,1512	
Rep	5561,52	2	2780,76	2,4	0,1715	(TR*Rep)
TR	7506,68	3	2502,23	2,16	0,194	(TR*Rep)
TR*Rep	6954,4	6	1159,07	1	0,4471	
TC	9763,83	3	3254,61	2,81	0,0609	
TR*TC	11121,65	9	1235,74	1,07	0,4199	
Error	27771,33	24	1157,14			
Total	68679,41	47				

Número de hojas al sexto mes de evaluación

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
Modelo.	156802,13	23	6817,48	2,56	0,0132	
Rep	6708,52	2	3354,26	0,76	0,5069	(TR*Rep)
TR	17285,69	3	5761,9	1,31	0,3549	(TR*Rep)
TR*Rep	26389,8	6	4398,3	1,65	0,1772	
TC	52469,82	3	17489,94	6,56	0,0021	
TR*TC	53948,31	9	5994,26	2,25	0,0549	
Error	64018,83	24	2667,45			
Total	220820,96	47				

Número de hojas al octavo mes de evaluación

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
Modelo.	288724,51	23	12553,24	3,96	0,0007	
Rep	54944,88	2	27472,44	3,92	0,0814	(TR*Rep)
TR	6874,07	3	2291,36	0,33	0,8063	(TR*Rep)
TR*Rep	42022,93	6	7003,82	2,21	0,0776	
TC	144237,49	3	48079,16	15,15	<0,0001	
TR*TC	40645,14	9	4516,13	1,42	0,2333	
Error	76159,41	24	3173,31			
Total	364883,92	47				

Biomasa seca de raíz

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	3211,92	23	139,65	1,31	0,2572
Rep	111,78	2	55,89	0,89	0,4597

TR	818,46	3	272,82	4,33	0,0602
TR*Rep	378	6	63	0,59	0,7339
TC	996,93	3	332,31	3,12	0,0448
TR*TC	906,76	9	100,75	0,95	0,5056
Error	2556,25	24	106,51		
Total	5768,16	47			

Biomasa seca aérea

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	2614,07	23	113,66	1,68	0,108
Rep	285,48	2	142,74	0,63	0,5653
TR	341,32	3	113,77	0,5	0,6955
TR*Rep	1363,4	6	227,23	3,35	0,0153
TC	40,14	3	13,38	0,2	0,8972
TR*TC	583,73	9	64,86	0,96	0,4977
Error	1627,28	24	67,8		
Total	4241,35	47			

Peso Fresco aéreo

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
Modelo.	79775000	23	3468478,3	1,37	0,2251	
Rep	13585729,2	2	6792864,6	3,5	0,0984	(TR*Rep)
TR	9217916,67	3	3072638,9	1,58	0,2891	(TR*Rep)
TR*Rep	11651770,8	6	1941961,8	0,77	0,6035	
TC	36584166,7	3	12194722	4,81	0,0092	
TR*TC	8735416,67	9	970601,85	0,38	0,9317	
Error	60809166,7	24	2533715,3			
Total	140584167	47				

Contenido de humedad en raíces

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
Modelo.	26,65	23	1,16	31,63	<0,0001	
Rep	0,01	2	0,01	0,17	0,8486	(TR*Rep)
TR	13,12	3	4,37	142	<0,0001	(TR*Rep)
TR*Rep	0,18	6	0,03	0,84	0,5508	
TC	3,24	3	1,08	29,47	<0,0001	
TR*TC	10,1	9	1,12	30,63	<0,0001	
Error	0,88	24	0,04			
Total	27,53	47				

Contenido de cenizas en raíces

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
Modelo.	2,85	23	0,12	10,06	<0,0001	
Rep	9,50E-04	2	4,80E-04	0,07	0,9348	(TR*Rep)
TR	0,86	3	0,29	41,34	0,0002	(TR*Rep)
TR*Rep	0,04	6	0,01	0,56	0,7539	
TC	0,55	3	0,18	14,9	<0,0001	
TR*TC	1,4	9	0,16	12,58	<0,0001	

