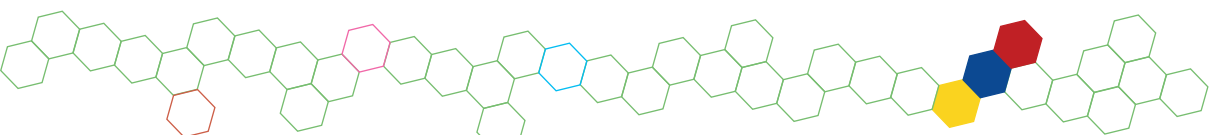


Sistema de **siembra** y **uso eficiente de recursos**



Jaime Luis **Hernández Burgos**
Eliecer **Cabral** Herrera
Luis Carlos **Mercado Villar**
José Luis **Barrera Violeth**
Jorge **Romero Ferrer**
James Daniel **Caro Peñafiel**
Luis Fernando **Acosta Pérez**
Eliecer Miguel **Cabral** Herrera

Saula **Salcedo**
Alfredo **Jarma Orozco**
Elvia Amparo **Rosero Alpala**
Lainer **Narváez Quiroz**
Carlos Enrique **Cardona Ayala**
Félix Esteban **Pastrana Atencia**
Jairo Guadalupe **Salcedo Mendoza**



Sistema de siembra y uso eficiente de recursos

NÚCLEO

Sistemas de siembra, uso del suelo, riego y uso eficiente y racional del agua y energía

Jaime Luis Hernández Burgos
Editor

Eliecer Cabrales Herrera
Co-editor

Luis Carlos Mercado Villar
José Luis Barrera Violeth
Jorge Romero Ferrer

James Daniel Caro Peñafiel
Luis Fernando Acosta Pérez
Eliecer Miguel Cabrales Herrera
Saula Salcedo

Alfredo Jarma Orozco
Elvia Amparo Rosero Alpala
Lainer Narváez Quiroz
Carlos Enrique Cardona Ayala
Félix Esteban Pastrana Atencia
Jairo Guadalupe Salcedo Mendoza



2019

Este libro es resultado de investigación, evaluado bajo el sistema doble ciego por pares académicos.

Diego Fernando Hernández Losada

Director de Colciencias

Edgar Enrique Martínez Romero

Gobernación de Sucre

Merlys Cristina Rodelo Martínez

Secretario de Educación Departamental de Sucre

Noel Morales Tuesca

Rector de la Corporación Universitaria del Caribe- CECAR

Jhon Víctor Vidal Durango

Vicerrector de Ciencia, Tecnología e Investigación CECAR

Piedad Martínez Carazo

Directora Científica Proyecto

Andrés Vergara Narváez

Asistente Operativo del proyecto

Rafael Bustamante Lara

Coordinador de núcleos

Jorge Luis Barboza

Coordinador Editorial CECAR

Libia Narváez Barbosa

Directora Literaria

© 2019, Jaime Luis Hernández Burgos, Eliecer Cabrales Herrera, Luis Carlos Mercado Villar, José Luis Barrera Violeth, Jorge Romero Ferrer, James Daniel Caro Peñafiel, Luis Fernando Acosta Pérez, Eliecer Miguel Cabrales Herrera, Saula Salcedo, Alfredo Jarma Orozco, Elvia Amparo Rosero Alpala, Lainer Narváez Quiroz, Lainer Narváez Quiroz, Carlos Enrique Cardona Ayala, Félix Esteban Pastrana Atencia, Carlos Enrique Cardona Ayala, Jairo Guadalupe Salcedo Mendoza, autores.

ISBN: 978-958-5547-07-0 (impreso)

ISBN: 978-958-5547-16-2 (digital)

DOI:

Sincelejo, Sucre, Colombia

Sistema de siembra y uso eficiente de recursos / Jaime Luis Hernández Burgos... [y otros diez]. -- Sincelejo : Editorial CECAR, 2019.

188 páginas: ilustraciones, figuras, gráficas, tablas ; 23 cm.

Incluye referencias al final de cada capítulo.

ISBN: 978-958-5547-07-0 (impreso)

ISBN: 978-958-5547-16-2 (digital)

1. Siembra Mixta 2. Tomates épocas de siembra 3. Horticultura 4. Técnicas de cultivo 5. Fotosíntesis 6. Agua-uso I. Hernández Burgos, Jaime Luis II. Mercado Villar, Luis Carlos III. Barrera Violeth, José Luis IV. Romero Ferrer, Jorge V. Salcedo, Jairo VI. Caro P. James VII. Salcedo, Saula VIII. Narvaez, Lainer IX. Acosta, Luis X. Cabrales, Eliecer XI. Pastrana, Félix XII. Título.

631.538613 S6233 2019

CDD 21 ed.

CEP – Corporación Universitaria del Caribe, CECAR. Biblioteca Central – COSiCUC

Tabla de Contenido

CAPÍTULO 1.....	5
-----------------	---

EFFECTO DE LA DENSIDAD SIEMBRA EN EL CRECIMIENTO DE GENOTIPOS DE BATATA (*ipomoea batatas l lamb*)

Luis Carlos Mercado Villar, José Luis Barrera Violeth y Jorge Romero Ferrer

CAPÍTULO 2	23
------------------	----

CRECIMIENTO Y RENDIMIENTO DE DOS GENOTIPOS DE BATATA (*ipomoea batatas l lamb*) BAJO EL EFECTO DE TRES DENSIDADES DE SIEMBRA

Luis Carlos Mercado Villar, José Luis Barrera Violeth y Jorge Romero Ferrer

CAPÍTULO 3	47
------------------	----

DETERMINACIÓN DEL EFECTO DE LAS APLICACIONES POTÁSICAS EN LOS COMPONENTES FISIOLÓGICOS DE DOS LÍNEAS DE BATATA (*ipomoea batatas (l) lam.*) EN UN SUELO ÁCIDO DEL DEPARTAMENTO DE SUCRE

James Daniel Caro Peñafiel, Luis Fernando Acosta Pérez y Eliecer Miguel Cabrales Herrera

CAPÍTULO 4	71
------------------	----

EFFECTO DE LA FERTILIZACIÓN SOBRE LA FOTOSÍNTESIS, RENDIMIENTO Y PRODUCCIÓN DE MATERIA SECA EN EL CULTIVO DE BATATA (*ipomoea batatas l*)

Saula Salcedo, Alfredo Jarma Orozco, Elvia Amparo Rosero Alpala y Lainer Narváez Quiroz

CAPÍTULO 591

EFFECTO DE HIDRO-RETENEDORES SOBRE EL CRECIMIENTO Y DESARROLLO DEL CULTIVO DE BATATA (*ipomoea batatas* l.)

Lainer Narváez Quiroz, Carlos Enrique Cardona Ayala, Saula Salcedo y Elvia Amparo Rosero

CAPÍTULO 6119

EFFECTO DE LOS HIDRO-RETENEDORES EN EL INTERCAMBIO GASEOSO, POTENCIAL HÍDRICO Y RENDIMIENTOS DEL CULTIVO DE BATATA (*ipomoea batatas* l)

Lainer Narváez Quiroz, Carlos Enrique Cardona Ayala, Saula Salcedo y Jairo Guadalupe Salcedo Mendoza

CAPÍTULO 7139

EFFECTO DE LA APLICACIÓN DE CALCIO SOBRE EL CRECIMIENTO DEL CULTIVO DEL TOMATE (*lycopersicon esculentum*, mill), EN UN SUELO ÁCIDO DE SUCRE

Luis Fernando Acosta Pérez, James Daniel Caro Peñafiel y Eliecer Miguel Cabrales Herrera

CAPÍTULO 8159

CRECIMIENTO, DESARROLLO Y RENDIMIENTO PRODUCTIVO DEL FRIJOL CAUPÍ (*vigna unguiculata* l.) WALP.) EN RESPUESTA A DOS DISTANCIAS ENTRE HILERAS, TRES DISTANCIAS ENTRE PLANTAS Y USO DE HIDROGEL EN EL DEPARTAMENTO DE SUCRE

Félix Esteban Pastrana Atencia, Carlos Enrique Cardona Ayala y Jairo Guadalupe Salcedo Mendoza

CAPÍTULO I

Efecto de la densidad siembra en el crecimiento de genotipos de batata (*ipomoea batatas* l lamb)

Luis Carlos Mercado Villar¹, José Luis Barrera Violeth² y
Jorge Romero Ferrer³

1 Magister en Ciencias Agronómicas. agricola743@hotmail.com

2 Ciencias Agrarias. Universidad de Córdoba. jbarraera11@gmail.com

3 Ph.D. Producción Vegetal. AGROSAVIA. jromero@corpoica.org.co

Introducción

La batata (*Ipomoea batatas* L Lamb) es un alimento importante en los países en desarrollo, debido a sus sobresalientes características nutricionales con propiedades anticancerígenas y cardiovasculares. Se cultiva a nivel mundial en nueve millones de hectáreas, con una producción anual estimada en 126 millones de toneladas, siendo China el principal productor con 54 millones de toneladas (43%) (FAOSTAT, 2015). En Colombia este cultivo se produce en pequeñas explotaciones agrícolas con bajo uso de tecnologías y rendimientos por hectárea de 6,3 t.ha⁻¹; destacándose en producción el departamento Sucre que registra una producción de 125 t y un rendimiento de 13 t ha⁻¹ (AGRONET, 2015).

En Colombia, se presentan niveles bajos de aplicación tecnológica que impiden una producción masiva que generan bajos ingresos en comparación con otras raíces y tubérculos, es por ello necesario incorporar nuevas prácticas agronómicas que ayuden a mejorar tanto la calidad como los rendimientos de la batata y así poder obtener un producto con las características exigidas por los mercados. Una de estas tecnologías es la densidad de siembra (García y Pacheco, 2008) ya que una óptima densidad de siembra permite intensificar y perfeccionar las técnicas del cultivo entre los agricultores, logrando así, mayor área foliar que favorecen la intercepción de luz, lo cual incrementa la fotosíntesis y producción de biomasa, como resultado de un mayor aprovechamiento de los recursos hídricos y nutricionales (Aguilar *et al.*, 2005).

Hunt (2003) indica que el crecimiento, en el contexto de plantas individuales, puede definirse como un aumento irreversible en el tiempo y que estos cambios pueden ser en tamaño, forma y ocasionalmente en número; así mismo, dice que, por lo general, los análisis de crecimiento se hacen con materia seca en plantas anuales y perennes que crecen bajo condiciones normales.

El análisis de crecimiento es una herramienta ampliamente usada en áreas tan diferentes como en el fitomejoramiento, la fisiología de los cultivos y en la ecología de las plantas (Poorter y Garnier, 1996). Estas mediciones brindan una información más precisa acerca de la eficiencia de las plantas en la acumulación y transporte de asimilados que las mediciones

de índole agronómica (Borrego *et al.*, 2000). Estos índices de crecimiento son fundamentales para entender el crecimiento de una planta o de una población de plantas bajo condiciones ambientales naturales o controladas (Clavijo, 1989), además permiten analizar el crecimiento de la planta a través de la acumulación de materia seca, la cual depende del tamaño del área foliar, de la tasa a la cual funcionan las hojas y el tiempo que el follaje persiste (Tekalign y Hammes, 2005).

Por otra parte, la dinámica del cultivo de batata en el departamento de Sucre, Colombia, muestra tendencia hacia la reducción de la práctica de este sistema (AGRONET, 2015), lo cual es promovido por múltiples factores, entre los que se destaca, la escasa disponibilidad de estudios que ayuden a comprender el comportamiento fisiológico de distintas variedades de batata bajo la oferta ambiental de Sucre. Con base en lo anterior, se realizó la presente investigación para determinar una densidad óptima con ayuda de un análisis de crecimiento y así aportar conocimiento básico sobre su crecimiento y desarrollo, que faciliten constituir bases para un manejo específico de este cultivo.

Materiales y métodos

El ensayo se realizó en el municipio de Morroa, perteneciente a la subregión Montes de María (9° 24' 56.33" N y 75° 23' 04.19" O), ubicado al Noreste del departamento de Sucre. La formación vegetal corresponde al bosque seco tropical según Holdrige, con temperaturas entre 26 °C y 35°C y humedad relativa entre 75 y 85%. Con una precipitación media anual de 1.000 mm (Aguilera, 2013).

El ensayo se estableció en un suelo arcilloso con deficiente materia orgánica (1,2%) bajo un diseño de bloques completos al azar (DBCA) con tres repeticiones en parcelas divididas, donde la parcela principal corresponde a los genotipos (Tainung – Exportación) y sub parcela es la distancia entre plantas (0,2m, 0,5 m y 0,8 m), con un total de 18 parcelas experimentales con 120 plantas cada una y se utilizó una distancia entre surcos de 1,2 m; se utilizaron semillas asexuales (guía o bejuco) de batata (*Ipomea batatas* L Lamb) de los genotipos Tainung y exportación de 30 a 50 cm de longitud, previamente seleccionadas de plantas productivas y libres de plagas, de la parte terminal o apical. La densidad de siembra correspondiente a la descripción de 1,2 m entre surcos y 0,5 m entre planta (16600 plantas ha⁻¹) es la más utilizada por los agricultores de la zona, se tomó como el testigo.

A los ocho días después de la siembra se dio el 80 % de prendimiento, a partir de ahí se registraron cada 20 días las variables, número de hojas y peso seco de todos los órganos de las plantas mediante el secado en horno por 72 horas a 70 °C. Con la información de las variables de área foliar y materia seca se calcularon los siguientes índices fisiotécnicos según Hunt (1978): tasa relativa de crecimiento TRC ($\text{g g}^{-1} \text{d}^{-1}$), tasa de asimilación neta TAN ($\text{g cm}^{-2} \text{d}^{-1}$), tasa absoluta de crecimiento TAC (g d^{-1}), índice de área foliar IAF y tasa de crecimiento del cultivo TCC ($\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$) graficados con el programa Excel 2015. La información obtenida se sometió a un análisis de varianza, para evaluar los efectos de los factores estudiados (Genotipos y Distancia entre plantas), se realizaron contrastes ortogonales al 5% de probabilidad. Se utilizó el software SAS versión 9.1.

Resultados

Índice de área foliar (IAF)

Se observaron efectos significativos entre tratamientos a los 60 DDE y 80 DDE para las densidades mayores y menores respectivamente. Los mayores valores se alcanzaron en DP1 a los 60 DDE en ambos genotipos con 9,77 para el Tainung y 13,65 para el Exportación; los menores valores se registraron en los 80 DDE con 4,67 y 4,98 para la Tainung y Exportación respectivamente (Figura. 1.1). La dinámica del IAF estuvo regida por la fase lineal de crecimiento de estas variedades, alcanzando un valor máximo, luego comenzó a declinar gradualmente producto de la senescencia, este comportamiento fue registrado por De la casa *et al.*, (2007) en un estudio realizado para el cálculo de la radiación interceptada en papa.

El IAF presentan un crecimiento de tres fases, similar al propuesto por De la casa *et al.*, (2007) en su modelo de desarrollo de la Dosel para variedades específicas de papa; para ambos genotipos en los estados iniciales del desarrollo, los cuales son afectados por los tratamientos (densidades de plantas), ambos exhiben incrementos lineales del crecimiento hasta los 60 días después de la emergencia (DDE). A partir de los 60 DDE se observa el efecto de las densidades de plantación para ambos genotipos, no obstante DP3G2 a pesar de presentar menor índice de área foliar presenta incrementos constantes hasta los 80 DDE, por otro lado DP1G2 a pesar de presentar los mayores incrementos de área foliar, es el más afectado por las competencias; es decir, los incrementos en las densidades de población generan una disminución, en el vigor, tamaño y peso de la planta sin embargo, la biomasa por unidad de superficie aumentó en las primeras fases

hasta un máximo, estado donde las plantas suministraron mayor cantidad de asimilados a las raíces, gracias a que un IAF optimo ayuda a absorber mayor cantidad de radiación fotosintéticamente activa; comportamiento similar fue reportado por Kerby *et al.*, 1990 en algodón encontrando los mayores índices de área foliar a mayores densidades.

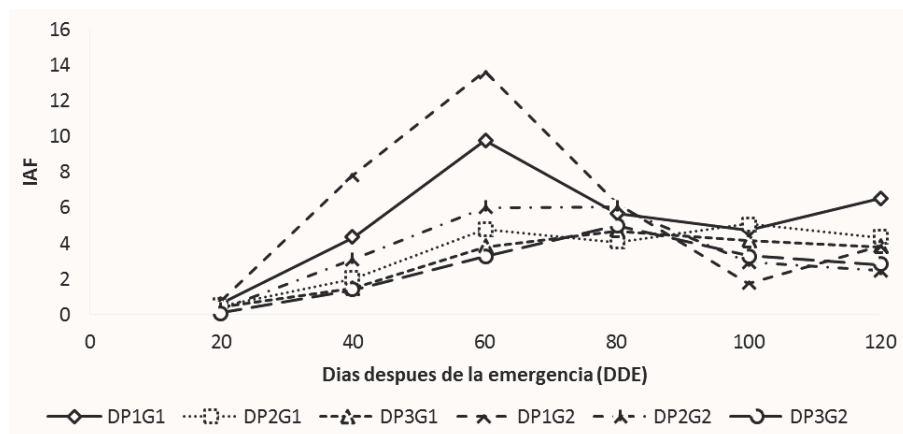


Figura 1.1. Índice de área foliar de dos genotipos de Batatas. (G1= Tainung y G2= Exportación), bajo tres distancias de siembra (DP1: 20 cm entre plantas, DP2: 50 cm entre plantas y DP3: 80 cm entre plantas) en el departamento de Sucre, Municipio de Morroa (2017).

A partir de los 60 DDE se presenta una segunda fase la cual está regida por el grado de competencia que tenga cada planta y a partir de este periodo empieza a disminuir hasta la cosecha (Aguilar-García *et al.*, 2005), a pesar de esto, las diferencias fueron disminuyendo a medida que las plantas en cada tratamiento se aproximaron a cobertura total del surco. Asimismo, una vez se alcanzó el valor de IAF máximo, la tendencia es que posteriormente no existan diferencias importantes entre el IAF en las densidades de siembra, de manera similar a lo reportado por Allen y Scott (1980) en la etapa final del ciclo en papa.

El genotipo Tainung siempre tuvo menores valores en los primeros 80 DDE, sin embargo, a partir de esta fecha registró valores mayores a la Exportación hasta la cosecha, esto está relacionado con la arquitectura de esta variedad, la cual se caracteriza por presentar un tallo erecto, de forma que el ángulo de inserción de las hojas puede facilitar la exposición de las mismas a la radiación y así incrementar la eficiencia en la producción de

biomasa, como lo reporta en papa Santos Castellanos *et al.*, (2010) en la variedad esmeralda en el municipio de Zipaquirá - Colombia.

El genotipo Exportación registró valores más altos de IAF que el Tainung, donde las mayores densidades de siembra dieron origen a mayores IAF, indicando una mayor cobertura de la planta por unidad de suelo, condición que puede relacionarse con la mayor partición de asimilados desde las hojas hacia las raíces tuberosas.

Los valores máximos registrados en esta investigación difieren por los registrados en batata por Moreira *et al.*, (2011) los cuales obtuvieron valores máximos de IAF de 2,8 en la variedad Brazlândia Branca, sin embargo, el comportamiento fue similar al registrado por Barraza *et al.*, (2004) donde evaluó el efecto de tres densidades de siembra en tomate chonto. Los valores obtenidos de IAF en esta investigación se consideran altos, ya que según Folquer (1978), un índice de área foliar adecuada a la producción de raíces debe alcanzar, en la fase de máximo desarrollo vegetativo, valores entre 3 y 4.

Tasa de asimilación neta (TAN)

De acuerdo a la Figura 1.2, se presenta una disminución constante hasta los 60 DDE de todos los tratamientos observándose un valor común de $0,0001 \text{ g cm}^{-2}\text{d}^{-1}$ sin diferencias significativas entre los tratamientos a excepción de DP2G2 quien presenta un incremento los primeros 60 DDE para luego descender hasta los 80 DDE como los demás tratamientos.

A partir de los 80 DDE hasta la cosecha (120 DDE), se presentan variaciones en ambos genotipos influenciadas por los tratamientos aplicados, donde DP2G2 fue diferente presentando los mayores valores de TAN con $0,0003 \text{ g cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$, seguido por DP3G2 y DP3G1 con $0,0002 \text{ g cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$; por otro lado, los menores valores de TAN se presentaron en las mayores densidades de siembra con $-0,0001 \text{ g cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$ y $0,00002 \text{ g cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$ para el Exportación y Tainung respectivamente.

Los valores de este parámetro tuvieron un comportamiento similar a lo expuesto por Hunt (2003) quien afirma que la TAN exhibe en general un valor constante relativo modificado por las características del ambiente circundante durante el crecimiento de las plantas.

Efecto de la densidad siembra en el crecimiento de genotipos de batata
(*ipomoea batatas* l lamb)

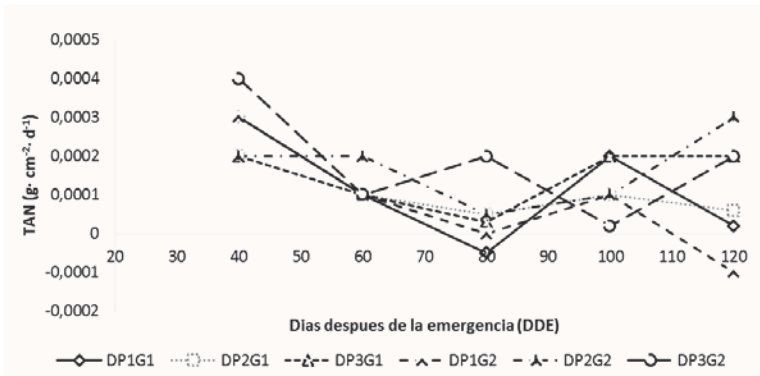


Figura 1.2. Tasa de asimilación neta (TAN) de dos genotipos de Batatas. (G1= Tainung y G2= Exportación), bajo tres distancias de siembra (DP1: 20 cm entre plantas, DP2: 50 cm entre plantas y DP3: 80 cm entre plantas) en el departamento de Sucre, Municipio de Morroa (2017)

De acuerdo con la figura 1.2 se presenta un descenso en la medida que se producen más hojas y las inferiores van quedando sombreadas y sus tasas fotosintéticas disminuyen en relación directa a la disponibilidad de radiación solar, este efecto disminuye en la menor densidad de siembra para ambos genotipos (DP3G1 y DP3G2) porque favorece la captación de la radiación y evita autosombrimiento entre las hojas e incrementa la fotosíntesis neta, caso similar registraron Barraza *et al.*, (2004) en un estudio del crecimiento del tomate en el valle de Sinú, Colombia.

Los valores negativos observados a los 80 y 120 DDS se debió a una reducción considerable en el número de hojas y del diámetro del tallo en los tratamientos DP1G1 y DP1G2; esto relacionado muy probablemente a la movilización de los asimilados hacia las raíces tuberosas (Segura *et al.*, 2006), órganos donde se reservan la mayor parte de los contenidos nutritivos; luego las plantas, en su desarrollo, movilizaron los asimilados a los tubérculos, y se fueron secando las hojas y los tallos, caracterizando el fin del ciclo del cultivo o senescencia (Piñeros, 2009).

Estas variaciones pueden presentarse por la diferencia en los periodos de competencia entre las plantas, influenciados por el autosombramiento y por los distintos periodos de engrosamiento de la raíz en cada tratamiento, debido a los máximos valores de la TAN se alcanzan por las altas demandas de fotoasimilados de los órganos de interés, resultados similares encontraron Criollo y García, (2011) en papa. Por otro lado, Defilipis *et al.*, (2003) encontraron valores fluctuantes de TAN en plántulas de Brassica hasta 31

días después de plantado el semillero, explicados por el rápido desarrollo del sistema radicular en edades tempranas.

Tasa de crecimiento del cultivo (TCC)

En la Figura 1.3, se observa que presentaron variaciones en los distintos genotipos influenciados por las densidades de siembra, se observan efectos significativos de los tratamientos a los 60 y 100 DDE donde las menores densidades de siembra en ambos genotipos (DP1G1 y DP1G2), obtuvieron los valores más altos con $0,0012 \text{ g cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$ para el Exportación y $0,0015 \text{ g cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$ para el Tainung, sin embargo, estas densidades registraron los menores valores a los 120 DDE con $0,0002 \text{ g cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$ Por otro lado DP2G2 mantuvo promedios constantes en el tiempo lo cual conllevó a que presentara a los 120 DDE mayor biomasa seca con $0,001 \text{ g cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$, seguido por DP3G1 que registro $0,0008 \text{ g cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$; por otro lado también se observó un efecto significativo a los 80 DDE en el tratamiento de mayor densidad de siembra donde se registró un valor negativo en el genotipo Tainung.

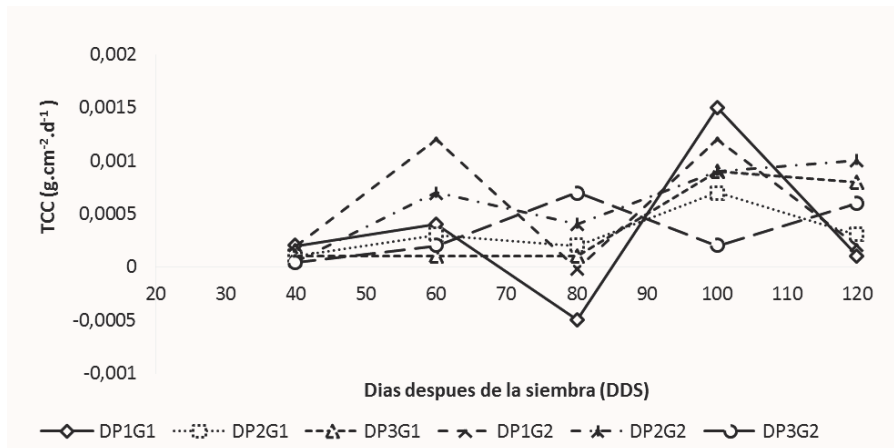


Figura 1.3. Tasa de crecimiento del cultivo (TCC) de dos genotipos de Batatas. (G1= Tainung y G2= Exportación), bajo tres distancias de siembra (DP1: 20 cm entre plantas, DP2: 50 cm entre plantas y DP3: 80 cm entre plantas) en el departamento de Sucre, Municipio de Morroa (2017).

Este comportamiento (Figura 1.3) es debido a que las plantas en las primeras etapas de desarrollo hay mayor crecimiento en la parte foliar y por lo tanto mayor acumulación de materia seca en el tiempo lo cual es influenciado por la distancia entre plantas, en cuanto a la disminución de estos valores, es producto de la relación fuente - vertedero donde la raíz

tiende a ser el órgano de mayor demanda de fotosimilados reflejando en el descenso de la dosel, tal comportamiento fue similar al registrado por Barraza *et al.* (2004) en tomate (*Lycopersicon esculentum*), en donde la TCC aumentó rápidamente hasta alcanzar un máximo, y posteriormente este índice decreció en forma acelerada al momento del llenado del órgano de interés.

El valor negativo de DP1G1 a los 80 DDE es producto de la disminución en el número de hojas, debido a la redistribución de fotoasimilados, influenciados por la tuberización de raíces, no obstante, después de la reducción hay un aumento rápido debido a las condiciones favorables del ambiente circundante como lo señala Carranza *et al.*, 2009 en el análisis de crecimiento en un cultivo de lechuga en la sabana de Bogotá.

El descenso rápido a los 120 DDE de las mayores densidades de siembra puede atribuirse a la senescencia foliar de las plantas de estos tratamientos, producto de la exigencia fotosintética propiciado por la mayor competencia entre las plantas y al menor potencial de vertedero presentado en la etapa de madurez de la raíz; resultados similares obtuvo Gil y Miranda, (2011) los cuales evaluaron cinco sustratos en plantas de papaya. En condiciones de alta densidad poblacional, se acelera la senescencia debido a la reducción del contenido de clorofila y de la radiación interceptada durante el ciclo del cultivo, este comportamiento es similar a los registrados por Borrás *et al.*, (2003), Antonietta, (2013) en híbridos de maíz bajo altas densidades.

Tasa relativa de crecimiento (TRC)

Se observó un efecto significativo de los tratamientos a los 40 DDE presentando los mayores valores entre un rango de 0,06 y 0,12 g g⁻¹ d⁻¹, teniendo DP3G2 el mayor valor con 0,12 g g⁻¹ d⁻¹; sin embargo, estos valores disminuyeron hasta los 80 DDE; a partir de esta fecha la velocidad disminuyó progresivamente hasta alcanzar los menores valores sin diferencias significativas a los 120 DDE, con el menor registro para DP1G2 con -0,005 g g⁻¹ d⁻¹ y el máximo para DP3G2 con 0,015 g g⁻¹ d⁻¹. Esta tendencia fue un poco diferente en DP2G2 ya que a pesar de estar por debajo en los valores de TRC en las primeras fases fue uno de los menos afectados al final del ciclo con una TRC de 0,015 g .g⁻¹.d⁻¹ (Figura. 1.4).

En la Figura 1.4, ambos genotipos presentaron los valores más altos en las primeras fases, en éstas los tejidos jóvenes poseen mayor actividad biológica y capacidad de síntesis, ambos mostraron un comportamiento similar en casi todos los tratamientos aplicados durante el ciclo; la disminución rápida en los primeros 80 DDE se generó porque las plantas en los primeras fases de desarrollo gastan sus reservas, con lo cual se presenta un gasto alto de energía debido a la respiración de crecimiento (Abad *et al.*, 2004). En cuanto a la disminución de esta velocidad en la TRC a partir de los 80 DDE se debe a que se incrementa la materia seca, con lo cual la respiración de mantenimiento se hace mayor que en la etapa anterior, y por tanto disminuye la TCR gradualmente; en cuanto a los valores negativos se observaron en la fases de llenado de raíz y cosecha, es posible que esta situación se deba, a que en las primeras etapas de desarrollo para este tratamiento la mayor concentración de materia seca las tenía en las hojas, al disminuir drásticamente en número de éstas, por efecto de la senescencia de las hojas inferiores influenciadas por el efecto del tratamiento (DP1G1), hizo que esta variable registrara valores negativos; además el órgano de interés para esa etapa demanda mayor cantidad de asimilados lo que influye también en el comportamiento arriba descrito.