Error	0,3	24	0,01
Total	3,15	47	

Contenido de fibra cruda en raíces

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
Modelo.	98,4	23	4,28	77,27	<0,0001	
Rep	4,60E-03	2	2,30E-03	0,08	0,9211	(TR*Rep)
TR	16,77	3	5,59	203,5	<0,0001	(TR*Rep)
TR*Rep	0,16	6	0,03	0,5	0,8049	
TC	14,01	3	4,67	84,36	<0,0001	
TR*TC	67,45	9	7,49	135,4	<0,0001	
Error	1,33	24	0,06			
Total	99,73	47				

Contenido de azúcar total invertido en raíces

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
Modelo.	520,12	23	22,61	46,18	<0,0001	
Rep	1,86	2	0,93	8,75	0,0166	(TR*Rep)
TR	111,68	3	37,23	350,6	<0,0001	(TR*Rep)
TR*Rep	0,64	6	0,11	0,22	0,9677	
TC	186,97	3	62,32	127,3	<0,0001	
TR*TC	218,98	9	24,33	49,69	<0,0001	
Error	11,75	24	0,49			
Total	531,87	47				

Contenido de almidón en raíces

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
Modelo.	405,29	23	17,62	43,92	<0,0001	
Rep	1,33	2	0,67	4,44	0,0655	(TR*Rep)
TR	78,07	3	26,02	173,3	<0,0001	(TR*Rep)
TR*Rep	0,9	6	0,15	0,37	0,8881	
TC	146,83	3	48,94	122	<0,0001	
TR*TC	178,16	9	19,8	49,34	<0,0001	
Error	9,63	24	0,4			
Total	414,92	47				

Variable	TR	TC	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
NRT	R1	C1	6	1,83	0,98	1,5	14,79	0,2455
NRT	R1	C2	6	2,17	0,98	2,5		
NRT	R1	C3	6	2,17	0,98	2,5		
NRT	R1	C4	6	2	1,1	2		
NRT	R2	C1	6	1,67	1,03	1		
NRT	R2	C2	6	2,33	1,03	3		

NRT	R2	C3	6	1,67	1,03	1
NRT	R2	C4	6	2	0,89	2
NRT	R3	C1	6	2,17	0,98	2,5
NRT	R3	C2	6	2,67	0,82	3
NRT	R3	C3	6	1,83	0,98	1,5
NRT	R3	C4	6	2,33	1,03	3
NRT	R4	C1	6	3	0	3
NRT	R4	C2	6	1,5	0,84	1
NRT	R4	C3	6	1,33	0,82	1
NRT	R4	C4	6	1,67	1,03	1

Variable	TR	TC	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
NRC	R1	C1	6	1,33	0,82	1	9,66	0,6639
NRC	R1	C2	6	2,17	0,98	2,5		
NRC	R1	C3	6	2,33	1,03	3		
NRC	R1	C4	6	2,33	1,03	3		
NRC	R2	C1	6	1,5	0,84	1		
NRC	R2	C2	6	2,17	0,98	2,5		
NRC	R2	C3	6	1,83	0,98	1,5		
NRC	R2	C4	6	2	0,89	2		
NRC	R3	C1	6	1,67	1,03	1		
NRC	R3	C2	6	1,67	1,03	1		
NRC	R3	C3	6	2	1,1	2		
NRC	R3	C4	6	1,33	0,82	1		
NRC	R4	C1	6	2	0,89	2		
NRC	R4	C2	6	1,67	1,03	1		
NRC	R4	C3	6	1,33	0,82	1		

NRC	R4	C4	6	1,83	0,98	1,5
-----	----	----	---	------	------	-----

Variable	TR	TC	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
PRT	R1	C1	6	1,67	0,82	1,5	9,49	0,7187
PRT	R1	C2	6	2,17	0,98	2,5		
PRT	R1	C3	6	2	1,1	2		
PRT	R1	C4	6	2,33	1,03	3		
PRT	R2	C1	6	1,5	0,84	1		
PRT	R2	C2	6	2,33	1,03	3		
PRT	R2	C3	6	1,67	1,03	1		
PRT	R2	C4	6	2	0,89	2		
PRT	R3	C1	6	2	0,89	2		
PRT	R3	C2	6	1,83	0,98	1,5		
PRT	R3	C3	6	1,83	0,98	1,5		
PRT	R3	C4	6	1,5	0,84	1		
PRT	R4	C1	6	2,5	0,84	3		
PRT	R4	C2	6	1,67	1,03	1		
PRT	R4	C3	6	1,33	0,82	1		
PRT	R4	C4	6	1,83	0,98	1,5		

Variable	TR	TC	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
PRC	R1	C1	6	1,33	0,82	1	11,26	0,5325
PRC	R1	C2	6	2	0,89	2		
PRC	R1	C3	6	2	0,89	2		
PRC	R1	C4	6	2,5	0,84	3		
PRC	R2	C1	6	1,33	0,82	1		
PRC	R2	C2	6	2	0,89	2		

PRC	R2	C3	6	1,83	0,98	1,5
PRC	R2	C4	6	2	0,89	2
PRC	R3	C1	6	1,67	1,03	1
PRC	R3	C2	6	1,67	1,03	1
PRC	R3	C3	6	1,83	0,98	1,5
PRC	R3	C4	6	1,33	0,82	1
PRC	R4	C1	6	2	0,89	2
PRC	R4	C2	6	1,5	0,84	1
PRC	R4	C3	6	1,33	0,82	1
PRC	R4	C4	6	1,83	0,98	1,5

Referencias Bibliográficas

- Albuquerque, T., L. Miranda; J. Salim; F. Teles y J. Quirino. 1993. Composição centesimal da raiz de 10 variedades de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) cultivadas em Minas Gerais. *Revista Brasileira da Mandioca*. 12(1):7-12.
- Allen, R; Pereira, L; Raes, D y Smith M. 2006. Evapotranspiración del cultivo. Guía para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. FAO. Roma, Italia. P 110-113.
- Albuquerque, J. A. Sedyama; A. Silva; C. Sedyama; J. Alves y F. Neto. 2009. Caracterização morfológica e agrônômica de clones de mandioca cultivados no Estado de Roraima . *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*. 4(4): 388-394.
- Álvarez, A. 2003. Estudio de la aptitud de la yuca fresca (*Manihot esculenta* Crantz): Efectos de las características de la materia prima en la calidad de chips de yuca. Tesis de grado para optar al título de Ingeniero Agrónomo. Santiago de Cali. Universidad del Valle y Universidad Nacional de Colombia. Pp 148.
- Alves, A. 2002. Acumulacao de ácido abscísico em Mandioca sob déficit hídrico. *Boletim de Pesquisa e desenvolvimento*. 22:8-23.
- Alves, A. C., and Setter, T. L. 2004. Response of cassava leaf area expansion to water deficit: cell proliferation, cell expansion and delayed development. *Ann. Bot.* 94:605–613.
- Aristizábal, J., T. Sánchez y L. Mejía. 2007. Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca. *Boletín de servicios agrícolas de la FAO* 163. Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación, 2007. 137p.

Ascencio, J. 1996. Algunos aspectos relacionados con la fisiología de la planta de yuca. *En: La yuca frente al hambre del mundo tropical*. Editorial ANAUCO. Maracay, Venezuela. Ed. Montaldo, A. pp:101-119.

Association Official Analytical Chemists. (AOAC). 1975. Official methods of analysis. Doceava Edición. Washington D.C.

Barbosa, M. 2013, Caracterização morfofisiológica de clones de mandioca em cândido sales-ba. Tesis para optar al título de Magister Scientarum en agronomía en la Universidad Estadual do Sudoeste da Bahia . Brasil. 114 p.