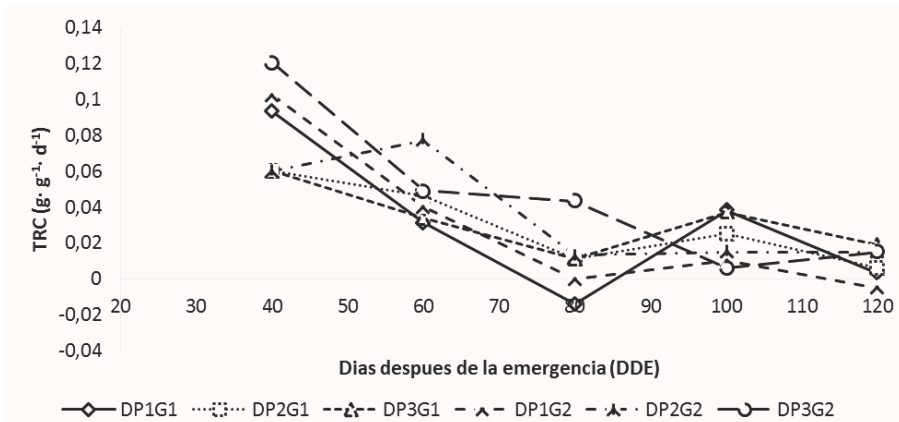


Figura 1.4. Tasa relativa de crecimiento (TRC) de dos genotipos de Batatas. (G1= Tainung y G2= Exportación), bajo tres distancias de siembra (DP1: 20 cm entre plantas, DP2: 50 cm entre plantas y DP3: 80 cm entre plantas) en el departamento de Sucre, Municipio de Morroa (2017).

Según Pérez *et al.*, (2006) el crecimiento de una parte de la planta consume sustancias nutritivas, y como resultado disminuye su concentración en los canales de suministros adyacentes, se establece un gradiente de concentración que parece producir automáticamente el movimiento de otros materiales desde los órganos que incorporan o fabrican sustancias, o que simplemente las ceden con la edad. Por otro lado, ascenso rápido observado a los 100 DDS es producto de las condiciones medio ambientales ya que para ese periodo se registraron lluvias con un promedio de 7,48 mm día⁻¹ lo que condujo a un ascenso rápido del área foliar.

El comportamiento de la TRC sigue una tendencia acorde con lo observado por Jarma *et al.*, (1999) donde la TRC inicialmente presentó valores altos que fueron disminuyendo conforme avanzó el ciclo de vida del cultivo. Esta tendencia decreciente coincidió con la reportada por Mazorra *et al.*, (2003), en un estudio realizado en uchuva (*Physalis peruviana*) como también por Barraza *et al.*, (2004) en tomate estos reportaron que existe correlación entre el proceso de crecimiento y desarrollo de diversas partes de la planta, explicándose en términos del suministro y la demanda en la planta; así también coincidió con los resultados obtenidos por Jarma *et al.*, (2006) quienes determinaron que después de los 60 DDS, las altas radiaciones son las más recomendables para generar incrementos en la TRC.

Tasa absoluta de crecimiento (TAC)

En la Figura 5 se observa un efecto significativo de los tratamientos a los 80 y 100 DDE. Se registraron los mayores valores en acumulación de materia seca total en los tratamientos de menor densidad de siembra, a los 80 DDE para el Exportación en DPEG2 con 8,46 g.d⁻¹ y 8,56 g.d⁻¹ a los 100 DDE para el Tainug, manteniendo este último el mayor valor de materia seca total a los 120 DDE con 7,75 g.d⁻¹; los menores valores se registraron en los tratamientos DP1G1 y DP1G2 con 0,39 y -0,96 g.d⁻¹.

|

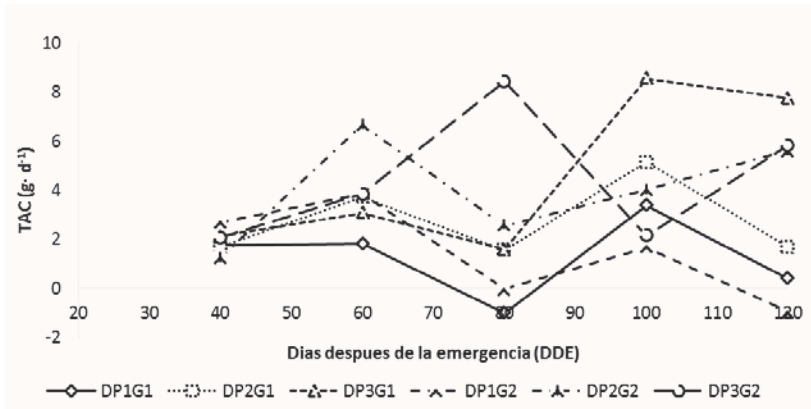


Figura 1.5. Tasa absoluta de crecimiento (TAC) de dos genotipos de Batatas (G1= Tainung y G2= Exportación), bajo tres distancias de siembra (DP1: 20 cm entre plantas, DP2: 50 cm entre plantas y DP3: 80 cm entre plantas) en el departamento de Sucre, Municipio de Morroa (2017).

Los valores máximos se dieron en los tratamientos DP3G1 y DP3G2 (Figura 1.5) gracias a que tuvieron mayor desarrollo foliar y de raíces tuberosas, generado por el efecto de los tratamientos lo cual se puede explicar por el menor grado de competencia lo que genera mayor disponibilidad de recursos para su desarrollo; además este punto de incremento donde se registraron los valores altos de TAC, coincide con el momento en que se presentó un alto potencial de demanda, lo que permite corroborar la influencia de este factor en la eficiencia para la producción de materia seca de la planta.

Por otro lado, las disminuciones observadas a los 60 y 100 DDE se generaron por la pérdida de hojas por el autosombreamiento influenciados por el tratamiento y la relación fuente-vertedero, teniendo en cuenta que para este caso las raíces están llenando y son los órganos de mayor demanda (Casierra-Posada *et al.*, 2004).

Los valores negativos registrados a los 80 y 120 DDE por los tratamientos de mayor densidad se presentaron en las etapas de llenado de raíz y senescencia lo que permite inferir que la translocación de asimilados generó pérdidas considerables de las hojas lo que generó este decrecimiento. Pérez *et al.*, (2006) afirman que los canales de suministros de asimilados hacia los órganos están regidos por el gradiente de concentración o por la edad del vegetal (etapas fenológicas).

De forma general, se pudo observar que en la medida que disminuimos la densidad de siembra aumenta la acumulación de materia seca en las

variedades, a pesar de esto en las primeras etapas de desarrollo, el genotipo Exportación tiende acumular más biomasa debido al mayor número de hojas que presenta por su condición genética, ya que la TAC puede alcanzar un máximo en un tiempo corto, según la especie como lo afirma Torres (1984); trabajos realizados en pepino indican que esta planta invierte, en sus estados juveniles, una gran cantidad de asimilados en las hojas para poder realizar y mantener una alta tasa de fotosíntesis, ya que en la época reproductiva la alta demanda de los frutos reduce el crecimiento de la parte vegetativa (Canizares *et al.*, 2004).

Los resultados encontrados en esta investigación concuerdan por los descritos por Flores *et al.*, (2009) donde evaluaron el efecto de la densidad de siembra en papa encontrando que una alta densidad de población (45 plantas·m⁻²) en cultivo hidropónico en invernadero con la variedad Gigant, disminuyó la acumulación de biomasa total.

Conclusión

El IAF se incrementó con las mayores densidades de siembra en ambos genotipos; sin embargo, las menores densidades asociadas a los menores IAF dieron origen a las mayores acumulaciones de materia seca a los 120 días después de la emergencia. Por otro lado, las menores densidades de siembra generaron los mayores valores de TAC, TRC, TCC y TAN; esto debido al menor grado de competencia y autosombreamiento, lo que generó una mayor actividad biológica y de síntesis, aumentando la fotosíntesis neta y con ello la acumulación de materia seca en los distintos órganos de las plantas de batata.

Agradecimientos

Los autores agradecen en primer lugar a Dios, al cuerpo docente de la Universidad de Córdoba – Colombia; a los amigos y familiares que contribuyeron de alguna manera en la realización de este documento.

Referencias

Abad, M.; P. Noguera y C. Carrión (2004). Los sustratos en los cultivos sin suelo en Urrestarazu, M. (e.d.) Tratado de cultivos sin suelo. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid. pp. 113-158.

- Aguilera M. (2013). Montes de María: una subregión de economía campesina y empresarial. Banco de la Republica. Centro de Estudios Económicos Regionales. Cartagena. p. 20.
- Aguilar-García, L., Escalante-Estrada, J. A., Fucikovsky-Zak, L., Tijerina-Chávez, L., y Mark-Engleman, E. (2005). Área foliar, tasa de asimilación neta, rendimiento y densidad de población en girasol. *Terra Latinoam.* Pp. 303-310.
- AGRONET, (2015). Disponible en: <http://www.agronet.gov.co/agronetweb1/Estad%C3%ADsticas.aspx>. Consultado el 30 de junio 2015.
- Allen, E.J., and R.K. Scott., (1980). An analysis of growth of the potato crop. *J. Agri. Sci. (Cambridge)*. (94):583- 606.
- Antonietta, M. A., (2013). Impacto de la senescencia foliar sobre la producción de fotoasimilados y el rendimiento de maíz (*Zea mays* L.) bajo condiciones de estrés abiótico (Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias Naturales y Museo).
- Barraza, F. V., Fischer, G., y Cardona, C. E., (2004). Estudio del proceso de crecimiento del cultivo del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en el Valle del Sinú medio, Colombia. *Agronomía Colombiana*. 22(1).
- Borrás L., Maddonni G.A., Otegui M.E., ((2003). Leaf senescence in maize hybrids: plant population, row spacing and kernel set effects. *Field Crops Research*. (82):13-26
- Borrego, F., Fernández, J. M., López, A., Parga, V. M., Murillo, M., y Carvajal, A., (2000). Análisis de crecimiento en siete variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.). *Agronomía Mesoamericana*. 11(1), 145-149.
- Canizares, K. A., Rodrigues, J. D., y Goto, R., (2004). Crescimento e índices de troca gasosa em plantas de pepino irrigadas com água enriquecida com CO₂. *Horticultura Brasileira*. 706-711.
- Carranza, C., Lanchero, O., Miranda, D., y Chaves, B., (2009). Análisis del crecimiento de lechuga (*Lactuca sativa* L.) 'Batavia' cultivada en un suelo salino de la Sabana de Bogotá. *Agronomía Colombiana*. 27(1), 41-48.
- Casierra-Posada, F., Barreto, V. E., y Fonseca, O. L., (2004). Crecimiento de frutos y ramas de duraznero (*Prunus persica* L. Batsch,

cv. »Conservero» en los altiplanos colombianos. *Agronomía Colombiana*. 22(1).

- Criollo, H., y García, J., (2011). Efecto de la densidad de siembra sobre el crecimiento de plantas de rábano (*Raphanus sativus L.*) bajo invernadero. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*. 3(2), 210-222.
- Clavijo, J. (1989). Análisis de crecimiento en malezas. *Revista Comalfi*. 15, 12-16.
- Defilipis, C., S. Parían y A. Jiménez., (2003). Caracterización del crecimiento de plantines de *Brassica rapa var. pekinensis* en contenedores. En: Jornadas de la Ciencia y la Tecnología 2003, Universidad Nacional de Luján, Argentina, <http://www.unlu.edu.ar/~riego/plantines%20Brassica-2003JCT.doc>; consulta: agosto 2005.
- De la Casa, A., Ovando, G., Bressanini, L., Rodríguez, Á., y Martínez, J., (2007). Uso del índice de área foliar y del porcentaje de cobertura del suelo para estimar la radiación interceptada en papa. *Agricultura Técnica*. 67(1), 78-85.
- FAOSTAT, (2015). FAO statistical databases. <http://faostat3.fao.org/browse/Q/QC/E> (consultado 18 nov. 2016).
- Pérez, Manuel, Báez, R. Á. M., Ayala, C. E. C., Tatis, H. A., & Robles, J. (2006). Efecto de cuatro densidades de población sobre el crecimiento del fruto de berenjena (*Solanum melongena L.*). *Temas Agrarios*. vol. 11, no 2, p. 14-25.
- Folquer, F. (1978). La batata (camote): estudio de la planta y su producción comercial (Vol. 13). Bib. Orton IICA/CATIE.
- Flores-López, R., Sánchez-Del Castillo, F., Rodríguez-Pérez, J. E., Colinas-León, M. T., Mora-Aguilar, R., y Lozoya-Saldaña, H., (2009). Densidad de población en cultivo hidropónico para la producción de tubérculo-semilla de papa (*Solanum tuberosum L.*). *Revista Chapingo. Serie horticultura*. 15(3), 251-258.
- García, A., y Pacheco Delahaye, E., (2008). Caracterización postcosecha del apio criollo cultivado en el municipio Tovar, estado Mérida-Venezuela. *Agronomía Tropical*. 58(4), 409-416.
- Gil, A. I., y Miranda, D., (2011). Efecto de cinco sustratos sobre índices de crecimiento de plantas de papaya (*Carica papaya L.*) bajo

- invernadero. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*. 1(2), 142-153.
- Hunt, R., Thomas, B., Murphy, D., y Murray, D., (2003). Growth analysis, individual plants. *Encycl. Appl. Plant Sci.* 2, 579-588.
- Hunt, R., (1978). *Plant growth analysis*. Edward Arnold Publishers, London. 67 p.
- Jarma, A., Rengifo, T., y Araméndiz-Tatis, H., (2006). Fisiología de estevia (*Stevia rebaudiana*) en función de la radiación en el Caribe colombiano. II. Análisis de crecimiento. *Agronomía Colombiana*. 24(1).
- Jarma, A., Buitrago, C., y Gutiérrez, S., (1999). Respuesta del crecimiento de la habichuela (*Phaseolus vulgaris* L. var. *Blue Lake*) a tres niveles de radiación incidente. *Revista Comalfi*. 26(1-3), 62-73.
- Kerby, A., k. Cassman y M. Keely, (1990). Genotypes and plant densities. For narrow row cotton system II. Leaf area and dry matter partitioning. The Hague, the Netherlands.
- Mazorra, M.; A. Quintana; D. Miranda; G. Fischer y B. Chaves., (2003). Análisis sobre el desarrollo y la madurez fisiológica del fruto de la uchuva (*Physalis peruviana* L.) en la zona de Sumapaz (Cundinamarca). *Agron. Colomb.* 21(3), 175-189.
- Piñeros, C. J., (2009). Recopilación de la investigación del sistema productivo papa criolla. FEDEPAPA, Convenio SADE045/06. Departamento de Cundinamarca, Colombia. 152 p. <http://www.fedepapa.com/wp-content/uploads/pdf/recopilacion-investigacion-criolla.pdf>.
- Poorter, H., y Garnier, E., (1996). Plant growth analysis: an evaluation of experimental design and computational methods. *Journal of Experimental Botany*. 47(9), 1343-1351.
- Santos Castellanos, M., Segura Abril, M., y Núñez López, C. E., (2010). Análisis de crecimiento y relación fuente-demanda de cuatro variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.) en el municipio de Zipaquirá (Cundinamarca, Colombia). *Revista Facultad Nacional de Agronomía, Medellín*. 63(1), 5253-5266.
- Segura, M.; M. Santo y C. Núñez., (2006). Desarrollo fenológico de cuatro variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.) en el municipio de Zipaquirá (Cundinamarca) *Fitotecnia Colombia*. 6 (2): 33-43.

- Tekalign, T., y Hammes, P. S., (2005). Growth and productivity of potato as influenced by cultivar and reproductive growth: II. Growth analysis, tuber yield and quality. *Scientia Horticulturae*. 105(1), 29-44.
- Torres de la N., W., (1984). Análisis del Crecimiento de las Plantas. INCA. Cultivos Tropicales. La Habana, Cuba. 38 p.

CAPÍTULO 2

Crecimiento y rendimiento de dos genotipos de batata (*ipomoea batatas* l lamb) bajo el efecto de tres densidades de siembra

Luis Carlos Mercado Villar¹, José Luis Barrera Violeth² y
Jorge Romero Ferrer³

1 Magister en Ciencias Agronómicas. agricola743@hotmail.com

2 Ciencias Agrarias. Universidad de Córdoba. jbarrera11@gmail.com

3 Ph.D. Producción Vegetal. AGROSAVIA. jromero@corpoica.org.co

Introducción

La batata es un cultivo muy valioso y de gran aceptación a nivel mundial. Se adapta a suelos de baja fertilidad con pocos insumos y aprovecha el agua remanente del suelo dándole carácter resistivo a la sequía (Nedunchezhiyan *et al.*, 2012). Además, es un producto altamente competitivo frente a los otros cultivos, debido a su alto rendimiento, bajo costo de producción y alto contenido en calidad nutricional por su importante fuente de calorías, proteínas, vitaminas, convirtiéndolo en alimento eficaz, en la lucha contra la desnutrición, pues es empleado principalmente en la alimentación de la población rural y urbano (Matamoros *et al.*, 2014).

La batata juega un papel importante en el sistema global de alimentación en países en vías de desarrollo, especialmente de los sectores menos favorecidos económicamente, cuyo cultivo genera fuentes de trabajo e ingresos a los productores, principalmente de subsistencia, garantizando la seguridad alimentaria (Alvarado, 2009). La batata es consumida en todo el mundo, su dulce sabor ha cautivado a los cinco continentes, se siembra en más de 100 países, con una producción mundial de 130 millones de toneladas, la China es el principal productor, con el 80 % del área total mundial, además la batata es el séptimo cultivo más importante del mundo, se ubica dentro de los cinco cultivos alimenticios de mayor valor (arroz, trigo, maíz, yuca), el cuarto en cantidad de materia fresca y el séptimo en el aporte de caloría (Zambrano, 2017).

El crecimiento puede ser influenciado por las densidades de plantas ya que una óptima densidad de siembra permite intensificar y perfeccionar las técnicas del cultivo entre los agricultores, logrando así, mayor área foliar que favorecen la intercepción de luz, lo cual incrementa la fotosíntesis y producción de biomasa, como resultado de un mayor aprovechamiento de los recursos hídricos y nutricionales (Aguilar *et al.*, 2005).

Hunt *et al.*, (2003) indican que el crecimiento, en el contexto de plantas individuales, puede definirse como un aumento irreversible en el tiempo y que estos cambios pueden ser en tamaño, forma y ocasionalmente

en número; así mismo, dice que, por lo general, los análisis de crecimiento se hacen con materia seca en plantas anuales y perennes que crecen bajo condiciones normales. De acuerdo con la Food and Agriculture Organization (FAO, 2014) América ocupa el tercer lugar en producción, se destacan los países como Brasil (525.814 t año⁻¹), Cuba (512.825 t año⁻¹), Haití (510.000 t año⁻¹), Argentina (336.271 t año⁻¹) Y Perú (278.293 t año⁻¹).

Según la red de información y comunicación estratégica del sector agropecuario (AGRONET, 2015), en Colombia esta raíz tuberosa es cultivada en la Costa Atlántica por pequeños productores principal mente de los departamentos de Córdoba, Magdalena, Bolívar y Sucre, con una producción de 350 t en el 2013 y un rendimiento de 6,3 t ha⁻¹. Sucre tiene una producción de 125 t anuales con tendencia a la baja debido a la disminución de las áreas cultivadas las cuales pasaron de 25 ha en el año 2008 a 10 ha en el 2013, lo cual es generado por múltiples factores, entre los que se destaca la falta de herramientas tecnológicas del cultivo como es el caso de la densidad de siembra, la cual es un factor que influye en la utilización eficiente de los recursos ambientales importantes en las plantas, tales como; CO₂, radiación, agua y nutrientes, factores que en últimas determinan la obtención de mayores rendimientos (Quevedo *et al.*, 2015).

Con base en lo anterior, se realizó la presente investigación para determinar una densidad óptima con ayuda de un estudio en el crecimiento y distribución de materia seca y así aportar conocimiento, que faciliten constituir bases para un manejo específico de este cultivo.

Materiales y métodos

El ensayo se realizó en el municipio de Morroa, perteneciente a la subregión montes de María (9° 24' 56.33" N y 75° 23' 04.19" O), ubicado al Noreste del departamento de Sucre. La formación vegetal corresponde al bosque seco tropical según Holdrige, con temperaturas entre 26 °C y 35°C y humedad relativa entre 75 y 85%. Con una precipitación media anual de 1.000 mm (Aguilera, 2013).

El ensayo se estableció en un suelo arcilloso con deficiente materia orgánica bajo un diseño de bloques completos al azar (DBCA) con tres repeticiones en parcelas divididas, donde la parcela principal corresponde a los genotipos (Tainung – Exportación) y sub parcela es la distancia entre

plantas (0,2m, 0,5 m y 0,8 m), con un total de 18 parcelas experimentales con 120 plantas cada una y se utilizó una distancia entre surcos de 1,2 m; los tratamientos se describen en la Tabla 2.1. Se utilizaron semillas asexuales (guía o bejuco) de batata (*Ipomea batatas* L Lamb) de los genotipos Tainung y exportación de 30 a 50 cm de longitud, previamente seleccionadas de plantas productivas y libres de plagas, de la parte terminal o apical. La densidad de siembra correspondiente a la descripción de 1,2 m entre surcos y 0,5 m entre planta es la más utilizada por los agricultores de la zona, se tomó como el testigo.

Tabla 2.1.

*Plan de tratamientos de densidades de siembra de dos variedades de batata (*Ipomoea batatas* L Lamb)*

TRATAMIENTOS	DESCRIPCIÓN	PLANTAS ha ⁻¹
1- TAINUNG	1,2 m entre surcos × 0,2 m entre plantas	41.500
2 – TAINUNG	1,2 m entre surcos × 0,5 m entre plantas	16.600
3 – TAINUNG	1,2 m entre surcos × 0,8 m entre plantas	10.375
4 - EXPORTACIÓN	1,2 m entre surcos × 0,2 m entre plantas	41.500
5 - EXPORTACIÓN	1,2 m entre surcos × 0,5 m entre plantas	16.600
6 - EXPORTACIÓN	1,2 m entre surcos × 0,8 m entre plantas	10.375

Nota: elaboración propia

A los ocho días después de la siembra se dio el 80 % de prendimiento, a partir de ahí se registraron cada 20 días las variables, longitud de plantas, la cual se realizó con una cinta métrica plástica milimetrada; diámetro de tallo, este fue medido a 5 cm del suelo con un nonio (con error de lectura de 0.05 cm); área foliar, medida utilizando el método gravimétrico con la relación peso: área, registrando su peso en fresco y el peso de 10 círculos cortados con un sacabocado de área conocida; número de hojas y el rendimiento se determinó a los 120 DDE donde se pesaron las raíces tuberosas de 5 plantas de cada tratamiento en una balanza de precisión (Marca AND, modelo HF-6000G con capacidad de 10000 g), en cuenta a la distribución de materia seca se tomó muestras mensuales de cada órgano que luego se secaron a 70°C por 72 horas en un horno Thermo Electron Corporation®; también se registró el peso de cada órgano para determinar el porcentaje.

La información obtenida se sometió a un análisis de varianza, para evaluar los efectos de los factores estudiados (Genotipos y Distancia entre plantas), se realizaron contrastes ortogonales al 5% de probabilidad. Se utilizó el software SAS versión 9.1.

Resultados y discusión

Longitud de plantas.

Según la Tabla 2.2, el genotipo Exportación registró la mayor longitud durante el periodo de evaluación, presentando un hábito de crecimiento extendido, por otro lado, Tainug presento un crecimiento semierecto, tal comportamiento se debió a las características genotípicas de cada material de estudio, en el cual el hábito de crecimiento extendido tiende a ser más largo que el tipo erecto como lo afirma Matamoros y Esteban, (2013) en la evaluación de 13 variedades de batata para la producción en Costa Rica.

Las densidades de siembra tuvieron un efecto directo sobre los genotipos, sin embargo en los primeros 60 DDE los genotipos tuvieron variaciones en la longitud de plantas regidas por los tratamientos en ambos materiales, a partir de esta fecha, se observó que el testigo (50 cm entre plantas) y el de menor densidad de siembra tuvieron los mayores longitudes, por otro lado, las menores longitudes las obtuvo el tratamiento de mayor densidad de siembra (20 cm entre plantas) lo que reflejo una disminución en el crecimiento de las plantas, cuando se incrementa la densidad de plantas (mayor densidad de siembra) aumenta el sombreado y disminuye la cantidad total de radiación que llega a los estratos internos del dosel es decir, la cantidad de luz roja y luz azul disminuye conforme más estratos son atravesados y proporcionalmente la cantidad de luz Rojo lejano disminuye.

Tabla 2.2.

Prueba de contrastes ortogonales para la longitud de las plantas en las distancias entre plantas para los genotipos Tainung y Exportación.

Longitud de plantas (cm)				
DDS	Genotipos	Distancia entre plantas (cm)		
		20	50	80
20	Tainung	35.44 Ab	33.77 Ab	37.50 Ab
	Exportación	50.89 Ba	79.77Aa	48.22 Ba
40	Tainung	86.17 Ab	76.67 Bb	92.83 Ab
	Exportación	131.41 Ba	133.25 Ba	190.53 Aa
60	Tainung	150.11 Ab	154.67 Ab	137.11 Bb
	Exportación	187.22 Ca	220.67 Ba	252.44 Aa
80	Tainung	167.33 Bb	194.33 Ab	187.20 Ab
	Exportación	229.89 Ca	274.66 Ba	303.71 Aa
100	Tainung	228.89 Bb	226.33 Bb	241.55 Ab
	Exportación	249.33 Ca	289.00 Ba	312.44 Aa
120	Tainung	272.00 Bb	317.50 Aa	312.00 Ab
	Exportación	315.67 Ba	308.33 Ba	344.0 Aa

*DDE, días después de la emergencia. Letras mayúsculas iguales en sentido horizontal no difieren estadísticamente y letras minúsculas iguales en sentido vertical no difieren estadísticamente según los contrastes ortogonales ($p < 0.05$).

Así mismo, otras bandas del espectro lumínico dentro del Dosel se alteran, en particular, la del azul, ya que está sujeta a una fuerte disminución cuando existe un mayor IAF en consecuencia de la absorción que realizan las clorofilas en estratos de hojas superiores. Los cambios en la cantidad

de luz azul son percibidos por fotorreceptores específicos (criptocromos y fototropinas) teniendo efectos fotomorfogénicos y fototrópicos afectando fuertemente al crecimiento (Novoplansky 2009; Sultan 2010).

Por otro lado, cuando se siembra a distintas distancias (densidades de siembra) la intensidad de competencia los afecta de forma diferente, en este sentido Clavijo (1989); afirma, cuando no hay plantas que compitan cerca de otras (mayor distancia entre plantas) el crecimiento general es mayor porque las plantas más espaciadas quedan expuestas a una mayor incidencia de radiación solar, es decir, quedan sometidas a un mayor efecto de la intensidad lumínica sobre el Dosel, lo que genera menores tasas de respiración incrementando la fotosíntesis neta debido a una mayor conductancia estomática como lo afirman Páez *et al.*, (2000) en un estudio del crecimiento en tomate bajo luz solar total y sombreado. Estos datos concuerdan con Rabines (1993) que realizó un comparativo de cinco clones de batata bajo dos densidades de siembra (0.90 m x 0.15 m) y (0.90 m x 0.20 m), en el valle de Cañete (Perú); este concluyo que la longitud de tallos por planta, tuvo una tendencia a ser mayor a la menor densidad de siembra.

Diámetro de tallo

Según la Tabla 2.3, se pudo evidenciar que el genotipo Tainug supero al Exportación debido a las características fenotípicas, en este sentido, los diámetros reportados para ambos se encuentran entre los rangos reportados por Folquer (1978) quien afirma que entre 100 y 140 DDE, los tallos de batata que miden menos de 4 mm son delgados, medianos los que estén entre 4 y 6 mm y los gruesos los tallos mayores a 6 mm.

De acuerdo a lo descrito anteriormente se considera que ambos son de tallo grueso ya que a los 120 DDE los genotipos aquí utilizados tienen un diámetro que varía entre 0,6 y 0,99 mm respecto a las distancias de siembra aquí evaluadas.

Para las tres distancia de siembra se observó un comportamiento atípico entre los tratamientos, presentado una mayor acumulación de biomasa en este órgano en los primeros 60 DDE, ya que en esta fase lineal de crecimiento, las plantas usan casi todos los carbohidratos producidos para el crecimiento de las guías y raíces absorbentes (Cusumano y

Zamudio, 2013) esto por la necesidad de la planta en obtener mayores recursos en menos tiempo en las primeras etapas de crecimiento, reflejando una acumulación de fotoasimilados en órganos como el tallo y hojas como lo reporta Hernández *et al.*, (2015) evaluando el efecto del espaciamiento entre plantas de tabaco.

Después de los 60 DDE las plantas tienen un crecimiento influenciado por efecto de los tratamientos con diferencias marcadas es decir, se da una tendencia en la cual el testigo (50 cm entre plantas) y la menor densidad tienden a ser mayores que la densidad con plantas establecidas a 20 cm entre ellas en ambos genotipos, esto se debe, por que a mayor distancia entre plantas hay mayor disponibilidad de nutrientes y mejores ofertas ambientales resultados similares fueron obtenidos por Andrades y Loaisiga (2015) en un estudio de tres densidades de siembra en tomate.

Después de los 60 DDE por efectos de la tuberización la tendencia cambia, el testigo y la menor densidad de siembra (80 cm entre plantas) tiende a desarrollar más diámetro que los demás por que a medida que las raíces tuberosas crecen, la demanda de asimilados aumenta haciendo que los tallos en este caso funcionaron como fuente de asimilados (Aguilar *et al.*, 2006). Estas variaciones también se presentan por la diferencia en los periodos de competencia entre las plantas, por el autosombreamiento y por la diferencia en el inicio de la tuberización influenciados por las distancias de plantas que dan origen a fuertes gradientes en los potenciales fuente – vertedero (Criollo y García, 2011).

Tabla 2.3.

Prueba de contrastes ortogonales para el diámetro de tallos en las distancias entre plantas para los genotipos Tainung y Exportación.