Balagopalan C., G. Padmaja; S. Nanda and SM. Moorthy. 1998. Cassava in food, feed and industry. CRC Press, Boca Ratón, FL. *In: Cassava: Biology, production and utilization*. Hillocks, J., Tresh, M. and Belloti, AC (Eds). Valle del Cauca, Colombia. Pp 300-318.

Bhatt, R.M. and N.K. Srinivasa. 2005. Influence of pod load response of okra to water stress. *Indian J. Plant Physiol.* 10: 54-59

Barragán, M., J. López; L. Cadavid y J. Lucas. 2000. Manual de tecnologías en la cadena agroindustrial de la yuca (*Manihot esculenta* Crantz). Programa Nacional de Competitividad y Desarrollo Tecnológico en la Cadena Agroindustrial de Frutas y Hortalizas, con el apoyo de CLAYUCA, CIAT, Comité de Cafeteros de Risaralda. 312 p.

Biechler, K and H. Fock.1996. Evidences for the contribution of the Mehler-peroxidase reaction indissipating excess electron in drought-stressed wheat. *Plant Physiologi.* 112:252-272.

Buchanan, B., W. Gruissem y R.L. Jones. 2000. Biochemistry and molecular biology of plants. American Society of Plant Physiologists, Rockville, MD. 1408 p.

Burgos, A. J. Arguello; J. Prause y P. Cenóz. 2013. Fenología de los estados vegetativos de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) en base al tiempo térmico Revista FCA UNCUYO. 45(1):43-52.

Catalayud, P., E. Llovera, J. Bois and T. Lamaza. 2000. Photosynthesis in drought-adapted cassava. *Photosynthetica*. 38(1):97-104.

Ceballos, H. 2002. La yuca en el tercer milenio: sistemas modernos de producción, procesamiento, utilización y comercialización. *En: La yuca en Colombia y el mundo: nuevas perspectivas para un cultivo milenario*. Valle del Cauca, Colombia. Ospina, B.(Eds). pp. 1- 13.

Caraballo, L y E. Velásquez. 1997. Respuesta de tres cultivares de yuca a diferentes condiciones hídricas y fechas de cosecha. *Agronomía Tropical*. 56(2):267-284.

Celédón J., P. Gil, R. Ferrereyra, P. Maldonado y C. Barreras. 2012. Sensitivity and variability of two plant water stress indicators: exploring criteria for choosing a plant monitoring method for avocado irrigation management. *Chilean Journal of Agricultural Research*. 72(3):379-387.

Cushman, J.C. 2001. Osmoregulation in plants: implications for agriculture. *Amer. Zool*. 41:758-769.

De Tafur, M. 2002. Fisiología de la yuca. *La Yuca en el Tercer Milenio: Sistemas Modernos de Producción, Procesamiento, Utilización y Comercialización*. Ceballos H, Ospina B (ed). Valle del cauca, Colombia. Pp:34-45.

De Tafur, M., M. El-Sharkawy y F. Calle. 1997. Photosynthesis and yield performance of cassava in seasonally dry and semiarid environments. *Photosynthetica*. 33:249-257.

Doorenbos, J. and W. Pruitt. 1975. Crop water requeriments. *Irrigation and drainage paper 24*. FAO. Rome, Italy. 178 p.

Dubois, M and K.A. Gilles. 1956. Colorimetric method for determination of sugar and related substances. *Anal. Chem.* 28(3):356-360.

El-Sharkawy, M. and M.A. Cock. 1984. Water use efficiency of cassava. I. Effects of air humidity and water stress on stomatal conductance and gas exchange. *Crop Science.* 24:497-502.

EL-Sharkawy, M. A.; Cock y J. Hernandez. 1985. Stomatal response to air humidity and its relation to stomatal density in a wide range of warm climate species. *Photosynthesis Research.* 7:137-149.

El-Sharkawy, M., M. De Tafur y L. Cadavid. 1992. Potential photosynthesis of cassava affected by growth conditions. *Crop Science.* 32(6):1336-1342.

El-Sharkawy, M. 1993. Drought-tolerant cassava for África, Asia and Latin America. *Bio Science.* 43:441-451.

El-Sharkawy, M. and L. Cadavid. 2002. Response of cassava to prolonged water stress imposed at different stages of growth. *Exp. Agric.* 38:333–350.

EL-Sharkawy, M. A. 2003. Cassava biology and physiology. *Plant Molecular Biology.* 53:621-641.

EL-Sharkawy, M. A. 2004. Cassava biology and physiology. *Plant Molecular Biology.* 56:481-501.

El-Sharkawy, M. 2007. Physiological characteristics of cassava tolerance to prolonged drought in the tropics: Implications for breeding cultivars adapted to seasonally dry and semiarid environments. *Plant Physiology.* 19(4):257-286

EL-Sharkawy, M. A. y S.M. De Tafur. 2007. Genotypic and within canopy variation in leaf carbon isotope discrimination and its relation to short-term leaf gas exchange characteristics in cassava grown under rain-fed conditions in the tropics. *Photosynthetica.* 45(4):515-526.

El-Sharkawy, M. 2012. Stress-Tolerant Cassava: The Role of Integrative Ecophysiology-Breeding Research in Crop Improvement. *Open Journal of Soil science*. 2(2):162-186.

El-Sharkawy, M., S. De Tafur y Y. López. 2012, Cassava Productivity, Photosynthesis, Ecophysiology, and Response to Environmental Stresses in the Tropics: A Multidisciplinary Approach to Crop Improvement and Sustainable Production. *In: Cassava in The Third Millinim*. Ospina B. and H. Ceballos (Eds). CIAT, Calyuca, Cali-Palmira, Colombia. Pp 29-88.

Ewel, J.J., A. Madriz y J.A. Tosi. 1976. Zonas de vida de Venezuela. MAC-FONAIAP, Caracas.

FAO. 2013a. Save and Grow: Cassava. [En línea]. www.fao.org/ag/save-and-grow/cassava/en/1/index.html (27 de abril 2015).

FAO. 2013b. Ahorrar para crecer: la yuca. [En línea]. <http://www.fao.org/ag/save-and-grow/cassava/es/index.html>. (13 febrero de 2013).

FEDEAGRO. 2012. Base de datos. [En línea]. <http://www.fedeagro.org/produccion/Rubros.asp>.

Ferrarotto, M. 2003. Acumulación de prolina en plantas de pira (*Amaranthus dubius* Mart, and *Amaranthus cruentus* L.) creciendo bajo condiciones de estrés hídrico. *Revista de la Facultad de Agronomía* 20(4):453-460

Ferreira, C., R. De Figueirêdo y A. Melo. 2003. Avaliação físico-química de farinhas de mandioca durante o armazenamento. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, Campina Grande. 5(1):25-31.

Finnan, J. M., J.I. Burke y M.B. Jones. 1997. A note on a non-destructive method of chlorophyll determination in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Irish Journal of Agricultural and Food Research*. 36:85-89.

Fuenmayor, F.; J. Montilla; J. Albarán; M. Pérez; L. Vaccarino y V. Segovia. 2012. Evaluación y selección de clones de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) del Plan Nacional de Semilla del INIA-Venezuela. Resultados preliminares. Revista Científica UDO Agrícola. 12(1):17-24.

Fukuda, W., M. Diniz y R. Caldas. 1999. Análise de estabilidade de novos clones de mandioca avaliados em provas participativas com agricultores nos tabuleiros costeiros do Estado da Bahia. Cruz das Almas, BA: Embrapa Mandioca e Fruticultura. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento. 16:1-14.

Gamboa, W. 2005. Producción Agroecológica: una opción para el desarrollo del cultivo del chayote. Editorial de la Universidad de Costa Rica. Costa Rica. San José. p 14.

Gandrup, M., F. García; K. Fabrizzi y H. Echeverria. 2004. Evolución de un índice de verdor en hoja para evaluar el status nitrogenado en trigo. RIA. 33(3):105-121.