Diámetro de tallo (cm)				
DDE	GENOTIPOS	Distancia entre plantas (cm)		
		20	50	80
20	Tainung	0.44 Ba	0.42 Ba	0.49 Aa
	Exportación	0.36 Ab	0.35 ABb	0.34 Bb
40	Tainung	0.62Aa	0.56 Ba	0.58 Ba
	Exportación	0.52 Ab	0.44 Bb	0.52 Ab
60	Tainung	0.66 Aa	0.70 Aa	0.68 Aa
	Exportación	0.60 Bb	0.73 Aa	0.73 Aa

Crecimiento y rendimiento de dos genotipos de batata (*ipomoea batatas l lamb*) bajo el efecto de tres densidades de siembra.

Diámetro de tallo (cm)				
DDE	GENOTIPOS	Distancia entre plantas (cm)		
		20	50	80
80	Tainung	0.57 Ba	0.73 Aa	0.73 Aa
	Exportación	0.55 Ba	0.72 Aa	0.71 Aa
100	Tainung	0.52 Ca	0.71 Aa	0.64 Ba
	Exportación	0.45 Cb	0.61 Ab	0.56 Bb
120	Tainung	0.74 Ba	0.76 Bb	0.99 Aa
	Exportación	0.60 Bb	0.95 Aa	0.97 Aa

*DDE, días después de la emergencia. Letras mayúsculas iguales en sentido horizontal no difieren estadísticamente y letras minúsculas iguales en sentido vertical no difieren estadísticamente según los contrastes ortogonales ($p < 0.05$).

Nota: elaboración propia

Sin embargo, a los 120 DDE hay un aumento del diámetro muy marcado principalmente en el genotipo Exportación, producto de la direccionalidad de los fotoasimilados en las plantas originados por la senescencia de las hojas; comportamientos similares fueron reportados Aguilar *et al.*, (2006) en dos variedades de papa donde se realizó un análisis de crecimiento y acumulación de biomasa.

Número de hojas

De acuerdo a la Tabla 2.4, en los primeros 20 DDE se presenta igual efecto de los tratamientos sobre los genotipos, lo cual se debe, a que durante esta fase las plantas no han alcanzado el tamaño suficiente que represente competencia entre ellas por los recursos en las distancias de plantación establecidas como lo afirma Pérez *et al.*, (2005) en un ensayo donde evaluó cuatro distancias de plantas en fresa.

A partir de los 40 hasta los 120 DDE se presenta un mayor número de hojas en el genotipo Exportación, lo que coincide con la dinámica de crecimiento del tallo (Tabla 2) producto de las características genotípicas de este material. El comportamiento del número de hojas en las tres distancias de plantas, inicia con un crecimiento acelerado hasta los 60 DDE, a partir de allí hasta los 120 DDE por efectos de los tratamientos sobre los genotipos, se observa que el testigo y el de menor densidad de siembra tienden a hacer

iguales y mayores que las plantas sembradas a 20 cm entre ellas (mayor densidad).

Tabla 2.4.

Prueba de contrastes ortogonales para el número de hojas en las distancias entre plantas para los genotipos Tainung y exportación.

Número de hojas				
DDE	GENOTIPOS	Distancia entre plantas (cm)		
		20	50	80
20	Tainung	16 Ba	33 Aa	35 Aa
	Exportación	22 Ba	28 Aa	27 Ba
40	Tainung	61 Cb	79 Ba	98 Ab
	Exportación	1 0 3 Ba	93 Ba	156 Aa
60	Tainung	60 Cb	81 Bb	98 Ab
	Exportación	1 1 0 Ba	165 Aa	151 Aa
80	Tainung	39 Bb	103 Ab	101 Ab
	Exportación	1 0 1 Ca	208 Ba	325 Aa
100	Tainung	40 Ba	108 Ab	113 Ab
	Exportación	40 Ba	184 Aa	223 Aa
120	Tainung	56 Bb	99 Ab	117 Ab
	Exportación	83 Ba	144 Aa	169 Aa

*DDE, días después de la emergencia. Letras mayúsculas iguales en sentido horizontal no difieren estadísticamente y letras minúsculas iguales en sentido vertical no difieren estadísticamente según los contrastes ortogonales ($p < 0.05$).

Nota: elaboración propia

Esto porque a mayor densidad de siembra hay una producción más rápida de foto asimilados, haciendo que la relación fuente - vertedero sea descompensada producto de la disponibilidad de nutrientes como el nitrógeno, lo que genera un incremento en los pigmentos clorofílicos (más verdes) por el efecto del autosombreamiento generando gastos considerables de energía, como también el tiempo de iniciación de tuberización para esta densidad, debió ser a más temprana edad fisiológica, redistribuyendo los asimilados de las hojas disminuyendo su longevidad porque medida que va creciendo la raíz tuberosa y tomando mayor potencia como demanda de

la fotoasimilados, comienzan a extraer rápidamente los elementos de las hojas, caso contrario ocurrió en las menores densidades, donde la absorción y distribución de nutrientes fue más equilibrada. Este comportamiento fue reportado por Arcila y Chaves, (1995); Olalde-Gutiérrez *et al.*, (2000) y Rojas *et al.*, (2007) quienes afirman que a densidades altas en yuca, cafetero y girasol hay una competencia intra específica por luz y nutrientes que origina la caída de las hojas menos expuestas.

Por otro lado, se observó un aumento en el número de hojas entre los 100 y 120 DDE en el tratamiento de mayor densidad de siembra, debido al efecto de la competencia, lo que género, como mecanismo de defensa, un incremento en el número de hojas, este incremento originó un descenso en el número de raíces tuberosas debido a la redistribución de fotoasimilados hacia los nuevos brotes de hojas. Lo cual ocurre, debido a que las plantas en condiciones de estrés pueden tener crecimientos compensatorios en la morfología y fisiología minimizando los efectos dañinos. Retuerto y Woodward (2001) examinaron la capacidad de plantas de *Sinapis alba* para compensar las pérdidas en el crecimiento inducidos por la densidad de siembra (estrés abiótico) encontrando que la capacidad de las plantas para compensar las pérdidas derivadas de crecer en situaciones de elevada densidad fue menor, siendo mayor la biomasa de las plantas que habían crecido en condiciones de menor densidad, aunque las diferencias no llegaron a ser significativas; concluyendo que bajo condiciones propicias, las plantas pueden compensar los efectos perjudiciales de condiciones desfavorables, dependiendo de la intensidad, duración y tipo de estrés experimentado. Así mismo, las plantas pueden manifestar prioridades a la hora de recuperar daños o estructuras en las plantas.

Área foliar

Se observa en la Tabla 5 que el genotipo Tainung tuvo un mejor desarrollo del área foliar en los primeros 20 DDE en la menor densidad de siembra, a pesar de esto, fue superado por el exportación en la mayor densidad de plantación(20 cm entre plantas) a los 40 y 60 DDE; a partir de los 80 DDE el Tainung fue mayor que el exportación hasta la cosecha (120 DDE) en todos los tratamientos a excepción de la mayor y menor densidad (20 y 80 cm entre plantas) a los 80 DDE donde fueron iguales; esta diferencia en área foliar pudo ser influenciada por la morfología de la

variedad y por la adaptabilidad a las condiciones medio ambientales en las que están creciendo ambas variedades, resaltando que la Tainung tenía menor número de hojas pero el tamaño de estas era mayor.

El área foliar de los genotipos en las densidades de siembra, fue ascendente en los primeros 80 DDE, para luego descender hasta el final (120 DDE) en las tres densidades de siembra; esto se debe porque en primera instancia ocurre una alta actividad metabólica y los procesos anabólicos actúan sobre los catabólicos (Coll *et al.*, 1992). Así mismo, los carbohidratos y otros compuestos formados son utilizados en el desarrollo de los órganos vegetativos, por otro lado, el descenso que se observa es producto de la redistribución de fotoasimilados de las hojas hacia el órgano de interés (raíz tuberosa), lo que provoca la pérdida de hojas por senescencia como lo afirma Porras *et al.*, (1997) quienes evaluaron genotipos de soya en diferentes arreglos de siembra, durante la senescencia disminuyó la velocidad de la fotosíntesis, los contenidos de almidón, proteínas y ARN; paralelo a estos cambios se produce un aumento de la respiración que precede a la muerte de las hojas. Este proceso ocurre de manera irreversible, pero varía según la especie (Medina *et al.*, 1996; Coll *et al.*, 1992).

Tabla 2.5.

Prueba de contrastes ortogonales para el área foliar en las distancias entre plantas para los genotipos Tainung y Exportación.

DDE	GENOTIPOS	Distancia entre plantas (cm)		
		20	50	80
		Área (cm ²)		
20	Tainung	1529.39 Ca	2963.16 Ba	4306.48 Aa
	Exportación	1928.77 Aa	1988.16 Aa	1977.18 Ab
40	Tainung	10386.22 Ab	12090.57 Aa	14072.31 Aa
	Exportación	18836.90 Aa	18630.06 Aa	13348.54 Aa
60	Tainung	23446.73 Bb	28640.68 Ba	36196.42 Aa
	Exportación	32752.39 Aa	36140.53 Aa	31202.41 Aa
80	Tainung	13700.81 Ca	24265.54 Bb	44823.32 Aa
	Exportación	15038.85 Ca	36268.44 Ba	47802.01 Aa
100	Tainung	11415.64 Ca	30621.28 Ba	40106.32 Aa
	Exportación	4191.90 Cb	17645.75 Bb	31656.43 Ab

Crecimiento y rendimiento de dos genotipos de batata (*ipomoea batatas l lamb*) bajo el efecto de tres densidades de siembra.

DDE	GENOTIPOS	Distancia entre plantas (cm)		
		20	50	80
		Área (cm ²)		
120	Tainung	15639.81 Ca	25920.61 Ba	36330.02 Aa
	Exportación	9224.33 Cb	14908.72 Bb	26964.75 Ab

*DDE, días después de la emergencia. Letras mayúsculas iguales en sentido horizontal no difieren estadísticamente y letras minúsculas iguales en sentido vertical no difieren estadísticamente según los contrastes ortogonales (p< 0.05).

Nota: elaboración propia

También coincidió con lo señalado por Fontes *et al.*, (2005) que observaron el mismo patrón de desarrollo del área foliar con un descenso en su ritmo de crecimiento hacia el final del ciclo en pimentón, para diferentes épocas de muestreo, de igual forma fue reportado por Santos *et al.*, (2010) en papa (*Solanum tuberosum* L.) bajo condiciones de Zipaquirá - Colombia, donde los máximos incrementos de área foliar, coincidieron con el inicio de tuberización para ambas variedades.

Los mayores valores de AF en ambas variedades se registraron entre los 60 y 100 DDE en las tres distancias de siembra; tal comportamiento concuerda con la variable número de hojas, lo cual era de esperar que para esta etapa hay mayor desarrollo foliar y con ello mayor intersección de luz aumentando así la eficiencia fotosintética de las plantas, como lo afirman Criollo y García, (2011) en una investigación en rábano.

Respecto a las distancia entre plantas, se observa que la menor densidad de siembra (80 cm entre plantas) fue superior desde las primeras etapas de desarrollo, con respecto al testigo y la mayor densidad, lo cual fue consecuente con el mayor número de hojas (Tabla 4) debido al menor grado de competencia de las plantas lo que conlleva a mayor disponibilidad de nutrientes por área generando una mayor actividad fotosintética laminar de las plantas; con esto se genera mayor área foliar y ambiente favorable, siendo capaces de utilizar mejor la energía solar favoreciendo la eficiencia fotosintética. Estos resultados difieren a los reportados por Barraza *et al.*, (2004) en tomate, evaluando el efecto de cuatro densidades de plantación, reportando mayor área foliar en la mayor densidad de plantación.

Rendimiento

Los genotipos no presentaron diferencias significativas en la mayor y menor densidad de plantación (20 y 80 cm entre plantas) (Tabla 2.6), no obstante, a 50 cm entre plantas, el genotipo Exportación registró los mayores valores, superando a la Tainung en 7327,18 kg ha⁻¹. Debido a que se dieron las condiciones óptimas para que las plantas establecidas en el tratamiento control, tuvieran un mayor aprovechamiento de los recursos medio ambientales de la zona, lo que generó un mayor número de hojas y longevidad de estas en el genotipo Exportación, favoreciendo la eficiencia fotosintética y con ello los rendimientos. Resultados similares fueron reportados en yuca por Girón y Alfonso (2000) quienes señalan que los mayores rendimientos los obtuvieron con distancias más espaciadas utilizando el cultivar Negrita.

El mayor rendimiento en fresco de raíces comerciales, para el genotipo Tainung se obtuvo en las densidades más bajas (50 y 80 cm entre plantas), siendo iguales con una media de 10314 kg ha⁻¹, duplicando el valor registrado en la mayor densidad de población para este genotipo.

En el genotipo exportación, la menor y mayor densidad de población fueron iguales con un promedio de 9749,78 kg ha⁻¹, mientras que el tratamiento testigo produjo 17412.67 kg ha⁻¹, registrando esta densidad (50 cm entre plantas) el mayor valor entre los genotipos y distancias entre plantas, resultados que concuerda con los que obtuvo Chamba (2008) que utilizó dos densidades de siembra, registrando rendimientos de 17 t ha⁻¹; los cuales son muy semejantes a los rendimientos que se obtuvieron en esta investigación.

Tabla 2.6.

Prueba de contrastes ortogonales para el rendimiento, influenciadas por las distancias entre plantas para los genotipos Tainung y Exportación bajo la oferta ambiental del departamento de Sucre, Municipio de Morroa- agosto (2017).

Variable	Genotipos	Distancia entre plantas (cm)		
		20	50	80
Rendimiento en fresco (Kg.ha ⁻¹)	Tainung	5,164.33Ba	10,085.49 Ab	10,542.52Aa
	Exportación	8,859.86Ba	17,412.67 Aa	10,639.70 Ba

Nota. Letras mayúsculas iguales en sentido horizontal no difieren estadísticamente y letras minúsculas iguales en sentido vertical no difieren estadísticamente según los contrastes ortogonales ($p < 0.05$).

Para el factor distancia de plantación, el rendimiento en peso fresco mostró un incremento significativo conforme disminuyó la densidad de plantación; es decir, las plantas más espaciadas tuvieron los mayores rendimientos, esto debido a que tenían una mayor disponibilidad de recursos, favoreciendo una eficiencia durante su desarrollo (Getachew *et al.*, 2012).

El comportamiento diferencial en los rendimientos registrado entre la mayor y menor distanciamiento entre plantas concuerda por los encontrados por Rivera (2000) quien evaluó 10 densidades de siembra en el cultivo de la Jícama, concluyendo que a menor densidad de siembra (mayor distanciamiento entre plantas), se obtienen pesos totales mayores en las raíces de este cultivo.

Los rendimientos de la investigación concuerdan con los resultados de Aguilar y Orlando (2015) que evaluaron la respuesta del cultivo de batata a la aplicación de cuatro tipos de abonos orgánicos, con una baja densidad de siembra (20000 plantas ha⁻¹) obteniendo como máximo rendimiento 14,70 t ha⁻¹. Cabe decir que los resultados de los rendimientos en esta investigación, superan el rendimiento promedio nacional, que varía entre 6,0 y 6,3 t ha⁻¹ pero semejantes al del departamento de Sucre que esta entre 10 y 13 t ha⁻¹ (AGRONET, 2015).

Distribución de masa seca por órganos en la planta

De acuerdo a la Figura 2.1, la materia seca de raíz en los primeros 60 DDE no se observó diferencias significativas entre los tratamientos, variando

entre 0,5 y 21 %, momento en el cual las plantas tienen características similares entre los tratamientos, porque están empezando la tuberización de las raíces por lo tanto los foto asimilados se distribuyen en su gran mayoría para la parte aérea; como lo afirma Aguilar *et al.*, (2006) en dos variedades de papa donde se realizó un análisis de crecimiento y acumulación de biomasa.

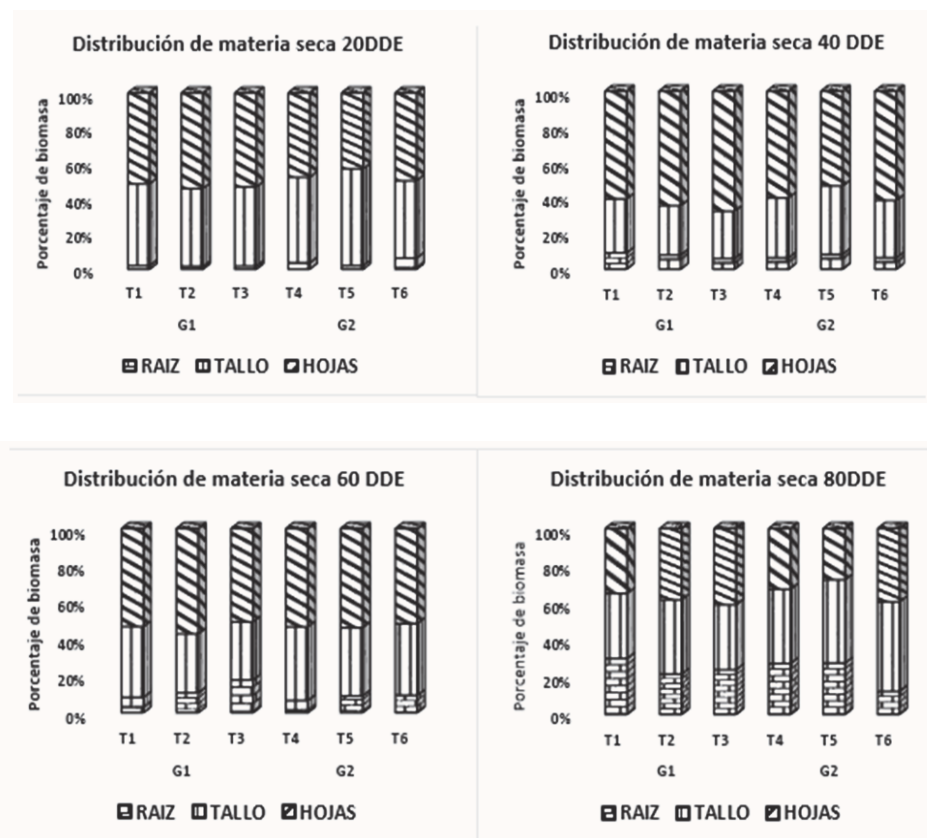
En los 80 DDE se presenta un aumento en la materia seca de raíz, la variedad Tainung tuvo mayor acumulación a mayor densidad de plantación (T1) con un 23 % en la Exportación se observaron en las densidades establecidas con plantas a 20 y 50 cm (T4 y T5) con un 21 %. A los 100 y 120 DDE el genotipo Exportación tiene la mayor acumulación de materia seca de raíz, presento el mayor porcentaje en los tratamientos de menor densidad de plantación, T2 y T3 para la Tainung, oscilando entre 21 y 33 %; la exportación oscilo entre 40 y 50 % entre los tratamientos T5 y T6. Ninaquispe (1998) señala que las variedades de camote tienen diferente porcentaje de materia seca de raíz, dependiendo la variedad, teniendo como promedios 29,12% para el camote amarillo 31,20% para el morado y 32,05% para el camote blanco.

Se evidencia que existe una prevalencia del factor genético, dado que el genotipo exportación tuvo los mejores porcentajes de materia seca, que, influenciado por la densidad de siembra, se registraron variaciones, pero, sin embargo, siempre superando a el Tainug a momento de cosecha. Los datos en esta investigación difieren para el genotipo Exportación, pero son similares a el Tainung de acuerdo a lo registrado por Zambrano (2017) para dos variedades de batata encontró porcentajes de raíz entre 28,55 y 30,77 %; al igual que Arana *et al.*, (2017) que evaluó el efecto de cuatro distancia entre plantas en tres clones de batata, registro porcentajes de 27,53 y 30,40 %

Respecto a la materia seca de tallo se presentó a los 60 DDE un rango entre 30 y 40 % en porcentaje de acumulación para este órgano. A partir de los 80 DDE se presenta un variación influenciada por distancia entre plantas, donde la mayor densidad de plantación (20 cm entre plantas) tuvo una aumento entre el 10 y 20 % en acumulación de materia seca en el genotipo Tainung, sin embargo, el Exportación se mantuvo igual para este tratamiento (20 cm entre plantas) pero disminuyó alrededor de un 15 % en las menores densidad de población (T5 y T6), tal comportamiento es

debido a que las plantas cuando están a mayor competencia hay menor penetración de luz lo que provoca una mayor acumulación de materia seca que se refleja en una elongación del tallo (Van de Vooren *et al.*, 1986).

En la materia seca de hojas se presenta una diferencia entre los genotipos a los 20 DDE, siendo el Tainung mayor que el Exportación con un promedio entre variedades de 50 y 40 % respectivamente lo que infiere una mejor adaptabilidad fenotípica a las condiciones medio ambientales circundantes del genotipo Tainung para esta etapa (Grüneberg *et al.*, 2005).



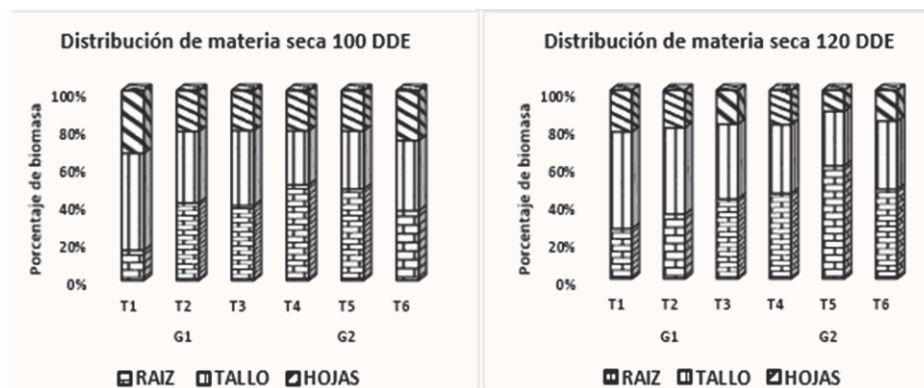


Figura 1. Distribución porcentual de biomasa en dos genotipos de batata (*Ipomoea batatas* L Lamb), bajo el efecto de tres distancias de siembra.

A los 40 DDE se presentan los mayores valores de biomasa seca en las hojas, siendo iguales entre genotipos y tratamientos, con una variación entre 50 y 60 %. A partir de esta fecha hay una disminución progresiva hasta los 120 DDE, donde los genotipos son iguales, pero difieren entre los tratamientos, con 20 % para la mayor densidad de siembra y 15 % para el tratamiento control y la menor densidad.

El descenso en la biomasa seca de las hojas puede explicarse por lo expuesto por Ho *et al.*, (1984) quienes afirman que una vez la hoja alcanza su máxima expansión foliar y adquiere su máxima actividad fotosintética, se comporta como un órgano fuente de asimilados y está en capacidad de exportarlos, hasta que llega a la fase senescente donde se produce una exportación masiva de carbono de la hoja, que va acompañada por un descenso gradual de la actividad fotosintética.

Conclusiones

Las distancias entre plantas afectaron el crecimiento general de los vegetales, registrando los mayores valores de longitud de plantas, diámetro de tallo, número de hojas y área foliar en la menor densidad de siembra (80 cm entre plantas) en ambas variedades. Sin embargo, el genotipo Tainung tuvo un mayor diámetro de tallo por características genéticas propias de este genotipo al igual que el genotipo exportación en longitud de tallo.

Bajo la oferta ambiental del departamento de Sucre, las menores densidades de siembra contribuyen a obtener mayores rendimientos en las variedades de batata Tainung y Exportación con rendimientos promedios de 10314 kg ha⁻¹ y 17412,67 kg ha⁻¹ respectivamente. Las mayores densidades de siembra contribuyeron a la acumulación del 70 % de biomasa seca en la parte aérea (tallo- hojas) a los 120 DDE. El tratamiento control registro la mayor acumulación de biomasa seca de raíz a los 120 DDE en ambos genotipos.

Referencias

- Aguilar, R., y Orlando, O. (2015). Respuesta del cultivo de camote (*ipomoea batatas l.*) a la aplicación de cuatro tipos de abonos orgánicos en la zona de mira, provincia del Carchi (Bachelor's thesis, Babahoyo: UTB, 2015).
- Aguilera M. (2013). Montes de María: una subregión de economía campesina y empresarial. Banco de la Republica. Centro de Estudios Económicos Regionales. Cartagena. Diciembre de 2013. p. 20.
- Aguilar León, M. G., Carrillo Salazar, J. A., Rivera Peña, A., y González Hernández, V. A. (2006). Análisis de crecimiento y de relaciones fuente-demanda en dos variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.). Revista Fitotecnia Mexicana, 29(2).
- Aguilar-García, L., Escalante-Estrada, J. A., Fucikovsky-Zak, L., Tijerina-Chávez, L., y Mark-Engleman, E. (2005). Área foliar, tasa de asimilación neta, rendimiento y densidad de población en girasol. Terra Latinoam, 23, 303-310.
- AGRONET. (2015). Disponible en: <http://www.agronet.gov.co/agronetweb1/Estad%C3%ADsticas.aspx>. Consultado el 30 de junio 2015.
- Alvarado, K; Flores, A; López, M. (2009). Creación de bróker MKV para la exportación de camotes y otros productos agrícolas no tradicionales a España. *Agric tec*, 1,19.
- Andrades Chavarría, D. D., y Loaisiga Jarquin, F. A. (2015). Evaluación del crecimiento y rendimiento del cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) variedad Shanty en tres distancias de siembra, en condiciones de casa malla, finca Las Mercedes, UNA, Managua, 2013 (Tesis doctoral, Universidad Nacional Agraria)

- Arana Tuesta, F. I., Huanca, V., y Antonio, W. (2017). Comparativo de rendimiento de tres clones de camote (*ipomoea batatas* L.) bajo cuatro densidades de siembra en el Valle del Santa-Áncash.
- Arcila, J., y Chaves, B. (1995). Desarrollo foliar del cafeto en tres densidades de siembra. *Cenicafe* (Colombia) 46 (1): 5-20.
- Barraza, F. V., Fischer, G., y Cardona, C. E. (2004). Estudio del proceso de crecimiento del cultivo del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en el Valle del Sinú medio, Colombia. *Agronomía Colombiana*, 22(1).
- Chamba, L. (2008). Cultivo del camote para el mercado internacional. Recuperado de www.bioteconologiaproyecto09.wikispaces.com/file/.../cultivo-delcamote.doc.
- Clavijo, J. (1989). Análisis de crecimiento en malezas. *Revista Comalfi*, 15, 12-16.
- Coll, D.J., N. Rodrigo, S. Garcizr, y R. Sanchez. (1992). *Fisiología Vegetal*. Sexca Edición. pp. 341-612.
- Criollo, H., y García, J. (2011). Efecto de la densidad de siembra sobre el crecimiento de plantas de rábano (*Raphanus sativus* L.) bajo invernadero. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 3(2), 210-222.
- Cusumano y Néstor Zamudio. (2013). Manual técnico para el cultivo de batata (camote o boniato) en la provincia de Tucumán, Argentina. / Cosme. - 1a. ed. - Famaillá: Ediciones INTA, 48 p.; 27,50 x 19,00 cm.
- FAO. (2014). Rendimiento de batata en el mundo. <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC>. Consulta: Febrero, 2017.
- Folquer, F. (1978). La batata (camote): estudio de la planta y su producción comercial (Vol. 13). Bib. Orton IICA/CATIE
- Fontes, P. C. R., Dias, E. N., y Silva, D. D. (2005). Dinâmica do crescimento, distribuição de matéria seca e produção de pimentão em ambiente protegido. *Horticultura Brasileira*, 23(1), 94-99.
- Getachew, T., Belew, D., y Tulu, S. (2012). Yield and growth parameters of potato (*Solanum tuberosum* L.) as influenced by intra row spacing and time of earthing up: In Boneya Degem District, Central Highlands of Ethiopia. *Int. J. Agric. Res*, 7(5), 255-265.

- Girón, C. y E. Alfonso (2000). Manejo integrado de malezas en yuca en el estado Miranda. *Agronomía Tropical*. 50 (1):3140.
- Grüneberg J., Manrique K., Zhang D., Hermann M. (2005). Genotype X Environment Interactions for a Diverse Set of Sweetpotato Clones Evaluated across Varying Ecogeographic Varying Ecogeographic Conditions in Perú. *Crop Science* 45:2160-2171.
- Hernández Martínez, Juan M.; León González, Yarilis y Hernández García, Betty. (2015). Espaciado entre plantas y número de hojas en el tabaco negro tapado. I. Efecto en el crecimiento y desarrollo. *Cultivos Tropicales*, vol. 36, no. 1, pp. 116-121. ISSN 1819-4087.
- Ho, L. C., Hurd, R. G., Ludwing, L. J., Shaw, A. F., THORNELEY, J., y Withers, A. C. (1984). Changes in photosynthesis, carbon budget and mineral content during the growth of the first leaf of cucumber. *Annals of Botany*, 54(1), 87-101
- Hunt, R., Thomas, B., MURPHY, D., y Murray, D. (2003). Growth analysis, individual plants. *Encycl. Appl. Plant Sci*, 2, 579-588.
- Matamoros, R. C., Angulo, A. B., Esker, P., y Gómez-Alpízar, L. (2014). Evaluación agronómica de trece genotipos de camote (*Ipomoea batatas L.*). *Agronomía Costarricense*. 38(2): 67-81.
- Matamoros, C., y Esteban, R. (2013). Evaluación y selección en campo de genotipos mejorados de camote (*Ipomoea batatas L.*) para su producción en Costa Rica.
- Medina, F., Chang, W., Bracho, J., Marín, M., y Esparza, D. (1996). Efecto de la edad y el genotipo sobre el crecimiento del área foliar en el frijol (*Vigna unguiculata (L) Walp*). *Revista de la Facultad de Agronomía*, 13(1).
- Nedunchezhiyan, M.; Byju, G., y Jata, S. K. (2012). Sweet potato agronomy. *Fruit, Vegetable and Cereal Science and Biotechnology* (6), 1-10.
- Ninaquispe, P. (1998). Determinación de las condiciones óptimas de fermentación en el proceso de enriquecimiento proteico del camote Amarillo (*Ipomoea batatas L.*). (Tesis de pregrado). Universidad Nacional del Santa, Nuevo Chimbote, Perú. 110p.
- Novoplansky A. (2009). Picking battles wisely: Plant behaviour under competition. *Plant, Cell and Environment* 32(6): 726-741.

- Olalde Gutiérrez, V. M., Escalante Estrada, J. A., Sánchez García, P., Tijerina Chávez, L., Mastache Lagunas, Á. A., y Carreño Román, E. (2000). Crecimiento y distribución de biomasa en girasol en función del nitrógeno y densidad de población en clima cálido. *Terra Latinoamericana*, 18(4).
- Páez, A., Paz, V., y López, J. (2000). Crecimiento y respuestas fisiológicas de plantas de tomate cv. Río Grande en la época mayo-julio. Efecto del sombreado. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 17(2).
- Pérez de Camacaro, M., Carew, J., y Battey, N. (2005). Efecto de la densidad de plantación sobre el crecimiento vegetativo y reproductivo de la fresa CV. Elsanta. *Bioagro*, 17(1).
- Porras, C. A., Cayón, D. G., y Delgado, O. A. (1997). Comportamiento fisiológico de genótipos de soya en diferentes arreglos de siembra. *Acta Agronómica*, 47(1), 9-15
- Quevedo, y., Barragán, e., y beltrán, j. (2015). Efecto de altas densidades de siembra sobre el híbrido de maíz (*zea mays l.*) impacto. *Revista scientia agroalimentaria*, 2.
- Rabines, J. (1993). Comparativo de rendimiento de cinco clones de camote (*Ipomoea batatas L.*), bajo dos densidades de siembra en condiciones de costa central (tesis de pregrado). Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú. 100 p.
- Retuerto, R. y Woodward, F.I. (2001). Compensatory responses in growth and fecundity traits of *Sinapis alba L.* following release from wind and density stress. *International Journal of Plant Sciences* 162: 171-179.
- Rivera Méndez, CA. (2000). Evaluación del rendimiento de raíz de jícama (*Pachyrhizus erosus (L)* Urban) usando 10 densidades de siembra, bajo las condiciones de la aldea Las Delicias del Jobo, Taxisco, Santa Rosa, Guatemala. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. p. 29.
- Rojas, R., Gutiérrez, W., Esparza, D., Medina, B., Villalobos, Y., y Morales, L. (2007). Efecto de la densidad de plantación sobre el desarrollo y rendimiento del cultivo de la yuca *Manihot esculenta Crantz*, bajo las condiciones agroecológicas de la Altiplanicie de Maracaibo. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 24(1), 94-112.

- Santos Castellanos, M., Segura Abril, M., y Nústez López, C. E. (2010). Análisis de crecimiento y relación fuente-demanda de cuatro variedades de papa (*Solanum tuberosum L.*) en el municipio de Zipaquirá (Cundinamarca, Colombia). Revista Facultad Nacional de Agronomía, Medellín, 63(1), 5253-5266.
- Sultan SE. (2010). Plant developmental responses to the environment: eco-devo insights. Current Opinion in Plant Biology 13(1): 96-101.
- Van de Vooren, J., Welles, G. W. H., y Hayman, G. (1986). Glasshouse crop production. In *The tomato crop* (pp. 581-623). Springer, Dordrecht.
- Zambrano Demera, J. G. (2017). Estudio agronómico de dos variedades de camote *Ipomoea batatas L* (Bachelor's thesis).

CAPÍTULO 3

Determinación del efecto de las aplicaciones potásicas en los componentes fisiológicos de dos líneas de batata (*ipomoea batatas* (l) lam.) En un suelo ácido del departamento de Sucre

James Daniel Caro Peñafiel¹, Luis Fernando Acosta Pérez² y
Eliecer Miguel Cabrales Herrera³

1 Magister en Ciencias Agronómicas. Miembro del grupo de investigación Agricultura Sostenible, Universidad de Córdoba. jamca26@hotmail.com

2 Magister en Ciencias Agronómicas. Miembro del grupo de investigación Agricultura Sostenible, Universidad de Córdoba. aclufe@hotmail.com

3 Doctor en Ciencias del Suelo. Docente Titular Área de Suelos, Universidad de Córdoba. ecabralesh@yahoo.es

Introducción

En la división política de América Latina son considerados como importantes productores de batata (*Ipomoea batatas* (L) Lam.) los países: México, Brasil, Argentina, Perú, Haití y Cuba; en este último se considera como un vegetal de primera necesidad en la canasta familiar (Loebenstein y Thottappilly, 2009). Esta especie es de gran interés para la alimentación humana para, la obtención de alcohol, la elaboración de concentrados para animales y la producción de almidón y β -caroteno (Dhir *et al.*, 2008; Vásquez y León, 2006 y Hijmans *et al.*, 2000). En Colombia no se conocen reportes de cultivos comerciales, aunque se considera que las zonas de mayor producción para consumo doméstico son los Montes de María y las estribaciones de la Sierra Nevada de Santa Marta

Este cultivo se viene usando también como fuente para alimentación animal; el follaje de la batata (*Ipomoea batatas* (L) Lam.) tiene proteína superior a gramíneas forrajeras y el maíz. También puede ser utilizado como cobertura vegetal, por su buen desarrollo foliar, reduce marcadamente las pérdidas de suelo y de agua ocasionados por la lluvia (Raudez, y Poveda, 2004).

Los síntomas que presentan los vegetales ante la deficiencia de potasio se pueden generalizar en reducción general del crecimiento, los tallos y la consistencia general de la planta son de menos resistencia física y presentan un menor vigor de crecimiento, los frutos y semillas reducen tamaño y calidad por una deficiencia en la síntesis, las hojas tienden a enrollarse, amarillean los márgenes y luego se necrosan, las manchas avanzan hacia el centro de hoja tornándose marrones, los síntomas aparecen primero en las hojas inferiores y luego en las superiores (Rodríguez, 1992).

El crecimiento vegetal y la consecuente acumulación de materia seca están relacionadas directamente con la absorción continua de nutrimentos minerales, la cual se traduce solamente si aumenta el tamaño de la planta. En caso contrario, especialmente para la batata (*Ipomoea batatas* (L) Lam.) es caracterizada por un ciclo vegetativo corto, se deja de aprovechar el

potencial productivo de los genotipos de alto rendimiento, disponibles y accesibles en la actualidad y, por tanto, se obtienen rendimientos por debajo de una buena rentabilidad económica, con la consiguiente pérdida de competitividad y sostenibilidad (Güenkov, 1974 y Valadez, 1998).

El análisis de crecimiento presenta dos enfoques en su realización. El primero es el clásico, que implica mediciones hechas de manera precisa a intervalos continuos (1-2 semanas) sobre un número relativamente amplio de plantas. El segundo, conocido como funcional, implica mediciones a intervalos más frecuentes (2-3 días) sobre un número pequeño de plantas. Ambos enfoques proporcionan valores promedios de los cambios cuantitativos que ocurren a través de cualquier intervalo de tiempo en particular (por ejemplo, Longitud y diámetro de tallo, número de hojas, área foliar) los cuales tienen gran importancia agronómica al analizar la comunidad de plantas con un enfoque integral, debido a que ello representa el rendimiento económico que resulta de la acumulación neta de CO² asimilado durante todo el ciclo de crecimiento (Gardner *et al.*, 1990).

Los análisis del crecimiento de los cultivos, facilitan la elaboración de modelos de alta confiabilidad (Gardner et al., 1990; Hunt, 1982) y la realización de curvas que caractericen el comportamiento de las variables del crecimiento con todos los datos ajustados, obtenidos mediante variedad de modelos matemáticos no lineales entre los que sobresalen el logístico, Gompertz, Weibull y Richards, exponencial, Michelis-Menten y monomolecular (Rojas et al. 2008) y procedimientos como regresión lineal, cuadrática y logarítmica, derivada y desarrollo de modelos polinomiales, que han sido trabajados ampliamente en cultivos (Alonso *et al.*, 2003; Calvo *et al.*, 1994; Charles-Edwards *et al.*, 1986; Evans, 1972; Gardner *et al.*, 1990; Hunt y Parsons, 1974; Hunt, 1978, 1982,1990; Jean, 1984 y Krug 1985).

Los recursos genéticos deben ser evaluados para emplearlos eficientemente en la alimentación humana o animal, por lo que se necesita generar más información sobre las características fisiológicas de las plantas, su asociación con el rendimiento y la influencia con el ambiente. El rendimiento es afectado significativamente por las interacciones entre el genotipo y el ambiente (Grüneberg *et al.*, 2005).

Por la importancia que tiene la batata (*Ipomoea batatas* (L) Lam.) con fines de alimentación humana y animal y dado que existe muy poca información de sus aspectos fisiológicas de crecimiento bajo las condiciones de suelos ácidos y de fertilización potásica, se desarrolló esta investigación con el objetivo de evaluar bajo diferentes dosificaciones de Potasio, el crecimiento de algunos componentes fisiológicos y acumulación de biomasa seca en dos líneas de batata.

Materiales y métodos.

Ubicación y manejo del suelo de siembra

La investigación se llevó a cabo entre los meses de mayo y septiembre de 2017 en una casa-malla construida en los predios de la Corporación Educativa del Caribe CECAR, en Sincelejo (Sucre), Colombia, ubicada en las coordenadas geográficas con Latitud 9° 31' 08.54" y Longitud 75° 36' 72.07" y bajo las condiciones ambientales de la zona de vida bosque seco tropical (bs-T) con temperatura media de 29°C, altitud de 174 m.s.n.m, humedad relativa promedio de 78% y precipitación media anual entre 900 y 1200 mm (Aguilera, 2012). Se trabajó con suelo extraído de los primeros 20 cm de profundidad, de la finca Las Lauras, vereda Santa Rosa, municipio del Roble, departamento de Sucre (Colombia). Este suelo de características ácidas, seco a la sombra, tamizado a 2.54 cm y homogenizado. De este suelo, se tomó 1 kg para el análisis fisicoquímico inicial.

Análisis de suelos realizados

Se preparó una muestra compuesta al azar, que fue analizada en el Laboratorio de Suelos y Aguas de la Universidad de Sucre (Colombia), en el cual se realizaron los siguientes análisis, de acuerdo con las metodologías del IGAC (2006), como se señala en la Tabla 3.1.

Pretratamiento del suelo

El suelo fue tratado con una dosis equivalente a 2500 kg ha⁻¹ de un material encalate con contenido de CaO de 37,05% y MgO de 5,35% en su pureza, y 2000 kg ha⁻¹ de materia orgánica utilizando como fuente lombricompost, se dejó en incubación por 30 días; posteriormente, fue empacado en bolsas de 10 kg de capacidad.

Determinación del efecto de las aplicaciones potásicas en los componentes fisiológicos de dos líneas de batata (*ipomoea batatas* (l) lam.) En un suelo ácido del departamento de Sucre

Tabla 3.1.
Análisis químicos de suelos realizados en el ensayo.

Parámetro	Método	Referencia
pH	Potenciometría relación suelo: agua 1:1	IGAC, 2006
MO	Walkley y Black: oxidación húmeda	
P	Olsen	
Ca	Extracción con Acetato de NH ₄ 1M y pH 7	
Mg		
K		
Na		
CICT		
Al	KCl	
CICE	Sumatoria de bases y acidez intercambiable	
Cu	Doble ácido	
Fe		
Zn		
Mn		
Mo		

Nota: elaborada a partir de la metodología de IGAC 2006

Siembra y manejo agronómico del cultivo

Para esta investigación se utilizaron dos líneas de batata (*Ipomoea batatas* (L) Lam.) con códigos 0113 – 661VAL (Línea 1) y 0113 – 674C0R (Línea 2) suministradas por la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (CORPOICA) -Turipaná (Córdoba). Se utilizó semilla asexual, para lo cual se tomaron esquejes del tallo principal del cultivo donante, con una longitud de 20 centímetros y 5 nódulos. Estos fueron sembrados en pares e introducidos en el suelo hasta los dos nódulos inferiores. Las bolsas fueron ubicadas en hileras a una distancia entre de plantas de 30 cm y 100 cm entre hileras. A los 10 días después de realizada la siembra, se hizo el

raleo, eliminando un esqueje de cada una de las unidades experimentales en donde se dejó el esqueje con mayor prendimiento y vigor. Se hizo riego con una lámina de agua de 300 ml diarios, valor que resulta de un ensayo previo para llevar al suelo a la condición de capacidad de campo bajo las condiciones de la investigación.

Manejo de arvenses, plagas y enfermedades

Este manejo se realizó mediante la eliminación manual de éstas, en forma periódica y durante la investigación, no se presentaron brotes significativos de plagas o enfermedades por lo que solo se aplicó el producto comercial Cipermetrina como insecticida para el control general de insectos en los días 18, 42 y 60 después del trasplante, a razón de 1 ml por litro de agua, principalmente para mitigar, pequeños brotes de ortópteros en las dos líneas de batata (*Ipomoea batatas* (L) Lam.) cultivadas. Se observó una diversidad de insectos en su mayoría benéficos en un entorno de equilibrio natural.

Fertilización

La fertilización utilizada en las dos líneas de batata (*Ipomoea batatas* (L) Lam.) estuvo compuesta de un equivalente a 120 kg/ha de nitrógeno, donde se utilizó como fuente Urea (46% de N), aplicada de forma fraccionada en tres dosis a los 15, 30 y 45 días después del trasplante; para el suministro de fósforo, se utilizó una dosis de 80 kg/ha de la fuente DAP (18-46-0), aplicada en dos fracciones la primera en presiembra y la segunda 30 días después de trasplante, para el caso del potasio se utilizó como fuente KCl y su aplicación se hizo en dos fracciones: una al momento de la siembra de los esquejes y la segunda 30 días después del trasplante. Para el suministro de elementos menores se utilizó un fertilizante foliar completo, con aplicaciones los días 15, 30 y 45 después de la siembra, asperjando una solución con concentración de 1 ml L⁻¹.

Tratamientos empleados

Los tratamientos estuvieron en función de las dosis de potasio usando como fuente K₂O, T0: sin aplicación de potasio (K₂O), T1: 50 kg ha⁻¹, T2: 100 kg ha⁻¹, T3: 150 kg ha⁻¹, T4: 200 kg ha⁻¹, T5: 250 kg ha⁻¹ y T6: 300 kg ha⁻¹.

Variables evaluadas

- **Número de hojas:** se realizó un conteo manual que involucraba un consenso general de hojas al final del cultivo y se registraron sus valores en una Tabla de Excel elaborada para su seguimiento.
- **Longitud del tallo** (cm): se realizó con ayuda de un flexómetro, midiendo desde la base hasta el ápice del tallo principal al final del cultivo en el día 120 y expresándose en centímetro.
- **Diámetro del tallo** (mm): Se utilizó un calibrador digital de 6 pulgadas y su medición fue realizada en la base de tallo principal, todo el proceso de medición fue realizado por una misma persona para reducir el error experimental. Expresándose dicha variable en milímetros.
- **Biomasa seca aérea** (g): se tomaron submuestras de cada una de las muestras de tallo y hojas, se picaron y trozaron a menos de 1 cm de longitud, se llevarán al horno a una temperatura de 65°C, por 72 horas hasta su secado total. Luego con la ayuda de una balanza analítica fueron registrados sus pesos en gramos, estos pesos fueron relacionados con el peso total de las muestras y con base en la diferencia de peso fueron calculados los pesos totales de la materia seca para cada una de las muestras recolectadas. Se hizo al final del ciclo vegetativo y se expresó en gramos.
- **Biomasa seca de raíces** (g): se tomaron submuestras de cada una de las muestras de las raíces al azar, se picaron y trozaron a menos de 1 cm de longitud, se llevarán al horno a una temperatura de 65 °C, por 72 horas hasta su secado total. Luego con la ayuda de una balanza analítica fueron registrados sus pesos en gramos, estos pesos fueron relacionados con el peso total de las muestras y con base en la diferencia de peso, fueron calculados los pesos totales de la materia seca para cada una de las muestras recolectadas. Se hizo al final del ciclo vegetativo y se expresó en g.

Descripción del suelo experimental

El suelo arrojó la información consignada en la Tabla 2, en la que se resalta que es un suelo ácido con pH de 4.16 considerado como extremadamente ácido y en la que pocos cultivos podrían establecerse sin un tratamiento químico previo y más al considerar que los valores

medios para este parámetro debería encontrarse entre los 5.8 y 7.2 para ser ideales en el establecimiento de este cultivo. El suelo también presenta niveles de fósforo, calcio, magnesio, potasio y sodio muy bajos por lo que las necesidades nutricionales del cultivo no podrían ser satisfechas con los elementos edáficos presentes. Entre otros problemas relevantes para este suelo se encuentran: la deficiencia o valor bajo de la materia orgánica (0,38%), en la que el aporte nutricional de esta fracción no es significativo para el cultivo, ya que los niveles medios deberían encontrarse en el rango del 2 al 4%.

Tabla 3.2.

Resultados del análisis fisicoquímico del suelo utilizado para la investigación.

Parámetro	Unidades	Valor
pH		4,16
Materia Orgánica	%	0,38
Fósforo	mg/kg	5,92
C.I.C	cmol (+) /kg	11,00
Calcio	cmol (+) /kg	1,20
Magnesio	cmol (+) /kg	0,80
Potasio	cmol (+) /kg	0,01
Sodio	cmol (+) /kg	0,40
(Al + H)	cmol (+) /kg	8,94
Textura		A.F.
Arena	%	82,50
Arcilla	%	3,21
Limo	%	14,29
Saturación de Calcio	%	10,57
Saturación de Magnesio	%	7,05
Saturación de Sodio	%	3,52
Saturación de Aluminio	%	78,77
Relación Ca/Mg	Sin unidades	1,50
CE.	dS/m	37,50
Salinidad	%En pasta saturada	0,00

Nota: elaboración propia a partir de los resultados de análisis de suelos hechos por la UNISUCRE.

Los niveles de aluminio intercambiable (Al+H) fueron muy excesivos con un valor de 8,94 en un parámetro en que su rango medio debería ser menor de 1 y en los que su saturación porcentual debería ser menor al 5%, sin embargo para este caso encontramos que la saturación de Aluminio estuvo por encima de 78%, lo que deja al descubierto la alta toxicidad de este elemento para el cultivo de batata (*Ipomoea batatas* (L) Lam.) y en la que se hace necesario la utilización de enmiendas químicas para contrarrestar sus efectos. Por último, y no menos importante, se encuentra que la textura presente en el suelo corresponde a un suelo arenoso franco, en el que un 82,5% de la composición corresponde arena, lo que resulta en niveles de infiltración altos, baja retención de humedad y frecuencias de riego mayores, condiciones que no son propicias para una región como la sucreña en la que los periodos de lluvia se concentran en pocos meses al año.

Diseño experimental y análisis de los datos

El ensayo se estableció bajo un diseño completamente al azar (DCA), con dos líneas de batata, con código de manejo 0113 -661VAL (Línea 1) y 0113 – 674COR (Línea 2) ambas de pulpa de color anaranjada considerada para este estudio por su alto nivel nutricional e interés comercial. El experimento constó de 7 tratamientos y 3 repeticiones, para un total de 21 unidades experimentales con 5 sitios de siembra (bolsas de vivero) por cada línea de batata a estudiar, es decir, se tuvo un factorial 2 x 7 con 3 repeticiones y 5 sitios de siembra para un total de 210 unidades experimentales.

Las unidades experimentales se establecieron en bolsas de vivero calibre 5 con capacidad para contener 10 kg de suelo, bajo cubierta plástica en condiciones semiprotegidas. Las unidades experimentales fueron alejadas del suelo a una altura de 1 m, para evitar el contacto de la raíz con un suelo distinto al suelo de ensayo. La toma de datos se registró en tablas de Excel diseñadas para recolección de estos en campo.

En el análisis de los datos se verificó la normalidad de estos con la prueba de Shapiro Wilks, se realizó análisis de varianza mediante el programa SAS 9.2, los promedios se graficaron utilizando el programa de Excel, las funciones dadas para las curvas fueron derivadas para determinar el punto óptimo de los tratamientos y se utilizó la prueba de Tukey para

aquellas variables que presentaron efecto simple, con una probabilidad estadística significativa del 5 %.

Resultados y discusión

Número de hojas (NH):

Según el análisis de varianza (Tabla 3.3), se evidencia diferencias estadísticas altamente significativas ($p < 0.01$) para las líneas de batata (A) (*Ipomoea batatas* (L) Lam.), al igual que para el factor dosis de potasio (B) y la interacción de ambos factores (A x B). El ajuste del modelo es bueno a un nivel de significancia del 1% y el $R^2 = 0,98$ está cercano a 1, lo que sugiere que el 98% de la variabilidad de los datos es explicado por el modelo. El coeficiente de variación (CV) fue de 8.24% lo que brinda confiabilidad en los resultados presentados. En cuanto al comportamiento gráfico de los datos se puede evidenciar que existe un ajuste tanto lineal como cuadrático para el modelamiento de la tendencia en estas dos funciones.

La Tabla 3.4 muestra que la línea 2 presentó bajo todos los tratamientos un mayor número de hojas (167 hojas) promedio, superando a la Línea 1 con 69 hojas. Las diferencias obtenidas para la variable número de hojas, entre las líneas estudiadas, posiblemente estuvieron dominadas por aspectos de índole genético, más que por los tratamientos aplicados. Esto en consideración a los resultados expuesto por Raudez y Poveda (2004) que después de caracterizar y evaluar preliminarmente seis genotipos de batata (*Ipomoea batatas* (L) Lam.) bajo diferentes dosis de fertilizantes orgánicos e inorgánicos llegaron a encontrar que existía diferencia significativa entre los genotipos para la mayoría de las variables fisiológicas evaluadas, por ser estar inherentes a las características genéticas de cada material en estudiado. Por lo que los resultados encontrados en este ensayo ratificarían que las características intrínsecas de cada línea de batata jugaron un papel importante en las diferencias encontradas entre las mimas.

Determinación del efecto de las aplicaciones potásicas en los componentes fisiológicos de dos líneas de batata (*ipomoea batatas* (l) lam.) En un suelo ácido del departamento de Sucre

Tabla 3.3.

Análisis de variancia para las variables fisiológicas en las líneas de batata (Ipomoea batatas (L) Lam.) en la que se puede apreciar los cuadrados medios para mostrar su significancia estadística.

Fuente de variación	GL	N. H	L. T	D. T	BSA	BSR
Modelo	13	11386,6**	24326,4**	24326**	393,9**	220,3**
Líneas Batata (A)	1	99669,4**	308040,2**	308040**	48,3ns	636,8**
Dosis de K (B)	6	6462,9**	736,8**	736,8**	772,4**	271,2**
Interacción (A x B)	6	1596,5**	630,4**	630,4**	73,0**	99,9**
Lineal	1	8330,2**	671,6ns	671,6ns	1147,6**	1,9ns
Cuadrática	1	14304,0**	77,0ns	77,0ns	3290,8**	207,4ns
Error	28	94,6	145,9	145,9	11,8	8,5
C.V		8,24	5,94	5,94	7,82	11,04
R²		0,98	0,99	0,99	0,94	0,93

* Significativo ($\alpha = 0,05$) ----** Altamente Significativo ($\alpha = 0,01$) ---NS no significativo.

Se observa claramente (Figura 3.1) la relación que existe entre la variable número de hojas y las dosis de potasio aplicadas a las líneas de batata (*Ipomoea batatas* (L) Lam.), en la que el aumento en el número de hojas está dado por una parábola de apertura negativa y al realizar la optimización de las funciones cuadráticas, los puntos sobre las curvas donde se presentaría la mayor respuesta de la variable número de hojas, corresponderían a una dosis aproximada de 181 kg ha⁻¹ de potasio para la línea 2, con un promedio de 202 hojas y 182,5 kg ha⁻¹ de potasio para la línea 1, para un número aproximado de 80 hojas. A partir de allí las aplicaciones potásicas muestran efectos negativos sobre el aumento de la variable.

Tabla 3.4.

Las variables fisiológicas de las dos líneas de batata (*Ipomoea batatas* (L) Lam.) a los 120 días de finalizado el cultivo y la respectiva comparación de medias con un nivel de significancia del 5% ($\alpha=0,05$).

Fuentes de variación	N. H (u)	L. T (cm)	D. T (mm)	BSA (g)	BSR (g)
Línea 2	167 ^a	288,91 ^a	8,63b	40,50 ^a	39,73b
Línea 1	69b	117,63b	10,92a	44,90 ^a	46,19 ^a

Nota: medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).

Al mirar el ajuste de las curvas y los datos obtenidos se aprecia, que solo el 56.52% de la variabilidad de estas en la línea 2 es explicado por la ecuación, mientras que la línea 1 presentó un mayor ajuste en la curva con un 63,57%, lo que podría ser explicado por el hecho de los elementos nutricionales no actúan por separado y su respuesta individual se reflejaría con ímpetu en algunas partes fisiológicas de la planta más que en otras. Por lo general los bajos niveles de nitrógeno reducen el crecimiento vegetativo, particularmente de hojas, más que el reproductivo. Un bajo suministro de potasio reduce el crecimiento de las plantas y el establecimiento de los frutos, la deficiencia de fósforo puede reducir el crecimiento reproductivo (Clozza, 2010). Por lo que, el potasio por sí solo no explicaría en su totalidad el comportamiento de la variable, debido a que cada elemento nutricional cumple con unas funciones específicas dentro de cada componente fisiológico y tiene la particularidad de almacenarse en donde sea necesitado por la planta dependiendo de los procesos fisiológicos, condiciones ambientales o fase vegetativa.

Determinación del efecto de las aplicaciones potásicas en los componentes fisiológicos de dos líneas de batata (*ipomoea batatas* (L) lam.) En un suelo ácido del departamento de Sucre

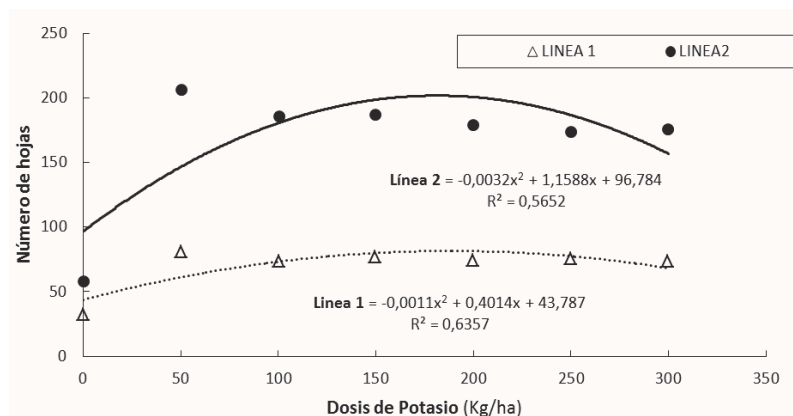


Figura 3.1. Tendencia en el variable número de hojas en las dos líneas de batata (*Ipomoea batatas* (L) Lam. en relación con la dosis de potasio aplicada bajo las condiciones climáticas del municipio de Sincelejo.

Longitud de tallo (LT):

Para la variable longitud de tallo la ANAVA presentada en la Tabla 3.3 muestra que existe una concordancia entre el modelo aplicado y la variable estudiada a un nivel de significancia del 1%, al igual que para el factor A (líneas de batata), el factor B (dosis de potasio) y la interacción de éstos (A x B). Por otro lado, el comportamiento de los datos de la variable longitud de tallo, no presentan una tendencia lineal o cuadrática, por lo que estas dos funciones matemáticas no explican por si solas la tendencia de la variable. El ajuste del modelo es bueno ya que se puede apreciar un R^2 del 99% y el coeficiente de variación (CV) de 11,92 % por lo que brinda una mayor confiabilidad en los resultados obtenidos.

La prueba de medias realizada a la variable longitud de tallo (Tabla 3.4) confirma lo descrito en la ANAVA anterior, en cuanto a la diferencia estadística significativa de las dos líneas de batata (*Ipomoea batatas* (L) Lam.) por lo que sus longitudes son estadísticamente diferentes. Mostrándose que la línea 2 alcanzó una mayor longitud promedio con 288,91 cm, mientras que la línea 1 solo alcanzó los 117,63 cm para el mismo periodo de crecimiento y desarrollo. Los resultados encontrados indican que las diferencia mostradas por las líneas en cuanto a su longitud de tallo son debidas a las condiciones genéticas de cada material, lo que estaría en concordancia con lo expuesto por Consumano y Zamudio (2013),

quienes afirman que el tallo puede presentar diferentes dimensiones de longitud o grosor de acuerdo con la variedad. Esto también coincide con las características morfológicas descritas por INFOAGRO (2018) que establece que las longitudes en la batata (*Ipomoea batatas* (L) Lam.) pueden ir desde los 10 cm hasta los 6 metros dependiendo de la variedad.

En cuanto a la influencia de la dosis de potasio y la longitud de tallo de las líneas de batata (*Ipomoea batatas* (L) Lam.) (Figura 3.2), se observa que no existió una tendencia marcada entre los tratamientos aplicados y la variable medida, que a pesar de que la estadística muestra diferencia significativa en al menos un tratamiento de la Línea 2, el consenso general entre las líneas sugiere que no existió efecto visible de las dosis potásicas sobre la longitud del tallo, posiblemente se debió a que el potasio no es un elemento que se almacena en los tejidos de las plantas, como si lo hace otros elementos. Los resultados obtenidos no siguen del todo los lineamientos o afirmaciones realizadas por Rodríguez (1992) quien considera que la abundancia de potasio se manifiesta en mayor crecimiento y vigor, buen desarrollo de flores, frutos y semillas, resistencia al frío y enfermedades criptogámicas y aumento en la calidad de fruto. Ya que el potasio es un elemento funcional dentro de los tejidos vegetales pues es el responsable de la síntesis de azúcar y almidón, traslado de las azúcares, síntesis de proteína e interviene en la estimulación enzimática.