Gomes, R. 2015. Morfologia e Fenologia Da Mandioca. [En línea]: <http://es.scribd.com/doc/111185109/Morfologia-e-Fenologia-Da-Mandioca#scribd>. (25 de abril 2015)

Grindlay, D. 1997. Towards an explanation of crop nitrogen demand based on the optimization of leaf nitrogen per unit leaf area. Journal of Agricultural Science. 128:377-396.

Haripriya, M y G. Byju. 2008. Chlorophyll meter and leaf colour chart to estimate chlorophyll content, leaf colour, and yield of cassava. Photosynthetica. 46(4):511-516.

Hasbún, J., P. Esquivel., A. Brenes y I. Alfaro. 2009. Propiedades físico-químicas y parámetros de calidad para uso industrial de cuatro variedades de papa. Agronomía Costarricense. 33(1): 77-89.

Kacperska, A. and M. Kubacka. 1989. Formation of stress ethylene depends both on ACC synthesis and on the activity of free radical generation system. *Plant Physiology*. 77:231-237.

Lahai, M., I. Ekanayake y J. George. 2003. Leaf chlorophyll content and tuberous root yield of cassava in inland valley. *African Crop Science Journal*. 11(2):107-117.

León, R., D. Polanco; P. Zárraga; M. Zambrano; E. Ramos; D. Perdomo y A. Marín. 2013. Caracterización morfológica y agronómica del banco de germoplasma de yuca (*Manihot esculenta*, Crantz) en el campo experimental de Fagro-UCV. *Revista de la Facultad de Agronomía*. 39(2):93-104

León, R., M. Pérez; F. Fuenmayor; M. Gutierrez y C. Marín. 2014. Caracterización eco- fisiológica de cuatro clones de yuca (*Manihot esculenta*, Crantz) en el Campo Experimental del INIA-CENIAP. (En Prensa)

Ledent, J. 2002. Deficit hídrico y crecimiento de las plants: Respuestas al deficit hídrico. Comportamiento morfofisiológico. Université Catholique de Louvai. Bélgica. Pp 7-56

Leung, J. y J. Giraudat. 1998. Abscisic acid signal transduction. *Plant Molecular Biology*. 49:199-222.

López, F y Ramírez, L. 2006. Caracterización química de hojas y raíces de los clones de yuca del banco de germoplasma de la Facultad de Agronomía de la Universidad Central de Venezuela. Tesis de Grado. Pp:8-14.

Lorenzi, J.O. 1994. Variação na qualidade culinária das raízes de mandioca. *Bragantia*. 53(2):237-245.

Makus, D. 1996. Cassava (*Manihot esculenta* Crantz) establishment and adaptability in the Rio Grande Valley. *Subtropical Plant Science*. 48:5-9.

Marín A.; D. Perdomo; J. Albarrán; F. Fuenmayor y C. Zambrano. 2008. Evaluación agronómica morfológica y bioquímica de clones élites de yuca a partir de vitro plantas. INTERCIENCIA. 33(5):27-35.

Mc Cready, R; M. Guggois; J. Silveira and H. Owwens. 1950, Determination of starch and amylose in vegetables. Anal. Chem. 22(9):1156-1158.

Mengue, C. 2004. Caracterização de raízes de mandioca (manihot esculenta crantz) do cultivar iac 576-70 quanto à cocção, composição química e propriedades do amido em duas épocas de colheita. Tese obtenção do título de Mestre em Ciências, Área de Concentração: Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Brasil. 99 p.

Metzler A.; J. Tovar y M. Fernández. 2004. Caracterización nutricional de los carbohidratos y composición centesimal de raíces y tubérculos tropicales cocidos, cultivados en Costa Rica. Archivos Latinoamericanos de Nutrición. 54 (3):322-327

Montaldo, A. 1972. La yuca, trabajos sobre este cultivo con especial referencia a Venezuela. Venezuela. MAC. Pp:7-12.