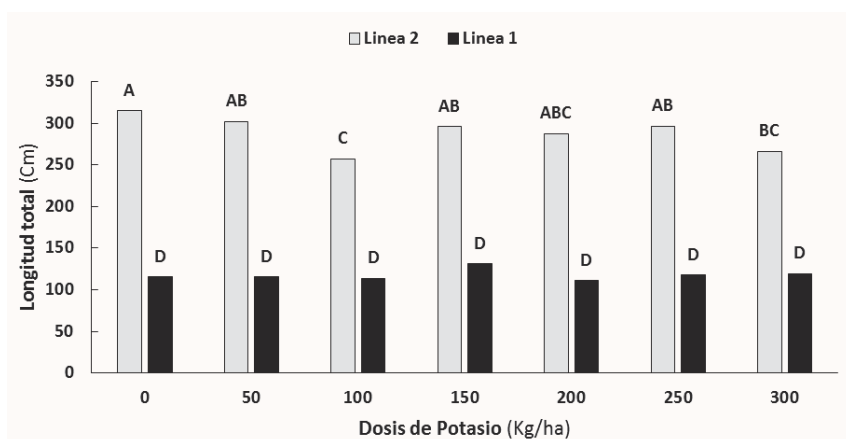


Figura 3.2. Comportamiento en la variable longitud del tallo de las dos líneas de batata (*Ipomoea batatas* (L) Lam.) en relación con la dosis de potasio aplicada bajo las condiciones climáticas del municipio de Sincelejo.

Nota. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).

Teniendo en cuenta las consideraciones anteriores podríamos sugerir que la utilización de potasio por parte de las líneas de batata, estimula los procesos de funcionamiento vegetativo. Lo anterior, podría explicar de cierta manera el comportamiento de potasio dentro de la variable, al sugerir que el cultivar toma cierta cantidad del elemento para sus procesos funcionales y que bajo las mismas condiciones edafoclimáticas del experimento estas cantidades son indiferentes de la oferta edáfica. Lo que estaría acorde a lo expuesto por Solís (2016) quien afirma que, el potasio a diferencia de otros elementos no forma parte de los componentes de la planta y que sus funciones son más bien de naturaleza catalítica.

Diámetro del tallo (DT):

El análisis de varianza realizado para la variable diámetro de tallo de las líneas de batata (*Ipomoea batatas* (L) Lam.) dejan ver claramente que existe una correlación positiva entre la variable y el modelo escogido para su análisis, que existe diferencia altamente significativa entre las líneas (Factor A), las dosis de potasio (Factor B) y la interacción de los factores (A x B). El comportamiento del diámetro del tallo al igual que la longitud antes descrita no presentó una tendencia lineal o cuadrática, puesto que estas fueron estadísticamente no significativas, por lo que se podría sugerir que la variación en los datos no es explicada por estos dos modelos matemáticos. El ajuste del modelo es bueno porque se aprecia un R^2 del 99% y un coeficiente de variación (CV) de 5,94% lo que brinda mayor confiabilidad en los resultados obtenidos (Tabla 3.3).

Al igual que las variables fisiológicas anteriores en la Tabla 3.4 se reafirma la existencia de diferencia estadísticamente significativa entre las líneas, evidenciándose que la línea 1 presentó mayor diámetro con 10,92 mm y la línea 2 un diámetro inferior con 8,63 milímetros.

En relación con la variable diámetro de tallo y las dosis de potasio aplicadas, la figura 3.3 muestra que para la Línea 1 a pesar de que hubo diferencia estadísticamente significativa en al menos una de las dosis de potasio no se encuentra una tendencia marcada en la aplicación potásica, sin embargo, todas mostraron una tendencia de respuesta positiva a la aplicación de K en relación con el testigo, lo que sugiere que existe respuesta de la variable a la fertilización con este elemento. En el caso de la línea 2 no

se presentó diferencia estadísticamente significativa en la aplicación o no de potasio para la variable en mención.

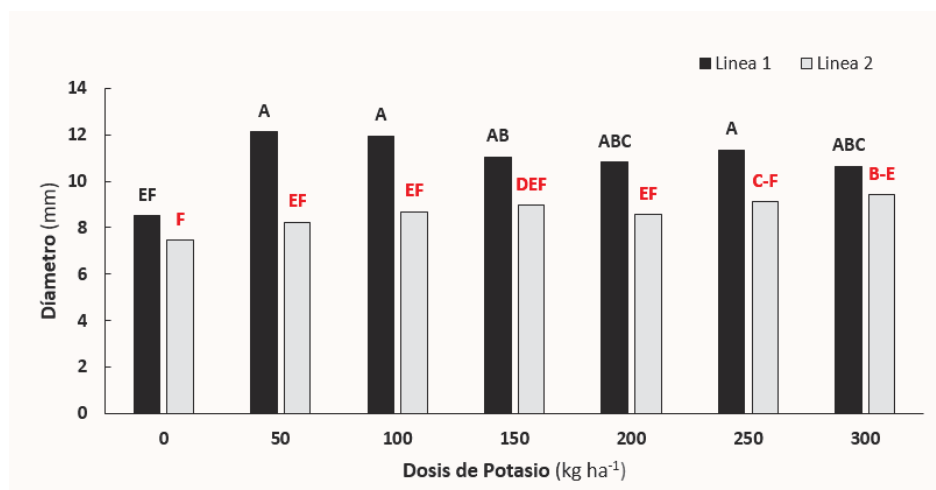


Figura 3. Comportamiento del diámetro de tallo de las dos líneas de batata (*Ipomoea batatas* (L) Lam.) en relación con la dosis de Potasio aplicada bajo las condiciones climáticas del municipio de Sincelejo (Fuente: Elaboración propia).

Los resultados obtenidos sugieren que a pesar de que no se puede concluir cual fue la mejor dosis de potasio para el diámetro del tallo, la fertilización potásica si mostró respuesta sobre la variable pues las medias de los tratamientos estuvieron por encima del testigo. Por su parte las diferencias visibles entre los diámetros de las líneas fueron dominados por las características genéticas propias de cada cultivar.

Biomasa seca aérea (BSA):

Los resultados estadísticos para la variable biomasa seca de la parte aérea en las dos líneas de batata (*Ipomoea batatas* (L) Lam.) deja apreciar que a pesar de que existen diferencias fisiológicas entre las líneas, no se encontró diferencia estadística significativa para la acumulación de biomasa seca en la parte aérea de las mismas, la intersección de los factores presenta alta significancia estadística, así como un efecto altamente significativo en la fuente de variación dosis de potasio. El modelo empleado tiene alta significancia estadística con un $R^2 = 94\%$ y coeficiente de variación (CV) que no supera al 8% lo cual es bueno para la confiabilidad de datos obtenidos.

Por otra parte, se encontró alta significancia estadística en el modelamiento de los datos a través de una ecuación lineal o cuadrática (Tabla 3.3).

La Tabla 3.4 muestra los resultados de la prueba de medias de Tukey para la variable biomasa seca parte aérea y ratifica lo expuesto por la ANAVA anterior donde no se encontró diferencia significativa en la acumulación de biomasa seca en la parte aérea de las dos líneas de batata (*Ipomoea batatas* (L) Lam.). La línea 1 mostró una mejor media con 44,93 g acumulados, por su parte la Línea 2 tuvo una acumulación de 40,5 g. Por lo que a pesar de que la Línea 2 presentó mayor crecimiento en dimensiones de hojas y tallos, su acumulación de biomasa seca en el follaje fue estadísticamente igual a la Línea 1.

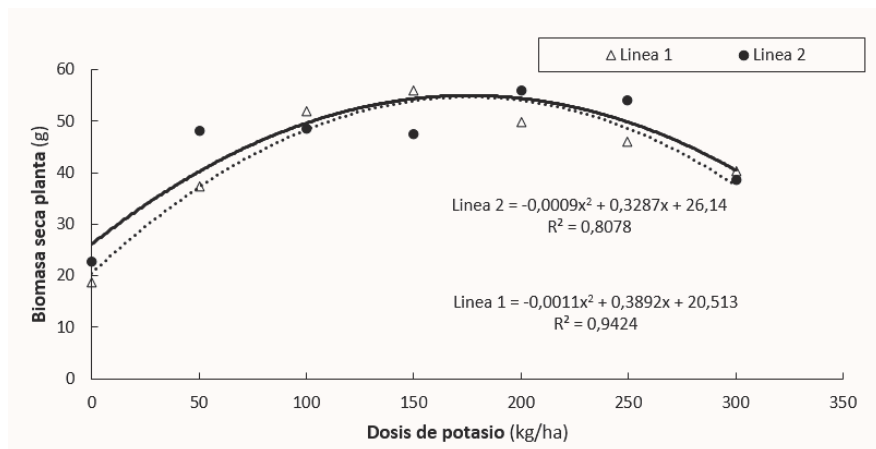


Figura 4. Tendencia en la variable biomasa seca aérea de las dos líneas de batata (*Ipomoea batatas* (L) Lam.) en relación con la dosis de Potasio aplicada bajo las condiciones climáticas del municipio de Sincelejo (Fuente: Elaboración propia).

La biomasa seca de la parte aérea con respecto a la dosis de potasio aplicada fue descrita en su mayor ajuste como una parábola de apertura negativa (Figura 4), en donde la mayor acumulación de biomasa seca calculada en la curva es la producida al aplicar una dosis de 165 kg/ha de potasio para una acumulación de 52,18 g. Por lo tanto, la aplicación de dosis mayores de potasio posiblemente mostraría efectos negativos en el incremento de la biomasa seca de la parte área de las líneas de batata (*Ipomoea batatas* (L) Lam.) estudiadas.

Biomasa seca de raíces (BSR):

En el análisis estadístico de la variable BSR se encuentra que existe significancia estadística al 1% sobre el modelo, que el 92% de la variabilidad de los datos es explicada por él mismo y que su coeficiente de variación (CV) es del 7% lo cual está dentro de los parámetros aceptables de confiabilidad de los datos. En la Tabla 3 también se puede evidenciar que existe diferencia estadística significativa en las fuentes de variación Líneas (Factor A), dosis de potasio (Factor B) y su interacción de factores (A x B) al nivel de significancia del 1%. Por otro lado, la acumulación de biomasa seca en la raíz no mostró un comportamiento lineal o cuadrático al no presentar significancia estadística para su modelamiento a través de estas dos funciones.

Los resultados de la prueba de medias de Tukey para la acumulación de biomasa seca en la raíz (Tabla 4) establece que existe diferencia estadística significativa entre las líneas de batata (*Ipomoea batatas* (L) Lam.) en donde la Línea 1 presentó la mayor acumulación de biomasa seca en la raíz con un promedio con 46,19 g, mientras que la acumulación en la línea 2 fue de 39,73 g.

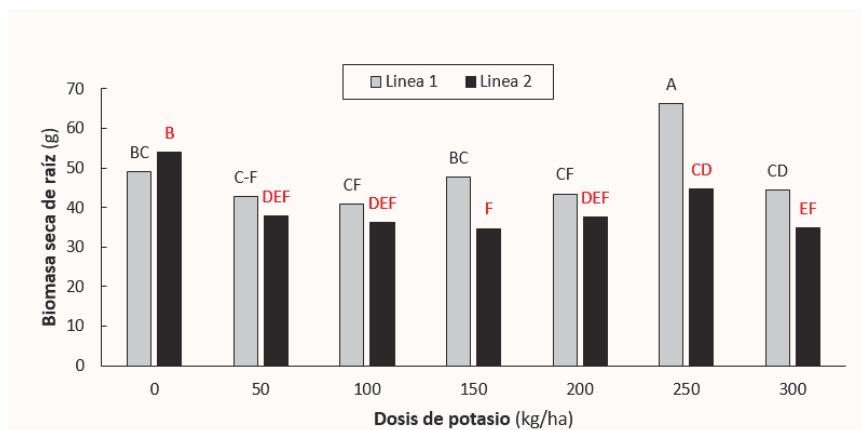


Figura 5. Comportamiento de la biomasa seca de raíces de las dos líneas de batata (*Ipomoea batatas* (L) Lam.) en relación con la dosis de Potasio aplicada bajo las condiciones climáticas del municipio de Sincelejo (Fuente: Elaboración propia).

En cuanto a la relación de la variable con la aplicación de potasio, los resultados no fueron concluyentes solo se encontró diferencia

estadísticamente significativa con mejor media en la dosis equivalente a 250 kg ha⁻¹ de potasio para la Línea 1, mientras que los resultados encontrados para la Línea 2 no sigue una tendencia marcada, siendo la no aplicación potásica el mejor tratamiento. Por lo visto la figura 3.5, no parece haber respuesta marcada de la variable biomasa seca de las raíces en las líneas de batata (*Ipomoea batatas* (L) Lam.) con respecto a las aplicaciones de potasio.

Conclusiones

El número de hojas en el cultivo de batata en condiciones climáticas del municipio de Sincelejo (Sucre), es proporcional a la cantidad de potasio aplicado en los planes de fertilización, cuando éstos no superan los 180 kg ha⁻¹. Las variables longitud y diámetro de tallo no respondieron a la fertilización potásica, pero ésta si influyó en el crecimiento de la planta.

Aunque las dos líneas de batata (*Ipomoea batatas* (L) Lam.) son diferentes filológicamente, existió igualdad estadística en la acumulación de biomasa seca en la parte aérea y diferencia de esta en las raíces. Sin embargo, a pesar de que se puede corroborar un efecto de K⁺ en las variables no fue posible definir una tendencia de éstas, bajo las condiciones del experimento.

Recomendaciones

Se hace necesario corroborar los hallazgos de esta investigación bajo las condiciones menos controladas de campo para establecer cómo influyen las condiciones edafoclimáticas sobre los resultados antes expuestos. Se debería seguir estableciendo este tipo de experimento con otras variedades de batata (*Ipomoea batatas* (L) Lam) presente el departamento de Sucre para estimar el comportamiento de éstas a diferentes niveles de fertilización. Es claro que esta investigación muestra la tendencia de las variables fisiológicas en la relación con las aplicaciones potásicas, sin embargo, es necesario que se establezca no solo la dosis óptima de potasio para las diferentes condiciones edafoclimáticas del departamento de Sucre, sino también las mejores relaciones entre los elementos primarios nitrógeno, fósforo y potasio (NPK).

Referencias

- Aguilera, M. (2012). La yuca en el Caribe colombiano: de cultivo ancestral a agroindustrial. Centro de estudios económicos regionales. Cartagena, Colombia. Revista Banco de la Republica: 1:5 - 17.
- Alonso, M., Tijerina, L., Sánchez, P., Martínez, A., Aceves, L. y Escalante, J. (2003). Modelo logístico: herramienta para diagnosticar el cuánto y cuándo fertirriego. Chapingo, México. Terra Latinoamericana: 21(2): 225-231.
- Calvo, R., González, J. y Pérez, S. (1994). Manual de modelos no lineales en los ámbitos agronómicos, Ganaderos y Forestal. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid, España. Instituto nacional de investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria. 110 p.
- Charles-Edwards, D., Doley, D. y Rimmington, G. (1986). Modelling plant Growth and Development. Australia Academic press Australia., 235 p.
- Clozza, M. (2010). Crecimiento y desarrollo en Tomate Platense (*Lycopersicon esculentum* Mill) análisis del efecto de la nutrición mineral. Valencia, España. Departamento de producción vegetal. Universidad Politécnica de Valencia., 10 p.
- Consumano, C. y Zamudio, N. (2013). Manual técnico para el cultivo de batata (camote o boniato). Tucumán, Argentina: Centro de publicación Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) de Buenos Aire, 3 p.
- Dhir, S., Singh, H. y Dhir, S. (2008). Sweet potato. Center for Biotechnology. USA. Department of Plant Sciences. Fort Valley State University. 157 p.
- Evans, G. (1972). The Quantitative Analysis of Plant Growth. Great Britain: Blackwell Scientific Publications. Oxford, England, Great Britain. 733 p.
- Gardner, F., Pearce, R. y Mitchell, R. (1990). Physiology of crop plants. Ed Iowa University Press: AMES. U.S.A., 327 p.

- Grüneberg J., Manrique K., Zhang D. y Hermann M. (2005). Genotype X Environment Interactions for a Diverse Set of Sweet potato Clones Evaluated across Varying Ecogeographic Varying Ecogeographic Conditions in Perú. *Crop Science, Perú*, 45: 2160 - 2171.
- Güenkov, G. (1974). Fundamentos de la horticultura cubana. La Habana, Cuba. Instituto Cubano del libro., 355 p.
- Hijmans, R., Huaccho, L y Zhang, D. (2000). Global distribution of sweet potato. Lima, Perú. CIP Program Report. 1999 – 2000., 323 p.
- Hunt, R. (1978). Plant Growth Analysis. Studies in Biology 96. London. The Institute of Biology's. Edward Arnold (Publishers) Limited, U.K., 67 p.
- Hunt, R. (1982). Plant Growth analysis: second derivatives and compound-ed second of splined plant growth curves. New York, U.S.A. *Annals of Botany, New York*. 50(3): 317 - 382.
- Hunt, R. (1990). Basic Growth Analysis: Plant Growth Analysis for Beginners. Great Britain: Urwin Hyman Ltd. 112 p.
- Hunt, R. and Parsons, I. (1974). A computer program for deriving growth-functions in plant growth-analysis. Montpellier, France. *Journal of Applied Ecology*: 11: 297 - 307.
- IGAC (2006). Métodos analíticos del laboratorio de suelos sexta edición. Bogotá, Colombia. Impresión nacional de Colombia: 105 – 140.
- INFOAGRO. (2018). El cultivo de camote (*batata tuberosum*). Recuperado de: <http://www.infoagro.com/hortalizas/batata.htm> (Consultado el 23 de enero de 2018).
- Jean, R. V. (1984). Mathematical Approach to Pattern and Form in Plant Growth. Wiley-. U.S.A. Interscience Publication. 221 p.
- Krung, H. (1985). Growth processes and crop growth modelling. U.S.A. *Acta Horticulturae*: 174: 193 - 204.
- Loebenstein, G. and Thottappilly, G. (2009). The Sweet potato. Washington D.C, Springer, 114 p.
- Raudez, G. y Poveda, M. (2004). Caracterización y evaluación preliminar de seis genotipos de camote (*Ipomoea batatas* L.) con fertilización

orgánica e inorgánica. Managua, Nicaragua. Facultad de Agronomía, Universidad Nacional Agraria, 40 p.

- Rodríguez, S. A. (1992). Fertilizantes, nutrición vegetal. México. AGT editor. Segunda reimpresión. México, D.F. 47 p.
- Rojas, P., Pérez, M., Colinas, M., Sahagún, J. y Avitia, J. (2008). Modelos matemáticos para estimar el crecimiento del fruto de chile manzano (*Capsicum pubescens* R. y P.). Chile. Revista Chapingo. Serie horticultura, 14(3): 289 - 294.
- Solís, O. (2016). Prueba de la efectividad del producto Rootex para promover la adsorción de Fósforo en plántulas de tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill) en un suelo calcáreo. Coahuila, México. Departamento de parasitología. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro División agronomía. Saltillo, 16 p.
- Valadez, A. J. (1980). Economic aspects of cucumber growing in the Netherlands. Netherlands. Acta Horticulturae: 118: 11 - 16.
- Valle M., J.C. (2010). Acumulación de biomasa, crecimiento y extracción nutrimental en pimiento morrón (*Capsicum annuum* L.) Tesis Maestría. Chapingo, México. Instituto de Horticultura. Universidad Autónoma Chapingo, 106 p.
- Vásquez, R. y León, C. (2006). Producción y uso de la batata (*Ipomoea batatas* L.); Estrategia de alimentación animal. República Dominicana. Instituto superior de agricultura. ISA. Santiago de los Caballeros. 54 p.

CAPÍTULO 4

Efecto de la fertilización sobre la fotosíntesis, rendimiento y producción de materia seca en el cultivo de batata (*ipomoea batatas* L)

Saula Salcedo¹, Alfredo Jarma Orozco², Elvia Amparo Rosero Alpala³ y Lainer Narváez Quiroz⁴

1 Magister en Ciencias Agronomicas. Saula.salcedo@gmail.com

2 Ph.D. fisiología de Cultivos. Afiliado a la Universidad de Córdoba. ajarma24@yahoo.com

3 Ph.D. Fisiología y anatomía vegetal. Corporacion colombiana de investigacion agropecuaria – Agrosavia. erosero@corpoica.org.co

4 Magíster en Ciencias Agronómicas. Lainer.narvaez@gmail.com

Introducción

La fotosíntesis, del griego antiguo $\rho\omega\tau\omicron$ (foto) “luz” y $\sigma\acute{\upsilon}\nu\theta\epsilon\sigma\iota\varsigma$ (síntesis) “unión” es un proceso mediante el cual las plantas, algas y algunas bacterias captan y utilizan la energía de la luz para transformar la materia inorgánica de su medio externo en materia orgánica que utilizarán para su crecimiento y desarrollo (Taiz y Zeiger, 2006).

La literatura describe ampliamente la respuesta de estrés por sequía y a la salinidad del suelo a través del efecto sobre el intercambio gaseoso, mientras que hay pocos informes en la literatura científica disponible sobre la relación entre el estado nutricional del suelo y la intensidad de la fotosíntesis y la transpiración de la planta de patata. Según Kolbe y Beckmann (1997), las concentraciones de nitrógeno, potasio y fósforo en las plantas disminuyen a medida que estas siguen su crecimiento, mientras que aumenta la concentración de magnesio y manganeso. Según muchos autores, nitrógeno, potasio, magnesio, manganeso y boro tienen un efecto sobre los procesos de la fotosíntesis y la transpiración (Penston de 2006, Verbruggen y Hermans 2013).

Las plantas como productores primarios en la cadena trófica, debido a que ellas son capaces de atrapar esa energía lumínica y convertirla en energía química. Parte de esta energía es utilizada en la absorción de nutrientes necesarios para el funcionamiento del sistema y para la producción de moléculas con grandes cantidades de enlace de carbono que son almacenadas. Cuando se habla de crecimiento, es para referirse al incremento irreversible de materia seca o volumen, también se habla de cambios en el tamaño y forma, todo esto sucede en función del genotipo y de las condiciones ambientales. El desarrollo está compuesto por esos eventos en las plantas que causan un cambio cualitativo en su forma y sus funciones, y por supuesto en la formación del producto (Krug, 1997).

La batata es uno de los cultivos alimenticios más importantes, versátiles y sub explotados en el mundo, con una producción anual de 105 millones de toneladas. El cultivo de la batata se reporta con gran

importancia en la producción mundial de alimentos, después del arroz, trigo, maíz y yuca. En Colombia, la región Caribe es el principal productor de batata, especialmente en los departamentos de Guajira, Sucre, Cesar, Bolívar y Córdoba; para el departamento de Sucre desde el 2008 se muestra una disminución en el área sembrada de batata, para este año se registraron 25 ha y para el 2013 se redujo más del 50%, lo que trajo consigo una disminución en la producción y en los rendimientos de los cultivos que están alrededor de 10 t/ha (Agronet, 2015).

El rendimiento y sus componentes asociados con el resultado al final de un ciclo del cultivo, son consecuencia de las interacciones que se producen durante todo el desarrollo de la planta entre el genotipo, las condiciones ambientales y manejo del suelo. Mukhtar *et al.*, en el 2010 encontró que diferentes variedades de batata presentaron diferencias significativas en el rendimiento total y comercial, así como en el contenido de materia seca, lo que refleja composición genética diferente de cada variedad.

Puede resultar útil analizar el rendimiento en términos de materia seca de los órganos cosechados por unidad de superficie del cultivo, pero se deja a un lado la calidad del producto cosechado (Hall, 1979). Para el caso de la batata de los componentes de rendimiento, el peso de raíz comercializable representa la fracción que genera los ingresos para el productor en el mercado (Njoku 2006). Otras características, que tienen en cuenta los consumidores, son forma, color de piel, apariencia, sabor y valor nutricional (Leksrisompong et ál. 2012).

La distribución de la materia seca entre varias partes de la planta se ha descrito como un equilibrio funcional (Brouwer, 1962) o como funciones de distribución dependientes del tiempo o estado de desarrollo (Heuvelink y Marcelis, 1989); esto ha facilitado predecir de manera razonable la producción de materia seca a lo largo del ciclo de crecimiento en cultivos de crecimiento determinado. La acumulación de materia seca es comúnmente usada como parámetro para caracterizar el crecimiento, porque usualmente tiene un gran significado económico. La producción de asimilados por las hojas (fuente) y el punto hasta el cual pueden ser acumulados por el vertedero que representan los órganos que son cosechados, influencia de manera significativa el rendimiento del cultivo (Tekalign y Hammes, 2005). Un estudio del patrón de distribución de materia seca entre los órganos

de la planta, es importante para la evaluación de la tasa de crecimiento, la productividad y el nivel de rendimiento del cultivo (Nganga, 1982).

La poca información acerca de estos procesos tan importantes en el crecimiento y desarrollo del cultivo de batata, permitió que se llevara a cabo la ejecución de este ensayo, cuyo objeto fue evaluar el efecto de diferentes dosis y tipos de fertilizantes en el intercambio gaseoso, producción de materia seca y rendimiento.

Materiales y métodos

La investigación se llevó a cabo en el departamento de Sucre, el municipio de Corozal, corregimiento Las Tinas ubicadas a 9°18' 00,57" de longitud norte y 75°18' 38,44" de latitud oeste, zona que posee las condiciones ambientales de bosque seco tropical, con precipitaciones de 900 a 1200 mm anuales, humedad relativa del 78% y suelos como se detallan en la Tabla 4.1.

Tabla 4.1.
Propiedades físico-químicas de suelo del ensayo.

Propiedad	unidad	Valor	Propiedad	Unidad	Valor
PH	1:1, P/V	6,54	Ca	Cmol kg ⁻¹	17,8
MO (%)	%	1.01	Mg	Cmol kg ⁻¹	5
C.I.C	Cmol Kg ⁻¹	23	Na	Cmol kg ⁻¹	0,04
Textura	----- ----	Franco arcillo-arenoso	Cu	mg kg ⁻¹	0,4
DA	(g cm ⁻³)	1,78	Fe	mg kg ⁻¹	14,3
P	mg kg ⁻¹	4,9	Zn	mg kg ⁻¹	0,6
S	mg kg ⁻¹	2,5	Mn	mg kg ⁻¹	30,9
K	Cmol kg ⁻¹	0,17	B	mg kg ⁻¹	0,22

Nota: elaboración propia

El suelo fue mecanizado con un pase de arado de disco, dos pases de rastrillo y aporcado del terreno a un metro de distancia, labranza convencional utilizada por los productores de la región. Se utilizó un diseño de bloques completos al azar, con siete tratamientos (Tabla 4.2) y cuatro repeticiones; se sembraron plantas de batata variedad exportación a una distancia de 1 m x 0.3 m. El tamaño de la unidad experimental fue de 4,2 m², conformada por 24 plantas. La investigación se llevó a cabo en un área total de 117,6 m².

Tabla 4.2.
Tratamientos aplicados en este ensayo

TRATAMIENTO	DESCRIPCIÓN
1	Testigo (nutrientes aportados por el suelo)
2	100 % de los requerimientos nutricionales (RN) suministrado con biopolímeros (RNB)
3	70% RNB
4	130% RNB
5	100 % de los RN suministrado con fertilizante químico (RNQ)
6	70% RNQ
7	130% RNQ

Nota: elaboración propia

Los niveles de los elementos fueron seleccionados con base en los reportes para la especie de diversos autores: nitrógeno 183 kg/ha (Pereira, 2014), fósforo 231 kg ha⁻¹ (Oliveira, 2008) y potasio 225 kg ha⁻¹ (Echer, 2009). Para los tratamientos con fertilizante químico convencional las dosis se manejaron con la mezcla de urea, triple 15 y cloruro de potasio KCl, el biopolímero utilizado fue Basacote plus 9M

El comportamiento fotosintético del dosel de las plantas de batata fue determinado con el sistema de intercambio gaseoso (IRGA MODELO GFS 3000) a radiaciones de 800 μmol fotones m⁻²s⁻¹ y concentraciones de CO₂ cercanas a 400 ppm. Para lograr lo anterior, en cada parcela útil se seleccionaron tres individuos tiqueteados al azar, en los que se seleccionó una de las hojas en buen estado sanitario y con crecimiento común. La

cámara foliar se ubicó cerca al ápice de la lámina, y el sensor de quantum quedo perpendicular a la radiación solar incidente. Con la información proporcionada por el IRGA se calculó la tasa de fotosíntesis neta, tasa de transpiración, conductancia estomática, y déficit de presión de vapor. Las mediciones se realizaron mensualmente.

Para determinar los componentes de rendimiento en el cultivo de batata se registraron el número de raíces tuberosas por planta, peso de raíces tuberosas por planta, rendimiento, peso seco de raíces tuberosas y número de raíces tuberosas comerciales; este último se definió como el número de raíces con diámetro mayor de 4 cm o con un peso mayor de 80g.

Para la determinación de la acumulación y distribución de masa seca se realizó la recolección de datos de forma aleatoria en el cultivo de batata cada 15 días, tomando tres plantas completas por cada repetición. Con la ayuda de una balanza electrónica de precisión se determinó el peso fresco de la planta separada en hojas, tallos y raíces, después se determinó el peso seco, colocando las muestras en estufa de secado a una temperatura de 65°C hasta obtener peso constante.

La información fue analizada a través de un análisis de varianza, para detectar las diferencias entre tratamientos y a través de contrastes ortogonales para comparar las respuestas por grupo de tratamientos, también se realizaron pruebas de correlaciones para los diferentes componentes de rendimiento para un $\alpha=0.05$ de acuerdo al test protegido de DMS; se utilizó una versión del programa SAS System 9.1.

Resultados y discusión

Los tratamientos de fertilización no ejercieron un efecto significativo en las variables fotosíntesis neta (P_n), transpiración (E), conductancia estomática (G_s) y déficit de presión de vapor (DPV) en las diferentes fechas de muestreo (Tabla 4.3) resultados que concuerdan con los obtenidos por Bogucka & Cwalina (2016) quienes estudiaron la aplicación de fertilizante en el cultivo de papa y no encontraron diferencias significativas en el efecto de las tasas y métodos de fertilización sobre la transpiración y las tasas de fotosíntesis.

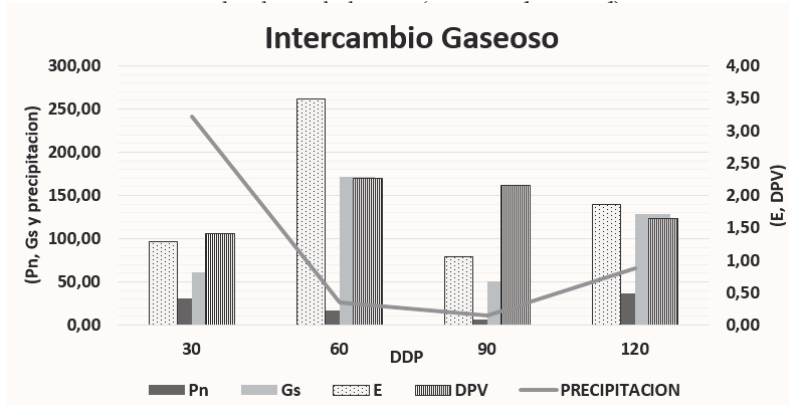


Figura 4.1. Intercambio gaseoso mensual vs. condiciones ambientales (precipitación) en el cultivo de batata.

Nota. **Pn:** Fotosíntesis neta ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$); **Gs:** conductancia estomática ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$); **E:** transpiración ($\mu\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$); **DPV:** déficit de presión de vapor (kPa) y precipitación (mm).

El comportamiento de la Pn guarda relación con el volumen de las precipitaciones, a los 30 días cuando las precipitaciones alcanzan el máximo valor durante toda la duración del ensayo (245 mm), la fotosíntesis también presenta valores considerablemente altos; pero, a los 60 y 90 la fotosíntesis disminuye su valor en un 54% aproximadamente y luego alcanza valores hasta los $6,78 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Lo anterior, se puede deber al estado de estrés por sequía en que se encuentra la planta de batata; informes han indicado que el déficit de humedad en el suelo limita la fotosíntesis de la hoja a través del cierre estomático y el deterioro metabólico (Lawlor y Cornic, 2002; Lawson *et al.*, 2003 y Farooq *et al.*, 2009), para los 120 días después del prendimiento, la Pn muestra un aumento considerable, aun con lluvias menores a las reportadas a los 30 DDP (Figura 4.1). Una interpretación posible de esta respuesta es que el incremento de humedad haya representado un exceso para las plantas, pues habían sido mantenidas previamente con menos humedad (Ruiz *et al.*, 2007), puede ser una respuesta fisiológica de la planta, causada por el estrés al que fue sometida causando en ella el aumento de energía necesaria para el crecimiento y la producción máxima (Lawlor y Cornic, 2002; Kulkarni y Phalke, 2009). El índice del área foliar de la batata aumenta con el aumento del contenido de humedad del suelo al agregar más capacidad de fuente. La conductancia estomática tiene un fuerte impacto en la tasa de fotosíntesis de las hojas, en particular bajo condiciones de estrés por sequía (Cornic y Fresneau, 2002).

El déficit de presión de vapor influencia en gran medida la apertura estomática y en consecuencia la transpiración (Solarte et al. 2010). Para este ensayo los valores fueron relativamente constantes durante la época de sequía (60-90 DDP) la razón de esto pudo ser las pocas fluctuaciones de las condiciones ambientales tales como la humedad relativa y la temperatura, el hecho que no se observe una relación entre el comportamiento de Gs y el DPV, puede deberse a que el comportamiento de la Gs fue determinadamente afectado por el estado hídrico de las hojas (Martínez y Moreno, 1992).

Tabla 4.3.

Análisis de varianza y de contrastes ortogonales para las variables de intercambio gaseoso medidas mensualmente en el cultivo de batata.

	PN				E			
DDP	30	60	90	120	30	60	90	120
CV	6,09	20,99	19,09	9,95	42,84	21,14	14,87	23,45
CONTRASTE								
C1	9,37 ^{ns}	15,89 ^{ns}	5,11 ^{ns}	-15,97 ^{ns}	-1,98 ^{ns}	1,04 ^{ns}	0,94 ^{ns}	-0,85 ^{ns}
MEDIA	30,20	16,37	6,78	36,39	1,28	3,48	1,05	1,86
	Gs				DPV			
DDP	30	60	90	120	30	60	90	120
CV	14,94	21,54	13,38	12,47	7,67	12,23	14,08	12,37
CONTRASTE								
C1	-20,44 ^{ns}	86,00 ^{ns}	34,01 ^{ns}	-93,0 ^{ns}	0,30 ^{ns}	-1,75 ^{ns}	0,49 ^{ns}	-0,20 ^{ns}
MEDIA	60,92	171,21	50,45	128,78	1,41	2,27	2,15	1,64

*significancia ($p < 0,05$); **altamente significativo ($p < 0,001$) ns: indica no significancia ($p < 0,05$); CV: coeficiente de variación; C1: Testigo vs resto (T1 vs T2 T3 T4 T5 T6 T7). T1= Testigo (nutrientes aportados por el suelo); T2=100 % de los requerimientos nutricionales (RN) suministrado con biopolímeros (RNB); T3=70% RNB; T4=130% RNB; T5=100 % de los RN suministrado con fertilizante químico (RNQ); T6= 70% RNQ Y T7=130% RNQ; Pn: Fotosíntesis neta ($\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$); Gs: conductancia estomática ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$); E: transpiración ($\mu\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$); DPV: déficit de presión de vapor (kPa).

Nota: cálculos del estudio

A los 60 DDP, las plantas de batata presentan los valores más altos de transpiración. El hecho de que estos valores sean tan altos puede deberse a que las plantas experimentan estrés por sequía tal como lo manifiesta Reddy *et al.*, (2004) o puede ser que las altas precipitaciones que precedían la medición de ésta, pueden haber contribuido a lograr este valor tan

elevado de acuerdo a lo reportado por Bogucka & Cwalina (2016). Para las 90 DDP las precipitaciones disminuyeron y con ello la humedad del suelo y se presentó una reducción en la transpiración, lo cual puede ser una respuesta de las plantas para prevenir la deshidratación del tejido de la hoja, entonces la planta puede disminuir el área foliar (Liu y Stützel, 2002), u otra manera factible es la reducción de la conductancia estomática (Liu y Stützel, 2004). Lo anterior, coincide con la disminución de la Gs a los 90 DDP (Figura 3.1).

A los 120 DDP la E y Gs aumentan linealmente con el aumento de los niveles de humedad del suelo (figura 4.1), porque tanto el crecimiento de la planta como la transpiración son procesos dependientes de la turgencia y estos procesos están influenciados por el contenido de agua del suelo, directa o indirectamente (Kirnak *et al.*, 2001).

En la Tabla 4.4 se observa que para la variable materia seca en hojas el análisis estadístico mostró diferencias significativas solo para los muestreos realizados a los 45 y 60 DDP. Cuando se analizan los contrastes a los 45 DDP se observó un efecto favorable de los tratamientos con fertilizantes químicos convencionales mientras que a los 60 días el efecto es solo de las dosis altas de los fertilizantes químicos convencionales (T5 y T7); el efecto de los fertilizantes recubiertos con biopolímeros no arroja diferencias, esto puede deberse a la necesidad de condiciones hídricas favorables para mejorar la eficiencia de éstos en la liberación de nutrientes.

La materia seca de hojas aumenta exponencialmente a medida que las plantas van envejeciendo. A los 60 DDP las plantas tienen la mayor producción de materia seca en hojas, para el siguiente muestreo a los 75 DDP se observó una marcada reducción en la biomasa de las hojas aproximadamente en un 60%. El crecimiento y la tasa de expansión foliar son los primeros afectados al comienzo del estrés hídrico del suelo (Kirnak *et al.*, 2001). En consecuencia, el déficit de humedad del suelo reduce crecimiento de hojas, (Liu y Stützel, 2004) y los resultados del presente trabajo corroboran estos hallazgos (Tabla 4.4).

Según Handayani (1992) la producción de materia seca depende de procesos como la fotosíntesis si se analizan estos dos resultados se puede ver como para los 90 DDP la fotosíntesis disminuye igual que la producción de materia seca en hojas, pero para los 120 DDP aunque el valor de la

fotosíntesis aumenta la producción de MSH no lo hace, esto puede ser debido a la etapa de senescencia en la que se encontraba el cultivo o al déficit de agua, ya que el estrés reduce predominantemente el crecimiento de la hoja, lo que resulta en menos área foliar en muchas especies de cultivos (Farooq *et al.*, 2009).

El análisis de materia seca en tallo (MST) desde los 90 DDP hasta los 120 DDP muestra efecto significativo para los contrastes uno y dos, resultando favorable para la producción de materia seca de tallos la aplicación de fertilizantes químicos. Para los primeros cuatro muestreos el aumento de la MST es considerable, pero para las últimas cuatro épocas de muestreo, este aumento es constante (Tabla 4.4). Rulina (2002) expresó que el peso de los tallos secos refleja el estado nutricional de la planta y varían según la velocidad de la fotosíntesis y la respiración plantas.

Para la variable materia seca de raíces tuberosas (MSR), el análisis de varianza arrojó significancias para los contrastes desde los 60 DDP hasta los 120 DDP, favoreciendo la aplicación de fertilizante químico convencional en cualquiera de las dosis, excepto para el muestreo de los 75 DDP, donde resultó que el tratamiento 5 (100 % de los RN suministrado con fertilizante químico), permitió un mejor efecto en la producción de materia seca. A los 60 DDP se produce la mayor cantidad de MSH (43,56 g) y disminuye hasta los 120 DDP en un 27% aproximadamente, la materia seca en raíz (MSR) a los 60 DDP presenta un aumento considerable y continua así hasta los 120 DDP, (Finn y Brun, 1980; Kirnak *et al.*, 2001; Liu y Stützel, 2004 y Gajanayake *et al.*, 2014), concuerdan que las plantas sometidas a periodos de sequía muestran un aumento de la relación raíz y brote, la producción de materia seca en hojas disminuye pero el crecimiento de raíces es menos afectado por la translocación y acumulación de nutrientes.

Cuando se realiza la distribución porcentual de materia seca en hojas, tallos y raíces para los diferentes tipos de fertilizantes utilizados se puede observar que en las tres figuras a los 60 DDP el porcentaje de MSR aumenta y sigue aumentando hasta los 120 DDP, pero que al final los tratamientos con fertilizantes químico convencional logran un mayor porcentaje de distribución del órgano de interés. A los 120 DDP, en los tratamientos de RNQ, el 65% de la materia seca estuvo alojada en la raíz (Figura 4.2b), en tanto que para las plantas sin fertilización este valor fue de 59% (Figura 4.2a) y para las tratadas con biopolímeros fue del 54% (Figura 4.2c) En la

figura 4.2b se observa un desarrollo predominante durante la fase inicial de la parte aérea lo que determinó un alto crecimiento y rendimiento en la etapa final (Pardales y Esquibel, 1997). Las primeras cuatro semanas después del establecimiento de los esquejes se consideran la fase crucial en el ciclo de cultivo de la batata, por lo tanto, durante esta fase las plantas necesitan cuidado y manejo adicionales para ganar máxima productividad de los cultivos (Pardales y Yamauchi, 2003).

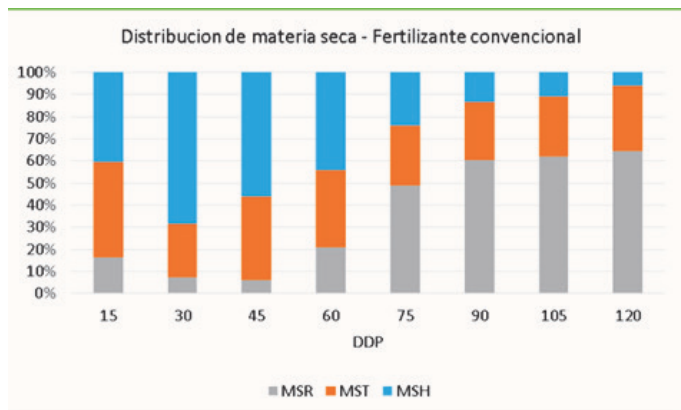
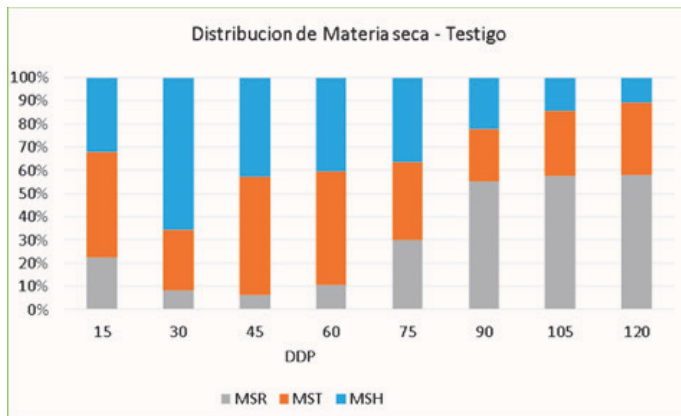
Tabla 4.4.

Coefficientes de variación (CV), estimadores de los diferentes contrastes y medias del análisis de varianza para materia seca en hojas (g), tallos (g) y raíces tuberosas (g) medidas cada 15 días después del prendimiento (DDP)

MATERIA SECA EN HOJAS								
DDP	15	30	45	60	75	90	105	120
CV	25,37	45,04	20,16	24,14	16,88	24,10	21,07	25,45
CONTRASTE								
C1	1,15 ^{ns}	7,96 ^{ns}	36,35*	58,37*	-26,47 ^{ns}	-8,28 ^{ns}	22,66 ^{ns}	4,41 ^{ns}
C2			24,34*	46,64**				
C3				---				
C4				---				
C5				27,80*				
C6				---				
MEDIA	1,00	4,38	22,42	43,56	26,83	20,64	17,44	11,87
MATERIA SECA EN TALLO								
DDP	15	30	45	60	75	90	105	120
CV	13,30	31,65	18,47	24,83	14,08	13,24	14,36	20,25
CONTRASTE								
C1	0,27 ^{ns}	3,93 ^{ns}	10,58 ^{ns}	-15,78 ^{ns}	16,10 ^{ns}	58,28*	79,32*	102,15*
C2						31,60**		
MEDIA	1,20	1,89	15,57	25,36	31,19	37,15	41,34	48,64
MATERIA SECA EN RAÍCES TUBEROSAS								
DDP	15	30	45	60	75	90	105	120
CV	36,05	37,95	33,51	34,32	18,18	17,75	15,91	21,81
CONTRASTE								
C1	-0,77 ^{ns}	0,79 ^{ns}	2,37 ^{ns}	44,04*	134,18*	80,21*	118,35*	169,27*
C2				34,48**	57,87*	107,14*	97,43**	113,22*
C3					---			

C4	---
C5	25,98*
C6	-13,63*
MEDIA	0,47 0,52 2,2 18,28 69,37 85,45 91,31 108,69

*significancia ($p < 0,05$); **altamente significativo ($p < 0,001$) ns: indica no significancia ($p < 0,05$); CV: coeficiente de variación; C₁: testigo vs resto (T1 vs T2 T3 T4 T5 T6 T7); C₂: Tratamientos con RNB vs tratamientos con RNQ (T2 T3 T4 vs T5 T6 T7); C3: Dosis baja RNB vs dosis alta RNB (T3 vs T2 T4); C4: dosis 100 RNB vs Dosis 130% RNB (T2 vs T4); C5: : Dosis baja RNQ vs dosis alta RNQ (T6 vs T5 T7) y C6: dosis 100 RNQ vs Dosis 130% RNQ (T5 vs T7 T1)= Testigo (nutrientes aportados por el suelo); T2=100 % de los requerimientos nutricionales (RN) suministrado con biopolímeros (RNB); T3=70% RNB; T4=130% RNB; T5=100 % de los RN suministrado con fertilizante químico (RNQ); T6= 70% RNQ y T7=130% RNQ.



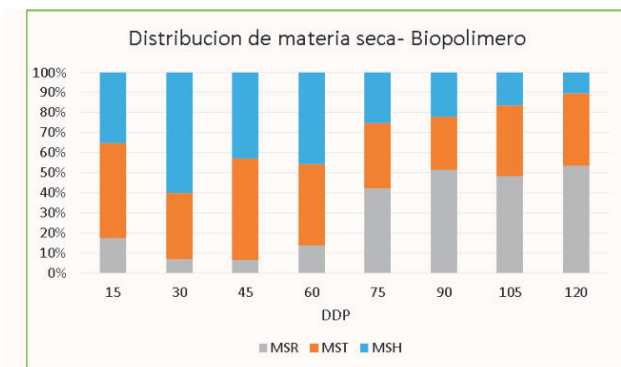


Figura 4.2. Distribución porcentual de materia seca en hojas (MSH), tallo (MST) y raíces tuberosas (MSR) del cultivo de batata medida cada 15 días después del prendimiento (DDP) hasta 120 DDP, aplicándole diferentes tipos de fertilizantes y un tratamiento testigo.

De acuerdo con el análisis de varianza (Tabla 4.5), para la variable rendimiento existen diferencias significativas entre tratamientos, lo que quiere decir que las dosis de cualquiera de los tratamientos químicos utilizados (T5, T6 y T7) tuvieron un efecto directo en la mayor producción de batata ($11,85 \text{ t ha}^{-1}$), cantidad que es significativa frente al testigo y los tratamientos con fertilizantes con biopolímeros cuyos rendimientos fueron de $7,56 \text{ t ha}^{-1}$ y $6,75 \text{ t ha}^{-1}$ respectivamente.

Tabla 4.5.

Análisis de varianza, contraste y media para los componentes rendimiento REND (t ha^{-1}), peso raíces por planta PRXP (g planta^{-1}), número de raíces por plantas NRXP, número de raíces comerciales por planta NRCXP y peso seco de raíces por planta PSRXP (g planta^{-1}).

	REND	PR X P	NR X P	NRC X P	PSR XP
CV (%)	15,02	15,01	20,71	21,87	21,81
CONTRASTE					
C1	10,47*	418,76*	3,25 ^{ns}	5,75*	169,27*
C2	10,86**	434,57**	---	3,00**	113,22*
MEDIA	11,85	410,5	3,96	2,5	108,69

*significancia ($p < 0,05$); **altamente significativo ($p < 0,001$) ns: indica no significancia ($p < 0,05$); CV: coeficiente de variación; C1: testigo vs resto (T1 vs T2 T3 T4 T5 T6 T7); C2: Tratamientos con RNB vs tratamientos con RNQ (T2 T3 T4 vs T5 T6 T7). T1= Testigo (nutrientes aportados por el suelo); T2=100 % de los requerimientos nutricionales (RN) suministrado con biopolímeros (RNB); T3=70% RNB; T4=130% RNB; T5=100 % de los RN suministrado con fertilizante químico (RNQ); T6= 70% RNQ y T7=130% RNQ.

Esta mayor producción se puede atribuir al efecto que produjo la aplicación al suelo de fuentes de nutrientes fácilmente aprovechables por la planta, que tuvieron efecto directo en el crecimiento y desarrollo, pues el fósforo y el nitrógeno contribuyeron a la formación de las raíces, debido a que la planta asimila con facilidad estos nutrientes y, por consiguiente, adquiere mayor vigor y rusticidad (Thompson y Troeh, 1988), que le proporcionan además, mayor resistencia a factores físicos adversos mejorando el proceso de fotosíntesis, lo que aumentó la producción de biomasa, debido a que hubo transporte de carbohidratos hacia los órganos de reserva (Jaramillo, 2001).

Estos resultados coinciden con los obtenidos por Marti y Mills en 2002, quienes estudiaron dosis de nitrógeno y potasio; El nitrógeno es el nutriente que más influye en el rendimiento de raíces y biomasa, a este le sigue el potasio y luego el fósforo. Existe una alta correlación entre el crecimiento de la masa verde con el rendimiento de raíces (Cenoz *et al.*, 2000). La aplicación de fertilizantes puede aumentar significativamente el rendimiento de tubérculos, tal como lo reportan Eppendorfer y Eggum (1994), quienes informaron que el aumento en el rendimiento del tubérculo era particularmente alto con la aplicación de N, P y K.

Las condiciones climáticas no fueron las ideales para el cultivo durante el periodo experimental; se registraron lluvias solo de 400 mm, no obstante, esto no interfirió en el resultado del rendimiento, que superó el rendimiento promedio nacional que es de 10 t/ha (Agronet, 2015); al parecer, las condiciones de humedad solo interfirieron es mostrar un mejor efecto de los fertilizantes con biopolímeros.

Los otros componentes de rendimiento tales como PRXP, NRCXP y PSRXP también mostraron significancia para los tratamientos de fertilizante químico convencional; el número de raíces por planta no se afectó significativamente por los tratamientos aplicados (Tabla 4.5). Estos componentes tienen una alta correlación con los rendimientos, es decir que esas variables explican de un 75% a 100% el comportamiento del rendimiento (Tabla 4.6).

Tabla 4.6

Correlación entre el rendimiento (REND t/ha) y peso raíces por planta (PRXP g planta⁻¹), número de raíces por plantas (NRXP), número de raíces comerciales por planta (NRCXP) y peso seco de raíces por planta (PSRXP g planta⁻¹).

CORRELACIÓN ENTRE REND Y COMPONENTES DE RENDIMIENTO				
	PR XP	NR XP	NRC XP	PSR XP
REND	1,00**	0,75**	0,82**	0,88**

*Significancia ($p < 0,05$); **altamente significativo ($p < 0,001$) ns: indica no significancia ($p < 0,05$);

Conclusiones y recomendaciones

Los diferentes tratamientos de fertilización aplicados no mostraron efecto significativo sobre las variables de intercambio gaseoso, el comportamiento de éstas dependió más de las condiciones ambientales en las que se desarrolló el ensayo. La producción y distribución de materia seca en hojas, tallos y raíces tuberosas fue favorecida por los tratamientos con fertilizantes químicos convencionales, de los cuales, aplicando dosis altas o bajas a los 120 DDP se pueden obtener que las plantas produzcan un 65% en materia seca de raíces tuberosas. Para obtener altos rendimientos de batata, aún con condiciones ambientales no favorables, es necesaria la aplicación de fertilizantes químicos convencionales con dosis de 70% de RNQ.

Se recomienda para futuras investigaciones evaluar el efecto de los fertilizantes recubiertos con biopolímeros y fertilizantes químicos convencionales con condiciones de humedades controladas a través de sistemas de riego, y realizar un estudio económico con los diferentes rendimientos obtenidos.

Referencias

- AgroNet (2015). Disponible en: <http://www.agronet.gov.co/agronetweb1/Estad%C3%ADsticas.aspx>. Consultado el 28 de junio 2015
- Bogucka, B., & Cwalina-Ambroziak, B. (2016). Mineral fertilization versus the intensity of photosynthesis and transpiration of potato plants. *Acta Scientiarum Polonorum. Agricultura*, 15(1).

- Brouwer, R. (1962). Distribution of dry matter in the plant. *Neth. J. Agric. Sci.* 10: 361-376p.
- Cenoz, P.J.; A. López; A. Burgos (2000). Efecto de los macro nutrientes en el desarrollo y rendimiento de Mandioca (*Manihot esculenta*, Crantz). *Comunicaciones Científicas y Tecnológicas* 2000. En sitio web: http://www.unne.edu.ar/unnevieja/Web/cy_t/cyt/2000/5_agrarias/a_pdf/a_061.pdf / Consultado el 20/02/2017
- Cornic, G., Fresneau, C., (2002). Photosynthetic carbon reduction and carbon oxidation cycles are the main electron sinks for photosystem II activity during a mild drought. *Ann. Bot.* 89, 887–894
- Echer, F. R., Dominato, J. C., & Creste, J. E. (2009). Absorção de nutrientes e distribuição da massa fresca e seca entre órgãos de batata-doce. *Horticultura brasileira*, 27(2), 176-182p.
- Eppendorfer WH and Eggum BO (1994), Dietary fibre, starch, amino acids and nutritive value of potatoes as affected by sulfur, nitrogen, phosphorus, potassium, calcium and water stress. *Acta Agric Scand B Soil Plant Sci* 44: 107–115p.
- Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D., Basra, S.M.A. (2009). Plant drought stress: effects, mechanisms, and management, *Sustainable, Agriculture*. Springer, The Netherlands, pp. 155–188p
- Finn, G.A., Brun, W.A. (1980). Water stress effects on CO₂ assimilation, photosynthates partitioning, stomatal resistance, and nodule activity in soybean. *Crop Sci.* 20, 431–434p
- Gajanayake, B., Reddy, K. R., Shankle, M. W., & Arancibia, R. A. (2014). Growth, developmental, and physiological responses of two sweet-potato (*Ipomoea batatas* L.[Lam]) cultivars to early season soil moisture deficit. *Scientia Horticulturae*, 168, 218-228p.
- Hall, A. J. (1979). Los componentes fisiológicos del rendimiento de los cultivos. In *Primera Jornada de la Academia Nacional de Agronomía y Veterinaria organizada con la Bolsa de Cereales de Buenos Aires en adhesión al 125º aniversario de su fundación (6 de septiembre de 1979)*.
- Heuvelink, E. y L.F.M. Marcelis. (1989). Dry matter distribution in tomato and cucumber. *Acta Horticulturae* 260: 149-157p.

- Jaramillo, F. (2001). Introducción a la Ciencia del Suelo. Universidad Nacional de Colombia. Medellín. ICNE. 435–437p.
- Kirnak, H., Kaya, C., Higgs, D., Gercek, S. (2001). A long-term experiment to study the role of mulches in the physiology and macro-nutrition of strawberry grown under water stress. *Crop Pasture Sci.* 52, 937–943p.
- Kulkarni, M., Phalke, S. (2009). Evaluating variability of root size system and its constitutive traits in hot pepper (*Capsicum annuum* L.) under water stress. *Sci. Hortic.* 120, 159–166p.
- Kolbe, H., Beckmann, S.S. (1997). Development, growth and chemical composition of the potato crop (*Solanum tuberosum* L.) I. Leaf and Stem. *Potato Res.*, 40, 111–129p.
- Krug, H. (1997). Environmental influences on development growth and yield. pp. 101–180. In: H.C. Wien (Ed.). *The Physiology of Vegetable Crops*. CABI Publishing, London. 662 p.
- Lawlor, D.W., Cornic, G. (2002). Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. *Plant Cell Environ.* 25, 275–294p
- Lawson, T., Oxborough, K., Morison, J.I., Baker, N.R. (2003). The responses of guard and mesophyll cell photosynthesis to CO₂, O₂, light, and water stress in a range of species are similar. *J. Exp. Bot.* 54, 1743–1752p.
- Leksrisompong P., Whitson M., Troung V., Drake M. (2012). Sensory attributes and consumer acceptance of sweet potato cultivars with varying fresh colors. *Journal of Sensory Studies* 27:59–69
- Liu, F., Stützel, H. (2002). Leaf water relations of vegetable amaranth (spp.) in response to soil drying. *Eur. J. Agron.* 16, 137–150p.
- Liu, F., Stützel, H. (2004). Biomass partitioning, specific leaf area, and water use efficiency of vegetable amaranth in response to drought stress. *Sci. Hortic.* 102, 15–27p.
- Martínez, C. A., & Moreno, U. (1992). Expresiones fisiológicas de resistencia a la sequía en dos variedades de papa sometidas a estrés hídrico en condiciones de campo. *Bras. Fisiol. Veg.* 4(1), 33–38p.
- Martí H. R. & H. A. Mills (2002) Nitrogen and potassium nutrition affect yield, dry weight partitioning, and nutrient-use efficiency of sweet

- potato, *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 33:1-2, 287-301p.
- Mukhtar A., Tanimu B., Arunah L., Babaji A. (2010). Evaluation of the Agronomic Characters of Sweet Potato Varieties Grown at Varying Levels of Organic and Inorganic Fertilizer. *World Journal of Agricultural Science* 6(4):370-373.
- Nganga, S. (1982). Physiological basis of potato crop yield: principles. *Potato Seed Production for Tropical Africa*. International Potato Center. 13-16p.
- Njoku J. (2006). Multilocal Evaluation of New Sweetpotato Genotypes. NRCRI, Annual Report 124-157.
- Oliveira, A. P., da Silva, J. E. L., Pereira, W. E., & das Neves Barbosa, L. J. (2008). Produção de batata-doce e teor de amido nas raízes em função de doses de P 2 O 5-DOI: 10.4025/actasciagron. v27i4. 1342. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 27(4), 747-751p.
- Penston, N.L. (2006). Studies of the physiological importance of the mineral elements in plants. VIII. The variation In potassium content of potato leaves during the day. *New Phytol.*, 34(4), 296-309p.
- Pereira A. P., Leonardo, F. D. A. P., de Oliveira, W. E., da Silva, O. P. R., & Barros, J. R. A. (2014). Rendimento da batata-doce adubada com nitrogênio e esterco bovino. *Revista Caatinga*, 27(2), 18-23.
- Reddy, A.R., Chaitanya, K.V., Vivekanandan, M. (2004). Drought induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. *J. Plant Physiol.* 161, 1189–1202p.
- Ruiz, G., Valdivia, C. P., Trejo, L., & Sánchez, A. (2007). Reacción fisiológica del maguey (*Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck) a la sequía intermitente. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 24(01).
- Rulina, D. (2010) Pengaruh pemberian dosis pupuk kalium dan macam cara peletakan stek terhadap pertumbuhan dan hasil ubi jalar (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.) 48-50p.
- Solarte M. E., Pérez L. V. & Melgarejo, L. M. (2010). Ecofisiología vegetal. En: Melgarejo, L M. (ed.). *Experimentos en fisiología vegetal*. Universidad Nacional de Colombia. Departamento de Biología, 137-166p.

- Taiz L y E Zeiger (2006) *Plant Physiology*. Quinta edición. Sinauer Associates, Inc. Publishers. Sunderland, Massachusetts. pp 792.
- Tekalign, T. y P.S. Hammes. (2005). Growth and productivity of potato as influenced by cultivar and reproductive growth II. Growth analysis, tuber yield and quality. *Scientia Horticulturae* 105 (1): 29–44.
- Thompson, R.V. y Troeh, F.R. (1988). *Los Suelos y su Fertilidad*. Editorial Reverte. Barcelona. España.
- Verbruggen, N., Hermans, Ch. (2013). Physiological and molecular responses to magnesium nutritional imbalance in plants. *Plant Soil*, 368(1-2), 87-99.

CAPÍTULO 5

Efecto de hidro-retenedores sobre el crecimiento y desarrollo del cultivo de batata (*ipomoea batatas* l.)