Montaldo, A. 1996. La yuca frente al hambre del mundo tropical. Venezuela. Editorial ANAUACO . Maracay. Pp 32-33,127-128.

Nesreen, A., S. Helal and A. Attia. 2013. Morphological and Chemical Studies on influence of Water Deficit on Cassava. World Journal of Agricultural Sciences 9 (5): 369-376.

Noval, T.; M. Lopetegui y O. Solano. 1999. Manual de instrucciones para realizar observaciones fenológicas en cultivos. Organización Meteorológica Mundial Comisión Meteorológica Agrícola CMag Informe N° 98. OMM/ DT N° XXXX Ginebra, Suiza. 22-321 p. [En Línea] www.wamis.org/agm/pubs/CAGMRep/CAGM98.pdf.

Onwueme, I. Y Ch. Winston. 1994. Tropical root and tuber crops. Production, perspectives and future prospects. FAO. Roma, Italia pp:11-12.

Okogbenin, E., T. Setter; M. Ferguson; R. Mutegui; H. Ceballos; B. Olasanmi and M. Fregene. 2013. Phenotypic approaches to drought in cassava: review. *Frontiers in Physiology*. 4(93):1-15.

Olasanmi, O. 2010. Cassava Drought Tolerance Mechanisms Re-Visited: Evaluation of Drought Tolerance in Contrasting Cassava Genotypes Under Water Stressed Environments. Ph.D. thesis, Department of Agronomy (Plant breeding), University of Ibadan. P.150.

Pereira, L. y A. Beléia. 2004. Isolamento, fracionamento e caracterização de paredes celulares de raízes de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz). *Ciência e Tecnologia de Alimentos*. 24(1):59-63.

Peressin, V., D. Monteiro; J. Lorenzi; J. Durigan; R. Pitelli y D. Perecin. 1998. Acúmulo de matéria seca na presença e na ausência de plantas infestantes no cultivar de mandioca SRT 59 - Branca de Santa Catarina. *Braganti*. 57(1):135-148.

Potluri, S. y P. Prasad. 2001, In-vitro studies on the effects of varying levels of sea-salt on two cassava cultivars. *Tropical Agriculture*. 78(1):62–65.

Preston, T; L. Rodríguez; N. Van Lei; L. Chau . (20 de enero de 2012). El follaje de la yuca (*Manihot esculenta* Cranz) como fuente de proteína para la producción animal en sistemas agroforestales. [En línea]. www.fao.org/ag/aga/agap/frg/AGROFOR1/presto24.PDF

Quezada, G., D. Ojeda; O. Hernández; E. Chávez y J., Martínez. 2011. Biomasa, prolina y parámetros nitrogenados en plántulas de nogal bajo estrés hídrico y fertilización nitrogenada. *Revista de Chapingo. Serie Hortícola*. 17(1):3-18.

Ramos, E. 2007. Contenido de almidón en el banco de germoplasma de yuca de la Facultad de Agronomía de la Universidad Central de Venezuela. Tesis de Grado para optar al título de ingeniero Agrónomo. Pp:25-32.

Rodriguez, G., L. Marmol; J. Martínez y M. Montiel. 2009. Acumulación total y por órganos de macronutrientes en plantas de yuca (*Manihot esculentra* Crantz) cv. "Tempranita" en la altiplanicie de Maracaibo. Revista de la Facultad de Agronomía (LUZ). 26:470-489

Rojas, 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. Titulo para obtener el título de Tecnóloga de alimentos en la Universidad Tecnológica de Pereira. 130p

Rós, A., A. Silva ; H. Araújo y N. Narita. 2011. Crescimento, fenologia e produtividade de cultivares de mandioca. Pesquisa Agropecuaria Tropical. 41(4):552-558.

Schepers, J., T. Blackmer y D. Francis. 1992. Predicting N fertilizer needs for corn in humid regions: Using chlorophyll meters. *In*: B. Bock y K. Kelly (ed). Predicting fertilizer needs for corn in humid regions. NFERC, Bull. Y-226. Muscle Shoals, AL, EE.UU. pp. 105 – 114.