Lainer Narváez Quiroz¹, Carlos Enrique Cardona Ayala², Saula Salcedo³ y Elvia Amparo Rosero⁴

1 Magíster en Ciencias Agronómicas. Lainer.narvaez@gmail.com

2 Ph.D. Ciencias Naturales para el Desarrollo con énfasis en producción Agrícola vinculado a Universidad de Córdoba. ccardonaayala@yahoo.com

3 Magister en ciencias Agronómicas. Saula.salcedo@gmail.com

4 Alpala. Ph.D. Fisiología y anatomía vegetal. Corporación colombiana de investigación agropecuaria – Agrosavia. erosero@corpoica.org.co

Introducción

La batata (*Ipomoea batata* L.) es un cultivo tropical de mucha versatilidad y propiedades importantes en el ámbito alimenticio e industrial; según la FAO (2015) es uno de los principales cultivos alimenticios del mundo siendo superado solo por trigo, maíz, arroz, papa y yuca; está incluido en la dieta de países desarrollados, y, además, es de gran utilidad en la industria de los biocombustibles, producción de almidón y colorantes (IPC, 2016).

En lo referente a las condiciones agroecológicas, la batata como especie cultivada y silvestre ofrece una amplia variabilidad genética que se expresa en las distintas adaptaciones a condiciones ambientales diversas, tales como sequía, humedad, salinidad, tipo de suelo, resistencia a plagas y enfermedades, etc. Adicionalmente, su manejo agronómico resulta más económico que el de otros cultivos, en términos de menores requerimientos de fertilizantes y pesticidas (Cusumano & Zamudio 2013; Tique *et al.*, 2009).

El agua es importante para las funciones básicas de la vida celular, jugando un papel importante en los procesos fisiológicos, constituye del 70 al 95 % de la materia fresca en tejidos y órganos. El agua es requerida en grandes cantidades y es muy importante en para todos los proceso metabólicos y fisiológicos para el crecimiento y desarrollo de la planta, de igual forma que es uno de los principales medios y reactivos en los procesos bioquímicos tales como la fotosíntesis y procesos hidrolíticos (Lambers *et al.*, 2008). Par disminuir los efectos negativos que puede causar la poca disponibilidad de agua, y cuando se presentan las sequias que son muy prolongadas, se utilizan los retenedores de agua, se considera una herramienta muy importante que ha tomado auge en los últimos años, proporcionando una fuente de almacenamiento y reserva adicional de agua en el suelo, que puede ser utilizada de forma fácil por las plantas. Los hidro-retenedores son polímeros hidro-absorbentes que tienen la capacidad de absorber grandes cantidades de agua, y otras soluciones

acuosas sin disolverse, dicho proceso depende del grado de polimerización de los monómeros constituyentes. (Estrada, 2012).

Al tener en cuenta que las condiciones hídricas, los cambios meteorológicos y los regímenes de precipitaciones, juegan un papel importante en el comportamiento fisiológico de los cultivos, es de vital importancia desarrollar, evaluar e implementar el uso de nuevas tecnologías que permitan mitigar y reducir la vulnerabilidad y por lo tanto el riesgo asociado a la sequía y patrones de precipitación irregulares (Iglesias y Martín, 2009). Es necesario un balance adecuado en las relaciones hídricas entre el suelo, la planta y la atmósfera para que la optimización de los procesos fisiológicos y metabólicos, se exprese en el aumento del rendimiento, que junto con la evaluación de nuevas variedades o genotipos que presenten características importantes frente a la respuesta a condiciones de estrés bióticos y abióticos, se traduce en una herramienta para el inicio y fortalecimiento de una cadena productiva poco explotada y con gran potencial en el departamento de Sucre y Colombia.

Los hidro-retenedores, como alternativa tecnológica en la retención hídrica de los suelos, proveen a las plantas disponibilidad de agua, aire y nutrientes; presentan una alta capacidad absorber agua y proporcionarla lentamente a las raíces de las plantas (Plaza, 2006).

Ante la necesidad de mitigar los efectos negativos de la sequía durante la temporada de bajas precipitaciones, se propuso esta investigación con el objetivo de evaluar el crecimiento y desarrollo del cultivo de batata, con el uso de hidro-retenedores en el departamento de Sucre.

Materiales y métodos

El ensayo fue realizado en el departamento de Sucre, municipio de Corozal ubicado a 9°19'01" latitud norte y 75°17'36" latitud oeste, a una altura de 174 msnm, bajo las condiciones ambientales de bosque seco tropical: temperatura media de 29°C, humedad relativa promedio de 78% y precipitación media anual entre 900 y 1200 mm (Aguilera, 2012). Se realizó en la Granja y parque de maquinaria de la gobernación de Sucre, en un suelo con las propiedades físico-químicas anotadas en la Tabla 5.1.

Tabla 5.1.
Propiedades físico-químicas de suelo del ensayo.

Propiedad	Unidad	Valor	Propiedad	unidad	Valor
pH	1:1, P/V	6,48	Ca	Cmol kg ⁻¹	28,6
MO	%	2,01	Mg	Cmol kg ⁻¹	12,2
C.I.C	Cmol kg ⁻¹	41,4	Na	Cmol kg ⁻¹	0,09
Textura	-	Arcilloso	Cu	mg kg ⁻¹	0,2
DA	(g cm ⁻³)	1,92	Fe	mg kg ⁻¹	6
P	mg kg ⁻¹	15,8	Zn	mg kg ⁻¹	0,5
S	mg kg ⁻¹	4,8	Mn	mg kg ⁻¹	29,6
K	Cmol kg ⁻¹	0,47	B	mg kg ⁻¹	0,2

MO=materia orgánica; DA=densidad aparente.

El establecimiento del cultivo se llevó a cabo al final del periodo de lluvias en el mes de octubre de 2016, para garantizar la humedad de suelo en las primeras fases del cultivo y así exponer las plantaciones a las condiciones de sequía en presentes en los meses de diciembre de 2016, enero y febrero de 2017. El suelo fue mecanizado con un pase de arado de disco, dos pases de rastrillo y aporcado del terreno a un metro de distancia, labraba convencional utilizada por los productores de la región.

Se utilizó un diseño experimental bloques completos al azar con cuatro repeticiones y una estructura de tratamientos factorial 2x5, en parcelas divididas en el espacio, donde el primer factor correspondió a genotipo de batata (*Ipomoea batatas* L.): G1('Exportación') y G2 ('Tainung'). El segundo factor a dosis de hidro-retenedor comercial (HC): cinco dosis de aplicación edáfica al momento de la siembra, incluido el testigo o control:

Las dosis de hidro-retenedor comercial fueron:

- D1: Sin aplicación edáfica HC (0,00 g planta⁻¹).
- D2: Aplicación edáfica de 25 kg ha⁻¹ de HC (1,0 g planta⁻¹).
- D3: Aplicación al suelo de 90 kg ha⁻¹ de HC (3,6 g planta⁻¹).

- D4: Aplicación al suelo de 155 kg ha⁻¹ de HC (6,2 g planta⁻¹).
- D5: Aplicación al suelo de 220 kg ha⁻¹ de HC (8,8 g planta⁻¹).

Las dosis de los tratamientos se establecieron sobre la base de los estudios realizados en Egipto por Ezztat *et al.*, 2011 en el cultivo *Solanum tuberosum* L., quienes obtuvieron buenos resultados con aproximadamente 90 kg/ha de hidrogel comercial. Por otra parte, la dosis mínima recomendada por las casas comerciales en Colombia para cultivos en surcos, es de 25 kg ha⁻¹.

Las unidades experimentales fueron de 48 m² (8 surcos de 6 m de largo, separados a 1,0 m y una distancia entre plantas de 0,4 m, para 120 plantas por unidad experimental. Las dos plantas centrales de los surcos 2, 3, 4 y 5 de cada unidad experimental se tomaron como parcela útil, en la cual se realizaron los muestreos no destructivos. Las plantas restantes fueron utilizadas para los muestreos destructivos de biomasa, área foliar, todos estos monitorios fueron planeados teniendo en cuenta los efectos de borde.

Las variables dependientes fueron evaluadas en muestreos y mediciones cada 30 días, desde los 30 hasta los 120 días después de la emergencia (DDE), teniendo en cuenta las condiciones ambientales de la zona de estudio, en la que por sus precipitaciones históricas se tuvo la mayor cantidad de éstas en los primeros 30 DDE, que coincide con fase de establecimiento del cultivo; a continuación, las plantas estuvieron expuestas a condiciones de sequías que aumentaban paulatinamente hasta los 90 DDE.

Número de hojas por planta (NH): se realizaron las observaciones y se tomó el dato de número de hojas totalmente desplegadas en la planta en cada una de las fechas de medición estipuladas anteriormente, realizando seguimiento a tres plantas de la parcela útil en cada unidad experimental.

Área foliar (AF:cm²): ésta se obtuvo por el método de relación peso: área o de sacabocado (Pire y Valenzuela, 1995), con muestreos destructivos de tres plantas de los surcos 2, 3, 4 y 5 en cada uno de los tiempos estipulados anteriormente y en cada una de las unidades experimentales.

Índice de área foliar (IAF): este parámetro se midió indirectamente con la relación entre el área foliar y el área de suelo, para cada una de

las unidades experimentales en los tiempos estipulados anteriormente (Melgarejo *et al.*, 2010).

Acumulación de biomasa (g): con la periodicidad mencionada anteriormente se tomaron al azar tres plantas por unidad experimental en los surcos 2, 3, 4, 5 de cada parcela, en las cuales se realizaron las mediciones de peso fresco de cada uno de los órganos de la planta (raíz, tallo y hojas) y se seleccionó una muestra de 250 g de cada uno de los órganos de las plantas destruidas, para secar hasta peso constante, generalmente durante 48 horas en un horno a 70° C (Saraswati, 2007), calculando la materia seca total por planta (**MST**), materia seca de la parte aérea por planta (**MSPA**) y materia seca de raíces tuberosas por planta (**MSRT**).

Los datos se analizaron mediante análisis de varianza, para evaluar los efectos de los factores estudiados (Genotipos y Dosis de hidro-retenedor comercial) y la interacción de primer orden. Además, se realizaron contrastes de interés al 5% de probabilidad. Adicionalmente, se estimaron modelos de regresión para las variables con niveles cuantitativos. Se utilizó el software SAS versión 9.1.

Resultados y discusión

Condiciones ambientales

En la zona de estudio, durante los 120 DDE del ciclo del cultivo, se presentó una precipitación acumulada de 384,45 mm, inferior a la reportada por (Miranda *et al.*, 1989), quien afirma que las plantas expuestas a condiciones de precipitaciones inferiores a 500 mm, no tendrían la suficiente humedad para realizar los procesos fisiológicos de forma normal. Para el estudio se garantizó que las plantas estuvieran expuestas a condiciones de estrés hídrico durante la mayor parte del ciclo del cultivo. La figura 5.1 muestra que el 73,21% de la precipitación se presentó en los primeros 30 DDE (fase de establecimiento del cultivo) correspondiente a 281,45 mm.

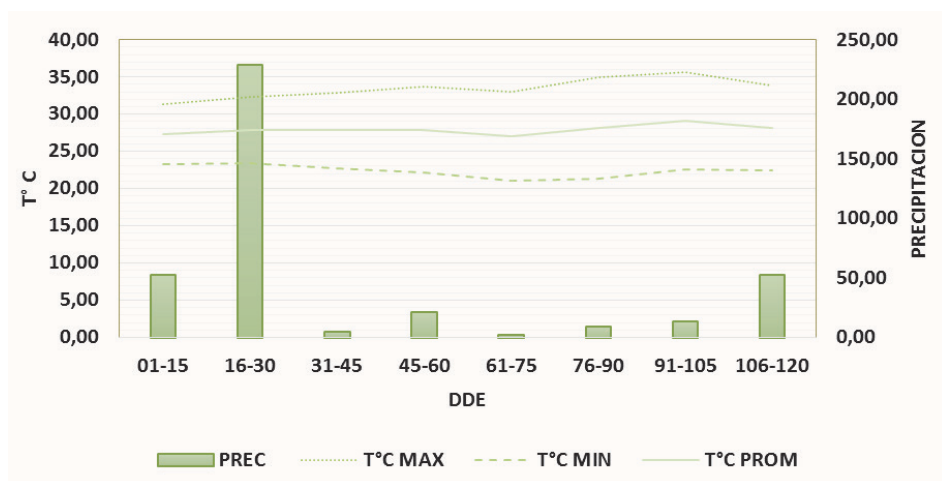


Figura 5.1. Condiciones ambientales presentes en el sitio de estudio durante el ciclo del cultivo de batata.

PREC: precipitación mensual; T °C MAX: promedio de temperatura máxima; T °C MIN: promedio de temperatura mínima; T °C PROM: temperatura media.

Entre los 30 y 60 DDE, inicio de fase de tuberización, el cultivo estuvo expuesto a 30 días de sequía, con tan solo 25,70 mm de precipitación, correspondiente al 7% del total de las lluvias durante el ciclo del cultivo. En los siguientes 30 días se hizo más intensa la sequía, con 11,40 mm (3%) y las plantas habían completado 60 días de sequía en plena fase tuberización, con un acumulado de tan solo 37,10 mm. En la última etapa del cultivo, comprendida entre los 90 y 120 DDE, se presentó un aumento de las precipitaciones que sumó 65,90 mm, correspondiente al 17% del total (Figura 5.1.).

Por otro lado, la temperatura máxima estuvo entre 31 y 35 °C, mientras que la mínima, entre los 21 y los 24 °C, para una media de temperaturas que osciló alrededor de 28°C, acorde con las características del bosque seco tropical del departamento de Sucre (Aguilera, 2012). Este comportamiento del estado del tiempo durante el ensayo permite el análisis de las respuestas fisiológicas de la batata durante periodos caracterizados por las condiciones hídricas del suelo presentes.

Respuestas fisiológicas de la batata durante los primeros 30 DDE.

Durante este periodo las plantas estuvieron expuestas a abundantes lluvias y, por lo tanto, a mayor humedad disponible en suelo (Figura 5.1). En esta etapa del cultivo, sólo hubo efecto principal altamente significativo en el factor genotipo en cinco de las seis variables MST, MSRT, MSPA, AF, IAF; En el número de hojas (NH) no se observaron diferencias significativas entre los genotipos. La media general fue 22 hojas (Tabla 5.2 y 5.3). El genotipo Tainung presentó mayor acumulación de MSPA, MSRT y, por lo tanto, mayor MST que el genotipo Exportación. La superioridad estuvo alrededor de 100,63 y 92 %, respectivamente (Tabla 5.3 y 5.5). De igual manera, en las variables AF e IAF, la mayor media fue de Tainung al superar a Exportación en 160 % (Tabla 5.4 y 5.5). Estas diferencias obedecen a las características propias de cada genotipo expresadas bajo las condiciones ambientales del lugar del ensayo (Rodríguez-Delfín, 2014).

Por otro lado, no se observó efecto de las dosis de los hidro-retenedores, ni una interacción entre los factores genotipo x hidro-retenedor (Tablas 5.2 y 5.3), ya que estos polímeros son diseñados con el fin de cargarse de agua y liberarla paulatinamente al suelo por diferencias de potenciales hídricos, mientras este último se seca por acción de la evapotranspiración. En esta primera etapa, el suelo estuvo con un contenido alto de agua disponible, suficiente para que las plantas se desarrollaran en forma normal sin llegar a estresarse por este factor.

Respuestas fisiológicas de la batata durante los primeros 60 DDE

Después de los primeros 30 DDE, las plantas estuvieron sometidas a 30 días de sequía con sólo 25 mm de precipitación. Los análisis de varianza mostraron efectos de la interacción de los genotipos con las dosis de hidro-retenedor en las variables MST, MSRT, MSPA, AF, IAF, lo cual indica que los efectos de las dosis de hidro-retenedor varían con el genotipo (Tabla 5.2). Para las variables MST y MSPA del genotipo 'Exportación', las cuatro dosis de hidro-retenedor superaron significativamente a la no aplicación del mismo (Tabla 5.3); también se observó que el mayor efecto en la magnitud de estas variables se alcanzó con las dosis 4 y 5, es decir, las más altas,

mientras que en el genotipo 2 'Tainung, el mayor efecto se logró con las dosis 3, 4 y 5, sin diferencias entre ellas (Tabla 5.3 y 5.5).

En la variable MSRT sólo se presentó efecto principal del factor genotipo; la media del genotipo 2 Tainung resultó mayor que la del 1 'Exportación' en 40% (Tablas 5.3 y 5.4). Para las variables AF e IAF la interacción genotipo x hidro-retenedor resultó altamente significativa, además de los efectos principales de ambos factores (Tabla 5.2). El genotipo 2 Tainung presentó mayor área foliar e índice de área foliar que el genotipo 1 Exportación (Tablas 5,4 y 5,6). El AF y el IAF del genotipo 2 fueron de mayor magnitud cuando se aplicó hidro-retenedor en cualquiera de las dosis, al superar ampliamente a la no aplicación, mientras que para el genotipo 1, no hubo diferencias entre aplicar o no hidro-retenedor. Por otra parte, en el genotipo 2, las tres dosis más altas, 3, 4 y 5 influyeron en mayor grado en el AF y el IAF, sin diferencias significativas entre ellas. (Tabla 5.4 y 5.6).

Azevedo (2002) menciona que el uso en este tipo de polímeros hidro-retenedores mejoran las propiedades físicas e hidráulicas del suelo, ayuda a disminuir la lixiviación de nutrientes en las pérdidas por las lluvias excesivas, aumenta la capacidad de intercambio catiónico, mejora la disponibilidad de agua para las plantas y se obtiene un efecto positivo en el desarrollo del cultivo, tales como la acumulación de MST y MSPA, sin comprometer el crecimiento de la planta por déficit de agua.

Adicionalmente hay que tener en cuenta la variabilidad genética y su expresión bajo cada una de las dosis de hidro-retenedores, ya que cada uno de los genotipos evaluados presenta una respuesta característica ante tales condiciones (Rodríguez-Delfín, 2014). De igual forma, Gajanayake *et al* (2014) encontraron un aumento significativo en las variables la acumulación de materia seca y área foliar, cuando dos genotipos de batata eran sometidos a diferentes condiciones de humedad edáfica, siendo mayor el valor en los tratamientos con condiciones hídricas altas, mostrándose un efecto diferente el aumento de un nivel de humedad de suelo a otro, en cada uno de los genotipos. En general, la reducción en el crecimiento de batata está asociado con niveles más altos de estrés hídrico y parece estar limitando tanto la capacidad de la fuente (área foliar) y el rendimiento (actuaciones fotosintéticas) que conducen a menor acumulación de biomasa (Gajanayake *et al*, 2014). Estudios realizados por Saraswati (2007), evaluando el estrés

hídrico en *Ipomea batatas* L, observó una disminución significativamente en la biomasa de la planta, obteniendo los valores más bajos para variables respuestas en las condiciones de estrés (longitud y diámetro del tallo, peso de raíz, número de nudos, área foliar y peso de follaje), afectando los procesos fisiológicos de los cultivares evaluados.

Tabla 5.2.

Cuadrados medios del análisis de varianza para las variables materia seca total por planta (MST), materia seca de raíces tuberosas por planta (MSRT), materia seca de la parte aérea por planta (MSPA), área foliar (AF), índice de área foliar (IAF) a través del ciclo del cultivo.

TIEMPO		MST	MSRT	MSPA	AF	IAF	NH
30	CM T	6,18	0,08	5,27	884083,26	0,05	47,98
	CM E	2,32	0,05	2,11	45603,47	0,00	28,34
	CM G	82,14 **	0,59**	71,05**	11921484,33**	0,74**	366,03 ^{ns}
	CM HC	0,72ns	0,06ns	0,44ns	79615,39ns	0,01ns	20,04ns
	CM GxHC	0,16ns	0,06ns	0,06ns	36208,72ns	0,00ns	14,84ns
	MEDIA	4,55	0,53	4,00	1217,68	0,31	21,83
	CV	33,57	43,16	36,31	17,54	17,23	24,39
60	CMT	353,01	37,50	219,18	17813979,6	1,11	375,99
	CME	27,39	6,33	23,98	1476645,7	0,09	359,51
	CMG	2412,32*	317,28*	1333,04*	197846283,8**	12,35**	324,90ns
	CMHC	271,37*	10,50ns	267,94ns	7949721,1**	0,50**	353,94ns
	CM GxHC	156,07**	26,04*	77,83**	6292919,1**	0,40**	335,71ns
	MEDIA	57,57	17,47	40,64	6005,98	1,50	77,00
	CV	9,09	14,40	12,05	20,23	20,26	24,62
90	CMT	737,94	511,08	184,46	13651416,4	0,85	1527,21
	CME	501,38	253,14	123,70	1126271,5	0,07	1193,71
	CMG	2037,38*	2556,7**	29,46ns	108571977,1**	6,76**	7398,40**
	CMHC	889,48ns	573,88ns	179,22ns	9121329,8ns	0,57ns	584,46ns
	CM GxHC	745,73ns	244,74ns	303,82ns	10541912,5ns	0,66ns	2139,09ns
	MEDIA	119,05	61,61	57,45	5109,83	2,17	119,15
	CV	18,81	25,83	19,36	12,60	12,17	29,00

Efecto de hidro-retenedores sobre el crecimiento y desarrollo del cultivo de batata
(*ipomoea batatas* L.)

120	CMT	1743,52	948,64	474,57	1045086,07	0,07	8009,24
	CME	227,23	471,25	100,74	414537,13	0,03	4001,50
	CMG	18687,03**	7378,55*	692,56**	395289,95ns	0,02ns	52635,03*
	CMHC	1193,71ns	256,00ns	1288,95ns	2218277,51ns	0,14ns	8923,63ns
	CM GxHC	353,62ns	259,86ns	245,20ns	591218,48ns	0,04ns	2909,03ns
	MEDIA	177,56	103,00	75,82	5109,83	1,28	171,13
	CV	8,49	21,08	13,24	12,60	12,52	36,97

CMT: cuadrado medio de tratamientos; CME: cuadrado medio del error experimental; CMG: cuadrado medio para el efecto principal del factor genotipo (G); CMHC: cuadrado medio para el efecto principal hidro-retenedores (HC); CM GxHC: cuadrado medio de la interacción GxHC; CV: coeficiente de variación. ns: no significativo; *: significativo al 5%; ** significativo al 1%.

Tabla 5.3.

Valores de contrastes ortogonales de las variables materia seca total por planta (MST), materia seca de raíces tuberosas por planta (MSRT) y materia seca de la parte aérea por planta (MSPA), a través del ciclo del cultivo.

CONTR	MST				MSRT				MSPA			
	30	60	90	120	30	60	90	120	30	60	90	120
C1	2,86**	18,03**	14,57*	43,23 **	0,25**	5,96**	16,32**	27,72**	2,67**	12,21**	-1,75 ns	8,32**
C2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C6	-	27,34*	-	-	-	-	-	-	-	21,12*	-	-
C7	-	55,23**	-	-	-	-	-	-	-	37,00**	-	-
C8	-	31,09**	-	-	-	-	-	-	-	25,58**	-	-
C9	-	24,36*	-	-	-	-	-	-	-	32,47**	-	-
C10	-	37,22**	-	-	-	-	-	-	-	30,32**	-	-
C11	-	-8,92 ns	-	-	-	-	-	-	-	1,22 ns	-	-
C12	-	-1,99ns	-	-	-	-	-	-	-	-0,59 ns	-	-
C13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C14	-	12,45*	-	-	-	-	-	-	-	9,03 *	-	-
C15	-	21,10**	-	-	-	-	-	-	-	11,28**	-	-
C16	-	34,24**	-	-	-	-	-	-	-	23,28**	-	-
C17	-	9,68*	-	-	-	-	-	-	-	7,80*	-	-
C18	-	12,66**	-	-	-	-	-	-	-	9,65*	-	-
CV	33,57	9,09	18,81	8,49	43,16	14,40	25,83	21,08	36,31	12,05	19,36	13,24

Efectos principales. C1: G1 vs G2; C2: D1 vs D2 D3 D4 D5; C3: D2 vs D3 D4 D5; C4: D3 vs D4 D5; C5: D4 vs D5; **Interacciones:** C6: (D1 vs D2 D3 D4 D5) vs G1; C7: (D1 vs D2 D3 D4 D5) vs G2; C8: (D2 vs D3 D4 D5) vs G1; C9: (D2 vs D3 D4 D5) vs G2; C10: (D3 vs D4 D5) vs G1; C11: (D3 vs D4 D5) vs G2; C12: (D4 vs D5) vs G1; C13: (D4 vs D5) vs G2; C14: (G1 vs G2) vs D1; C15: (G1 vs G2) vs D2; C16: (G1 vs G2) vs D3; C17: (G1 vs G2) vs D4; C18: (G1 vs G2) vs D5. G1: genotipo 1= 'Exportación'; G2: genotipo 2='Tainung'; D1: sin aplicación edáfica HC (0,00 g planta⁻¹); D2: aplicación edáfica de 25 kg ha⁻¹ de HC (1 g planta⁻¹); D3: aplicación al suelo de 90 kg ha⁻¹ de H (3,6 g planta⁻¹); D4: aplicación al suelo de 155 kg ha⁻¹ de HC (6,2 g planta⁻¹); D5: aplicación al suelo de 220 kg ha⁻¹ de HC (8,8 g planta⁻¹). CONTR = contraste. ns: no significativo *: Significativo al 5%; ** significativo al 1%.

Tabla 5.4.

Valores de contrastes ortogonales de las variables materia seca total por planta (MST), materia seca de raíces tuberosas por planta (MSRT) y materia seca de la parte aérea por planta (MSPA), a través del ciclo del cultivo.

CON-	AF				IAF				NH			
TR	30	60	90	120	30	60	90	120	30	60	90	120
C1	1091,86**	4447,99**	3362,97**	-198,82ns	0,27**	1,11**	0,84**	-0,05ns	6,05ns	5,70ns	-27,20*	72,55**
C2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C6	-	-510,02ns	3653,08ns	-	-	-0,13ns	-0,91ns	-	-	-	-	-
C7	-	7577,99**	6340,89*	-	-	1,90**	1,58**	-	-	-	-	-
C8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C9	-	8628,95**	12535,73**	-	-	2,16**	3,14**	-	-	-	-	-
C10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C11	-	-67,31ns	-282,49ns	-	-	-0,02ns	-0,07ns	-	-	-	-	-
C12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C14	-	2830,39**	1364,18ns	-	-	0,71**	0,34ns	-	-	-	-	-
C15	-	3042,17**	980,76ns	-	-	0,76**	0,24ns	-	-	-	-	-
C16	-	5783,71**	6012,82**	-	-	1,45**	1,50**	-	-	-	-	-
C17	-	3745,15**	5668,59**	-	-	0,94**	1,42**	-	-	-	-	-
C18	-	6838,54**	2788,50**	-	-	1,71**	0,70**	-	-	-	-	-
CV	17,54	20,23	12,21	12,60	17,22	20,26	12,17	12,52	24,39	24,62	28,99	36,97

Efectos principales. C1: G1 vs G2; C2: D1 vs D2 T3 D4 D5; C3: D2 vs D3 D4 D5; C4: D3 vs D4 T5; C5: D4 vs D5; Interacciones: C6: (D1 vs D2 D3 D4 D5) vs G1; C7: (D1 vs D2 D3 D4 D5) vs G2; C8: (D2 vs D3 D4 D5) vs G1; C9: (D2 vs D3 D4 D5) vs G2; C10: (D3 vs D4 D5) vs G1; C11: (D3 vs D4 D5) vs G2; C12: (D4 vs D5) vs G1; C13: (D4 vs D5) vs G2; C14: (G1 vs G2) vs D1; C15: (G1 vs G2) vs D2; C16: (G1 vs G2) vs D3; C17: (G1 vs G2) vs D4; C18: (G1 vs G2) vs D5. G1: genotipo 1= 'Exportación'; G2: genotipo 2='Tainung'; D1: sin aplicación edáfica HC (0,00 g planta⁻¹); D2: aplicación edáfica de 25 kg ha⁻¹ de HC (1 g planta⁻¹); D3: aplicación al suelo de 90 kg ha⁻¹ de H (3,6 g planta⁻¹); D4: aplicación al suelo de 155 kg ha⁻¹ de HC (6,2 g planta⁻¹); D5: aplicación al suelo de 220 kg ha⁻¹ de HC (8,8 g planta⁻¹). CONTR = contraste. ns: no significativo *: Significativo al 5%; ** significativo al 1%.

El efecto de los hidro-retenedores es efectivo después de un mes de sequía (Idrobo 2012) produciendo diferencias significativas con respecto al tratamiento testigo y con menos dosis de estos polímeros (D2 y D3), produciendo un aumento significativo en la producción forraje y por tanto en MSPA, mientras que la MSRT no es afectada significativamente por estos tratamientos y si por el efecto de los genotipos.

El número de hojas no presenta diferencias significativas con una media general de 77 hojas (figura 5.2), los contenidos de humedad en el suelo, afectan el crecimiento y los parámetros de desarrollo de la batata en los estados iniciales de desarrollo, los niveles más altos de humedad de suelo mejoran la asimilación de carbono en comparación con las plantas estresadas, la reducción en la conductancia estomatal y la pérdida de pigmentos fotosintéticos están altamente relacionados con esta respuesta, que afectan las relaciones entre la fuente (área foliar) y sumidero en la planta (raíces tuberosas) (Gajanayake *et al.*, 2014)

Es válido anotar que el efecto de los genotipos en cada una de los niveles de hidro-retenedores a los 60 DDE, en las variables en la MST y MSPA, siempre son mayores los valores de las medias del G2, pero la ganancia de MST y MSPA en el G1 es mayor que en el G2 cuando estos pasan de las dosis bajas de hidro-retenedor (T1, T2) a las dosis altas (T4 y T5), por efecto de la interacción.

Tabla 5.5

Valores medios para las variables materia seca total (MST), materia seca de la parte aérea (MSPA), materia seca de raíces tuberosas (MSRT), área foliar (AF), índice de área foliar (IAF) y número de hojas (NH), para el efecto principal del factor genotipo y para la interacción genotipo x hidro-retenedor según los valores de los contrastes evaluados.