Scholander, P.; E. Bradstreet; E. Hemmingsen y H. Hammel. 1965. Sap Pressure in Vascular Plants: Negative hydrostatic pressure can be measured in plants. Science. 148(3668):339–346.

Setter, T., and Fregene, M. 2007. "Recent advances in molecular breeding of cassava for improved drought stress tolerance," *In*: Advances in Molecular-Breeding Toward Drought and Salt Tolerant Crops. Jenks, M., P. Hasegawa, and M. Jain (Eds). Berlin, Germany. Springer. Pp 701–711.

Simão, A., M. Santos; R. Martins; M. Braga; T. Marques; M. Duarte; C. Dos Santos; J. Mesquita y A. Duarte. 2013. Antioxidants and chlorophyll in cassava leaves at three plant ages. *African Journal of Agricultural*. 8(28):3724-3730.

Sinclair, T.R., P.J. Pinter, B.A. Kimball, F.J. Adamsen and R.L. La Morte. 2000. Leaf nitrogen concentration of wheat subjected to elevated [CO₂] and either water or N deficit. *Agric. Ecosyst. Environ*, 79: 53-60.

Soto, E., E. Arnal y A. Aponte. 2005. Manual para la evaluación de cultivares de girasol sometidos a pruebas regionales. CENIAP HOY. 7.

Suárez, L. y V. Mederos. 2011 Apuntes sobre el cultivo de la yuca (*Manihot esculenta* Crantz). *Tendencias actuales. Cultivos Tropicales*. 32(3):27-35.

Sundares, S. y P.; Sudhakaram. 1995. Water stress-induced alterations in the proline metabolism of drought-susceptible and tolerant cassava (*Manihot esculenta*) cultivars. *Physiology Plantarum*. 94(4):635-642.

Taiz, L. y Zeiger, E. 2006. *Fisiología Vegetal*. Estados Unidos. Editorial Sinauer Associates. California. Pp 73-75; 103-105.

Ternes, M. 2002. Fisiología da planta. *En: Agricultura: Tuberosas amiláceas Latino Americanas*. EMBRAPA. 2(4): 66-82

Tezara, W, O. Marin; E. Rengifo; S. Irazabal. R. Colombo y A. Herrera. 2015. Efectos de la sequía sobre el estado hídrico, el intercambio gaseoso y fluorescencia en especies tropicales. [En línea]: <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:L3kXBxBt3vYJ:www.cien.s.ucv.ve/xerofitas/Publicaciones/40.%2520Tezara%2520.pdf+%&cd=1&hl=es&ct=clnk&gl=ve>.

Tofiño, A.; H., Ceballos; M., Romero. (2008). Posibilidades de expansión del cultivo de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) en el Caribe Seco Colombiano a partir de investigación multidisciplinaria. *Actu Biol.* 30(88):15-27.

Vandegeer, R., R. Miller; M. Bain; R. Gleadow and T. Cavagnaro. 2013. Drought adversely affects tuber development and nutritional quality of the staple crop cassava (*Manihot esculenta* Crantz). *Functional Plant Biology.* 40:195–200.

Vidigal F. 2000. Avaliação de cultivares de mandioca na região noroeste do Paraná. *Bragantia, Campinas,* 59(1):69-75.

Wheatley, C. 1991a. Conservación de raíces de yuca en bolsas de polietileno. Guía de estudio. Centro Internacional de Agricultura Trópica. Cali, Colombia. Pp 33.

Wheatley, C. 1991b. Calidad de las raíces de yuca y factores que intervienen en ella. *En: Mejoramiento genético de la yuca en América Latina.* Hershey, C (ed). Cali, Colombia. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). 426 p.

Zhang S.Q. y W.H Outlaw. 2001. Abscisic acid introduced into the transpiration stream accumulates in the guard cell apoplast and causes stomatal closure. *Plant Cell Environ.* 24:1045-1054.