Medias para el efecto principal del genotipo							
DDE	GEN	MST	MSPA	MSRT	AF	IAF	NH
30	G1	3,12	2,67	0,40	671,70	0,17	18,80
	G2	5,98	5,33	0,65	1.763,60	0,44	24,85
60	G1	48,21	34,50	14,59	3.782,00	0,95	74,15
	G2	67,51	47,11	20,50	8.230,00	2,06	79,85
90	G1	111,37	58,17	53,20	7.093,60	1,77	132,75
	G2	127,14	56,68	70,46	10.367,00	2,59	105,55
120	G1	155,95	71,66	89,35	5.209,20	1,30	134,85
	G2	199,18	79,98	117,38	5.010,40	1,25	207,40

Medias para el efecto de la interacción.									
HC	MST		MSPA		AF		IAF		
	G1	G2	G1	G2	G1	G2	G1	G2	
60	D1	43,87	57,05	30,62	40,50	3.883,99	6.714,38	0,97	1,68
	D2	41,67	64,03	29,50	40,78	3.409,47	6.451,64	0,85	1,61
	D3	40,89	-	27,92	-	3.566,68	-	0,89	-
	D3 D4	-	71,07	-	51,23	-	9.327,86	-	2,33
	D5	-	-	-	-	-	-	-	-
	D4 D5	59,27	-	43,34	-	4.024,90	-	1,01	-

G1: genotipo 1= 'Exportación'; G2: genotipo 2='Tainung'; D1: sin aplicación edáfica HC (0,00 g planta⁻¹); D2: aplicación edáfica de 25 kg ha⁻¹ de HC (1 g planta⁻¹); D3: aplicación al suelo de 90 kg ha⁻¹ de H (3,6 g planta⁻¹); D4: aplicación al suelo de 155 kg ha⁻¹ de HC (6,2 g planta⁻¹); D5: aplicación al suelo de 220 kg ha⁻¹ de HC (8,8 g planta⁻¹).

Respuestas fisiológicas de la batata a la 90 DDE.

Desde los 30 hasta los 90 DDE las plantas estuvieron expuestas a condiciones de sequía, en la fase de tuberización de los cultivos. Al evaluar el efecto de los tratamientos aplicados sobre las variables evaluadas de acumulación de materia seca, solo se observa un efecto principal del factor

genotipo en MST y MSRT (Tabla 2.2). Siendo mejor el resultado de la expresión fenotípica de Tainung al superar en un 14% la producción MST y en un 41% la MSRT al genotipo 2 Exportación (Tabla 5.2 y 5.5). Mientras que en la variable MSPA no presentó ninguna diferencia estadística con una media general de 57,43 g (Tabla 5.2 y 5.5).

Para las variables AF e IAF solo se tuvo un efecto altamente significativo del genotipo (Tabla 5.2), siendo mayores los valores para el genotipo 1 Tainung, superando en un 46% a la media del genotipo Exportación en las dos variables (Tabla 5.5).

La producción de hojas se ve afectada por la época de sequía, y se observa un efecto significativo de los genotipos (Tabla 5.2), donde Tainung produce un menor número de hojas que Exportación, de lo que se puede inferir que estos dos genotipos difieren en la forma de respuesta al estrés, donde Tainung que parece ser menos afectado, ya que produce 27 hojas menos que el Exportación, pero medio estas de mayor tamaño, mientras que Exportación el muestra una producción de 132 hoja más pequeñas, teniendo en cuenta los resultados del AF para cada genotipo.

Las condiciones fenológicas en las que se encuentran las plantas, las raíces tuberosas ejercen una presión sobre la fuente de producción de fotoasimilados, aumentando la acumulación de MSRT que presenta una tendencia lineal de crecimiento y se da inicio a la fase de senescencia y disminución en la acumulación MSPA, AF e IAF. Estos procesos parecen ser más eficiente en el Tainung como respuesta fenotípica al estrés por sequía, en donde este genotipo tiene mayor producción de AF, IAF y MSPA y por lo tanto mayor acumulación de MSRT. Gonzales *et al.* 2002 mencionan que, en la evolución de los mecanismos de tolerancia y adaptación de las plantas a los diferentes agentes estresantes, puede observarse la existencia de grados de sensibilidad y tolerancia muy diferentes entre las especies, variedades o genotipos dentro de una misma especie. Según Lambers *et al.*, 2008 si el factor hídrico no se encuentra fuera de los límites óptimos necesarios para que las plantas lleven a cabo sus procesos metabólicos y fisiológicos, se le está sometiendo a un estrés hídrico que afecta los procesos de crecimiento celular, tasas fotosintéticas y respiratorias y por lo tanto se reduce la expansión y el área foliar, si este déficit hídrico es severo se puede llegar a aumentar la senescencia de las hojas más antiguas de las plantas. La sequía afecta la producción de follaje y raíces tuberosas en la batata, la

sensibilidad de los genotipos de camote al estrés hídrico es crítica durante la etapa de crecimiento y desarrollo de las raíces tuberosas (Ekanayake *et al* 1990).

Respuestas fisiológicas de la batata a los 120 DDE

A la fecha de cosecha, después de estar sometida las planta a 90 días de sequía, solo se observan efectos altamente significativos del factor genotipo para las variables MST y MSPA, y un efecto significativo para MSRT (Tabla 5.2), manteniendo la misma tendencia, con mayores valores para el genotipo 2 Tainung, con los más altos valores de producción de MST, MSPA y MSRT, llegando a superar al genotipo Exportación en un 28, 11 y 31 % respectivamente (Tabla 5.3 y 5.5).

En esta etapa el AF y el IAF no se presentan diferencias significativas para ninguno de los factores ni para su interacción (Tabla 5.2), con una media general para el cultivo de 5109,83cm² para el AF y 1,28 para IAF (Tabla 5.5).

Las condiciones ambientales y la edad del cultivo hacen que disminuya la tasa de acumulación de MSPA, efectuando una translocación y producción de fotoasimilados dirigida al llenado del órgano de interés, por lo que la acumulación de MSRT sigue una tendencia de crecimiento casi línea en esta etapa. Adicionalmente el AF y el IAF tiende a disminuir como efecto de la interacción entre genotipo y el ambiente, fase de senescencia. (Figura 5.2)

El NH solo tuvo una respuesta significativa al efecto de los genotipos (Tabla 5.2), esta se ven afectado por las condiciones ambientales de este periodo, en las que por las lluvias de las últimas dos semanas (65 mm) se reactivan la producción de hojas, y de rebrotes en el caso del genotipo 2 Tainung, que presenta los mayores valores, mientras que Exportación disminuye la producción de esta. De lo que se puede inferir que Tainung tiene una mayor capacidad de recuperación ante el estrés, ya que todos estos procesos son el reflejo de la interacción entre genotipo x ambiente (Rodríguez-Delfín, 2014).

La acumulación de materia seca al final del ciclo del cultivo de en condiciones limitadas de humedad del suelo, dependen principalmente del efecto del genotipo, de igual forma que la cantidad de materia seca de raíces

acumulada, ya que esta está influenciada por la capacidad de los genotipos para iniciar la formación de raíces tuberosas, el número de raíces tuberosas y distribución de los asimilados hacia las raíces (Demagante *et al.*, 1989).

Tendencia en el tiempo de Acumulaciones de materia seca (MST, MSPA y MSRT)

En lo pertinente al efecto del factor genotipos en las variables MSRT y MSPA en el tiempo, desde el 15 hasta el 120 DDE, se observa un mejor ajuste a un modelo polinómico cubico ($y_0 + ax + bx^2 + cx^3$), con R^2 altos entre 93 – 99 % (Tabla 5.6), las cuales muestran una tendencia similar de crecimiento para cada una de los genotipos, pero siempre con valores superiores en el genotipo ‘Tainung’, en el cual los efectos cuadráticos y cúbicos son menores con respecto al genotipo Exportación (Figura 5.2), en los que al final del ciclo del cultivo se observa una disminución en las tasa de acumulación de MSRT y MSPA, como respuesta las condiciones ambientales y fase fenológica del cultivo (senescencia).

La MST también ajustadas a un modelo cubico para los dos genotipos (Tabla 5.5), donde el genotipo Tainung presenta los mayores valores que el genotipo ‘Exportación’, lo que está acorde a los menores efectos lineales y cuadráticos presentes en este. Estas respuestas diferenciales obedecen a las características de cada genotipo, afectado por las condiciones ambientales (Rodríguez-Delfín, 2014).

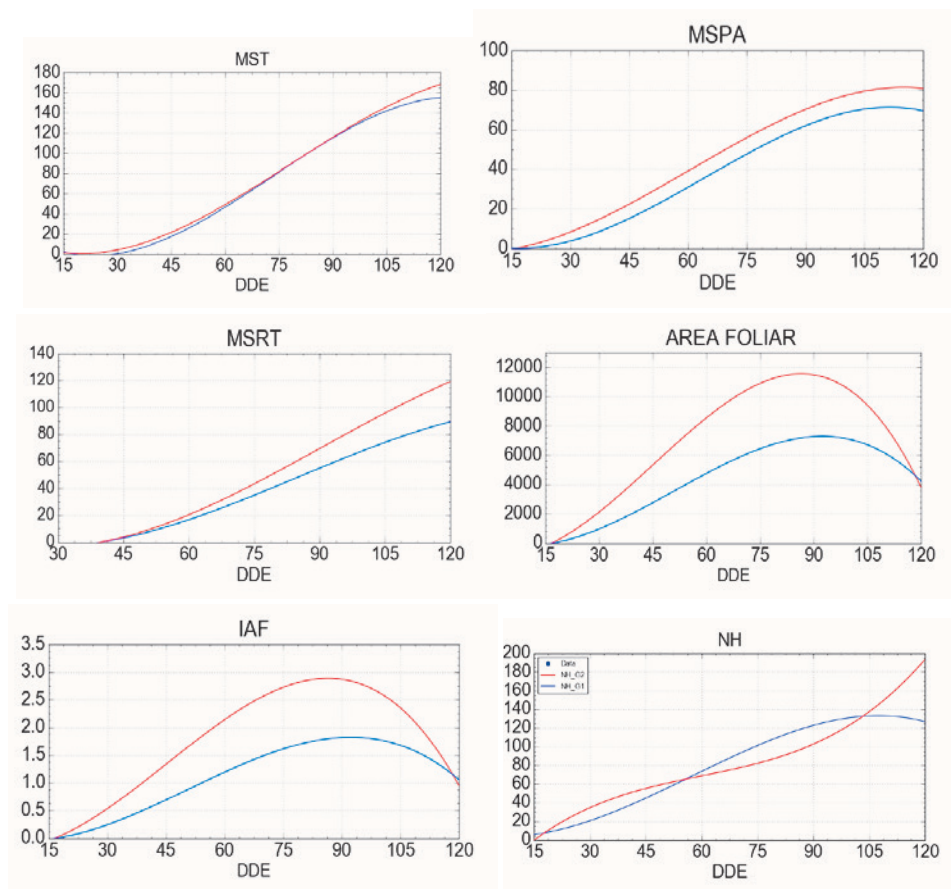
Para las interacciones evaluadas en los efectos de los hidro-retenedores en cada uno de los genotipos, los modelos ajustados también fueron de tipo cubico ($(y_0 + ax + bx^2 + cx^3)$), con R^2 altos entre 93 – 97 %, en los cuales se observó una mejor respuesta de las variables. (Tabla 5.7).

Tabla 5.6

Características de las ecuaciones de regresión para los efectos principales del Genotipo, que describe la relación funcional entre las variables materia seca total por planta (MST), materia seca de la parte aérea por planta (MSPA), materia seca de raíces tuberosas (MSRT), área foliar (AF) e índice de área foliar (IAF) y número de hojas (NH).

P	MST		MSPA		MSRT	
	G1	G2	G1	G2	G1	G2
Yo	29,22	18,31	7,95	-1,20	18,93	23,28
A	-2,78	-18,61	-0,97	-0,269	-1,66	-2,00
B	0,07	0,05	0,03	0,02	0,04	0,04
C	-0,0003	-0,0002	-0,0002	-0,0001	-0,0001	-0,0002
R ²	0,99	0,98	0,97	0,93	0,96	0,98
	AF		IAF		NH	
	G1	G2	G1	G2	G1	G2
Yo	157,91	-716,67	0,004	-0,17	-56,27	-56,27
A	-70,12	-44,03	-0,018	-0,11	4,61	4,61
B	4,03	5,94	0,001	0,001	-0,06	-0,06
C	-0,03	-0,04	-0,00001	-0,00001	0,0004	0,0004
R ²	0,76	0,82	0,76	0,82	0,89	0,89

G1: genotipo 1; G2: genotipo 2; D1: Sin aplicación edáfica HC (0,00 g planta⁻¹); D2: Aplicación edáfica de 25 kg ha⁻¹ de HC (1 g planta⁻¹); D3: Aplicación al suelo de 90 kg ha⁻¹ de H (3,6 g planta⁻¹); D4: Aplicación al suelo de 155 kg ha⁻¹ de HC (6,2 g planta⁻¹); D5: Aplicación al suelo de 220 kg ha⁻¹ de HC (8.8 g planta⁻¹). El modelo de regresión ajustado fue: [$y_0 + ax + bx^2 + cx^3$].



G1: genotipo 1

G2: genotipo 2

Figura 5.2. Modelos de regresión para efector principales del factor genotipo de batata, para las variables materia seca total por planta MST (g), materia seca de raíces tuberosas por planta MSRT (g), materia seca de la parte aérea por planta MSPA (g), área foliar AF (cm²), índice de área foliar (IAF) y número de hojas (NH) durante el ciclo del cultivo 15 – 120 DDE.

Tabla 5.7.

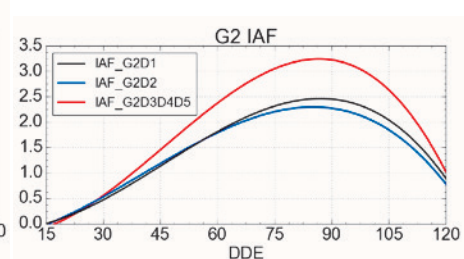
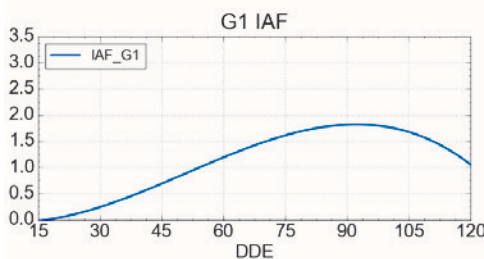
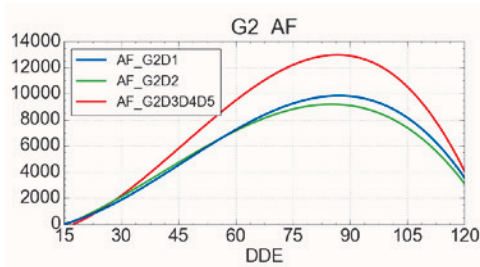
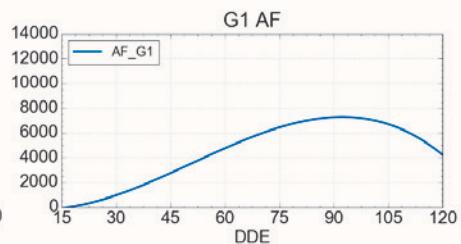
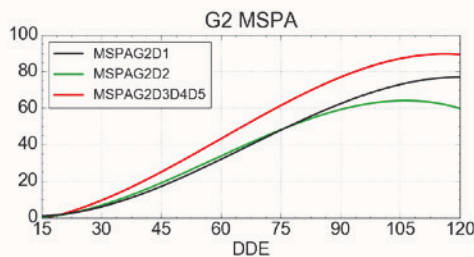
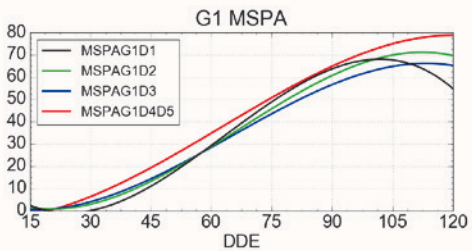
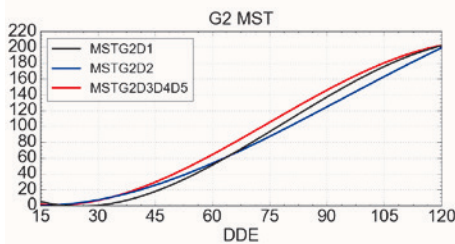
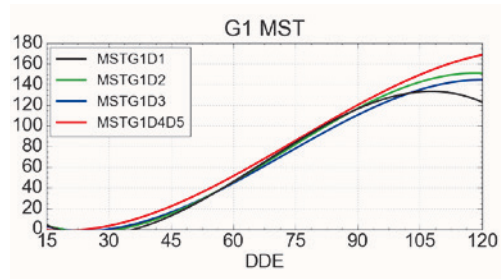
Características de las ecuaciones de regresión para los efectos de las interacciones entre Genotipo x Hidro-retenedor comercial (GxHC), evaluando el efecto de las dosis de HC, cada uno de los niveles de G. Que describe la relación funcional entre las variables materia seca total por planta (MST), materia seca de la parte aérea por planta (MSPA), área foliar (AF) e índice de área foliar (IAF).

P	G1 MST				G1 MSPA			
	D1	D2	D3	D4 D5	D1	D2	D3	D4 D5
Yo	48,65	38,12	30,77	16,55	24,25	12,58	6,59	-3,14
A	-4,43	-3,44	-2,86	-1,92	-2,24	-1,24	-0,80	-0,20
B	0,10	0,08	0,07	0,06	0,06	0,04	0,03	0,02
C	-0,00052	-0,00038	-0,00033	-0,00025	-0,00030	-0,00018	-0,00014	-0,00011
R ²	0,97	0,94	0,92	0,97	0,96	0,90	0,90	0,91
	G2 MST				G2 MSPA			
	D1	D2	D3 D4 D5		D1	D2	D3 D4 D5	
Yo	40,08	7,47	20,17		4,62	1,61	-3,15	
A	-3,48	-1,04	-2,20		-0,59	-0,45	-0,17	
B	0,08	0,04	0,07		0,025	0,025	0,024	
C	-0,00035	-0,00013	-0,00030		-0,00013	-0,00014	-0,00013	
R ²	0,95	0,97	0,97		0,90	0,92	0,92	
	G2 AF				G2 IAF			
	D1	D2	D3 D4 D5		D1	D2	D3 D4 D5	
Yo	-291,80	-1.276,70	-587,39		-0,07	-0,32	-0,15	
A	-47,93	32,24	-75,16		-0,012	0,008	-0,019	
B	5,12	3,58	7,15		0,0013	0,0009	0,0018	
C	-0,037	-0,030	-0,052		-0,00001	-0,00001	-0,00001	
R ²	0,80	0,60	0,85		0,80	0,60	0,85	

Figura 5.3. Modelos de regresión para efectos de las interacciones entre los factores. Factor genotipo de batata e hidro-retenedor, para las variables materia seca total por planta MST (g), materia seca de raíces tuberosas por planta MSRT (g), materia seca de la parte aérea por planta MSPA (g), área foliar AF (cm²) e índice de área foliar (IAF) durante el ciclo del cultivo 15 – 120 DDE.

G1: genotipo 1; G2: genotipo 2; D1: Sin aplicación edáfica HC (0,00 g planta⁻¹); D2: Aplicación edáfica de 25 kg ha⁻¹ de HC (1 g planta⁻¹); D3: Aplicación al suelo de 90 kg ha⁻¹ de H (3,6 g planta⁻¹); D4: Aplicación al suelo de 155 kg ha⁻¹ de HC (6,2 g planta⁻¹); D5: Aplicación al suelo de 220 kg ha⁻¹ de HC (8.8 g planta⁻¹). El modelo de regresión

ajustado fue: $[y_0 + ax + bx^2 + cx^3]$.



G1: genotipo 1; **G2:** genotipo 2; **D1:** Sin aplicación edáfica HC ($0,00 \text{ g planta}^{-1}$); **D2:** Aplicación edáfica de 25 kg ha^{-1} de HC (1 g planta^{-1}); **D3:** Aplicación al suelo de 90 kg ha^{-1} de H ($3,6 \text{ g planta}^{-1}$); **D4:** Aplicación al suelo de 155 kg/ha de HC ($6,2 \text{ g planta}^{-1}$); **D5:** Aplicación al suelo de 220 kg ha^{-1} de HC ($8,8 \text{ g planta}^{-1}$).

Para la acumulación de MST y MSPA bajo el efecto del hidro-retenedor en el genotipo Tainung (G1 MST y G1 MSPA respectivamente), las dosis 4 y 5, con menores valores en efectos simples, cuadráticos y cúbicos en el modelo evaluado (Tabla 5.5 y Figura 5.3) presentan lo mayores valores en el tiempo para estas variables con respecto a los valores de las dosis bajas de hidro-retenedores y testigo.

Estas variables en el genotipo Exportación (G2 MST y G2 MSPA respectivamente) como respuesta a la aplicación de hidro-retenedor, presentan una respuesta particular, en la que las dosis 3, 4 y 5 de HC, con menores valores en efectos simples, cuadráticos y cúbicos en el modelo evaluado (Tabla 5.6 y Figura 5.3) presentan lo mayores valores en el tiempo para estas variables con respecto a los valores de las dosis 1 y 2. Los efectos sobre la variable MSRT es netamente del genotipo, por eso no se realizan las comparaciones de interacción.

Tendencia en el tiempo del área foliar (AF) e índice de área foliar (IAF)

El efecto del factor genotipos en las variables AF e IAF en el tiempo, desde el 15 hasta el 120 DDE, se observa un mejor ajuste a un modelo polinómico cubico ($y_0 + ax + bx^2 + cx^3$), con R^2 altos entre 76 – 82 % (Tabla 5.6), las cuales muestran una tendencia similar de crecimiento para cada una de los genotipos, pero siempre con valores superiores en el genotipo Tainung, en el cual los efectos cuadráticos y cúbicos son menores en este genotipo con respecto al genotipo Exportación (Figura 5.2), en los que al final del ciclo del cultivo se observa una disminución como respuesta las condiciones ambientales y fase fenológica del cultivo (senescencia). Estas respuestas deferenciales obedecen a las características de cada genotipo, afectado por las condiciones ambientales (Rodríguez-Delfín, 2014).

Para las interacciones evaluadas en los efectos de los hidro-retenedores en cada uno de los genotipos, los modelos ajustados también fueron de tipo cubico ($y_0 + ax + bx^2 + cx^3$), con R^2 altos entre 93 – 97 %, en los cuales se observó una mejor respuesta de las variables. (Tabla 5.7).

Para AF e IAF bajo el efecto del hidro-retenedor en el genotipo Tainung (G1 AF y G1 IAF respectivamente), no se observa una interacción entre los dos factores, solo un efecto neto de los genotipos, como se explicó anteriormente. Estas variables en el genotipo Exportación (G2 AF Y G2 IAF respectivamente) como respuesta a la aplicación de hidro-retenedor, presentan una respuesta particular en la que las dosis 3, 4 y 5 de HC, con menores valores en efectos simples, cuadráticos y cúbicos en el modelo evaluado (Tabla 5.6 y Figura 5.3) presentan lo mayores valores en el tiempo para estas variables con respecto a los valores de las dosis 1 y 2.

Conclusiones

El efecto de los hidro-retenedores se observa en los cultivos, siempre y cuando se dé la presencia de precipitaciones o agua de otras fuentes que sean capaces de recargar los biopolímeros, si no la duración del efecto se ve limitada a los 30 después del periodo de sequía. Según los resultados las dosis recomendadas de hidrogeles para mejorar algunas condiciones del crecimiento serían los tratamientos D3, D4 y D5, los cuales tendrán un efecto diferencial dependiendo del genotipo, variedades en las que se esté aplicando.

El genotipo Tainung presenta una mejor respuesta bajo las condiciones de estrés del ensayo, teniendo una mayor acumulación de materia seca, mayor AF, IAF y por lo tanto mejor rendimiento de materia seca al final del ciclo del cultivo. Las dosis altas de aplicación de hidro-retenedores (D3, D4 y D5) mejoran las condiciones hídricas en las que se encuentra el cultivo, y por lo tanto se puede llegar a tener mejor producción de MSPA, aunque en estas condiciones del ensayo no se encontró un efecto en MSRT.

Referencias

- Aguilera, M. M. (2012). La yuca en el Caribe colombiano: De cultivo ancestral a agroindustrial, Banco de la república-economía regional.
- Agronet. (2015). Disponible en: <http://www.agronet.gov.co/agronetweb1/Estad%C3%ADsticas.aspx>. Consultado el 30 de junio 2015.

- Azevedo, T. D. F., Bertonha, A., & Gonçalves, A. C. A. (2002). Uso de hidrogel na agricultura. *Revista do Programa de Ciências Agro-Ambientais*, 1(1), 23-31.
- Azevedo, T.L.F. 2000. Avaliação da eficiência do polímero agrícola de poliacrilamida no fornecimento de água para o cafeeiro (*Coffea arabica* L) cv. Tupi. Maringá, Universidade Estadual de Maringá. 38p. (Dissertação Mestrado).
- Cusumano, C. O., & Zamudio, N. (2013). Manual Técnico para el Cultivo de Batata (Camote o Boniato) en la provincia de Tucumán (Argentina). Ediciones INTA. 1 – 41.
- Demagante, A.L.; Opena, G.B.; Zaag, P. Van der. 1989. Influence of soil moisture on sweet potato (*Ipomoea batatas*) growth and yield). CIP Southeast Asia and the Pacific Region Office. pp. 131-144.
- Espinoza, F. H. R., Gutiérrez, R. L. V., Amador, B. M., Morales, F. A. B., & Montiel, L. G. H. 2014. Respuesta diferencial a la salinidad de genotipos de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en primeras etapas fenológicas. *REVISTA TERRA LATINOAMERICANA*, 32(4), 311-323.
- Estarda R, 2012.hidrogel biopoliméricos aplicados en la agricultura. Departamento de física y matemáticas. Universidad iberoamericana 2p. Disponible en: [tt://www.slideshare.net/Iberoposgrado/hidrogel-biopoliméricos-aplicados-agricultura](http://www.slideshare.net/Iberoposgrado/hidrogel-biopoliméricos-aplicados-agricultura).
- FAO (Food and Agriculture Organization). (2015). FAOStat-Agriculture. Disponible en: <http://faostat.fao.org>. Consultado 27-05-2016.
- Gajanayake, B., Reddy, K. R., Shankle, M. W., & Arancibia, R. A. (2014). Growth, developmental, and physiological responses of two sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) cultivars to early season soil moisture deficit. *Scientia Horticulturae*, 168, 218-228.
- Gómez Pérez, A. A., Sabag, B., & Sergio, I. A. (2014). Aplicación del Hidrogel como Retenedores de Agua en la agroforestería.
- González, L. M, W. Torres & M. C. González. 2002. Apuntes sobre la fisiología de las plantas cultivadas bajo estrés de salinidad. *Cult. Trop.* 23: 312-315.

- Iglesias, A., & Martín, F. M. (2009). Consecuencias del cambio climático para la agricultura: ¿un problema de hoy o del futuro? *Revista española de estudios agrosociales y pesqueros*, (221), 45-70.
- IPC (International potato center and Sweet Potato). (2016). Disponible en: (<http://www.cipotato.org/sweetpotato/>). (revisado 27-05-2016).
- Lagos, C. L. (2011). El cultivo de Batata. Una oportunidad de agroalimentaria para pequeños productores de clima cálido. Alianza SENA - Sociedad de agricultores de Colombia. *Produmedios*. 5 – 39.
- Lambers, H., Chapin, F., Pons T. (2008). *Plant Physiological Ecology*. Second Edition. Springer. Cap. 2 y 3. Pag. 163 - 217.
- Melgarejo, L. M., Romero, M., Hernández, S., Barrera, J., Solarte, M. E., Suárez, D., Pérez, L., Rojas, A., Cruz, M., Moreno, L., Crespo, S., & Pérez, W. (2010). Experimentos en fisiología vegetal (primera edición). Universidad Nacional de Colombia, Bogotá (Colombia). P. 25-30.
- Miranda, J.E.C. de. Brazlândia Roxa, Brazlândia Branca, Brazlândia Rosada e Coquinho: novas cultivares de batata-doce. *Horticultura Brasileira*, Brasília, v. 7, n. 1, p. 32-33, 1989.
- Pire, R., & Valenzuela, I. (1995). Estimación del área foliar en *Vitis vinifera* L. French Colombarda partir de mediciones lineales en las hojas. *Agronomía Tropical*, 45(1), 143-154.
- Rodríguez Martínez, G. P. (2010). Caracterización de variedades de batata (*Ipomoea batatas* L.) con el fin de desarrollar un puré que sea fuente para la elaboración de productos preformados en McCain Colombia.
- Saraswati, P. (2007). Physiological and growth responses of selected sweet potato (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.) Cultivars to water stress (Doctoral dissertation, James Cook University).
- Tique, J., Chaves, B., & Zurita, J. H. (2009). Evaluación agronómica de diez clones promisorios CIP y dos materiales nativos de *Ipomoea batatas* L. *Agronomía Colombiana*, 27(2), 151-158.

CAPÍTULO 6

Efecto de los hidro-retenedores en el intercambio gaseoso, potencial hídrico y rendimientos del cultivo de batata (*ipomoea batatas* L)

Lainer Narváez Quiroz¹, Carlos Enrique Cardona Ayala², Saula Salcedo³ y Jairo Guadalupe Salcedo Mendoza⁴

1 Magíster en Ciencias Agronómicas. Lainer.narvaez@gmail.com

2 Ph.D. Ciencias Naturales para el Desarrollo con énfasis en producción Agrícola. Afiliado a la Universidad de Córdoba. ccardonaayala@yahoo.com

3 Magister en Ciencias Agronómicas. Saula.salcedo@gmail.com

4 Ph.D. Ingeniería Química. Vinculado a Universidad de Sucre. jairo.salcedo@unisucra.edu.co

Introducción

La batata (*Ipomoea batata* L.) es un cultivo muy importante en el mundo, porque producen más energía comestible por hectárea por día que el trigo, arroz y la yuca, presenta altos contenidos de carbohidratos y vitaminas A, C y B, que se encuentran en las raíces como también en las hojas y brotes, que también son comestibles. Además, las raíces tuberosas, de pulpa naranja, son una importante fuente de beta-caroteno (precursor de la vitamina A) que lo hace uno de los principales productos en la dieta, por sus grandes aportes nutricionales, energéticos y en la salud de humanos y animales (Cusumano y Zamudio 2013). También es considerado uno de los cultivos resistentes a estrés por variaciones en las condiciones ambientales, tales como poca disponibilidad de nutrientes y humedad en el suelo, que junto a su baja necesidad de aplicación de agroquímico y poca mano de obra utilizada para el manejo del cultivo, le confieren características importantes para la seguridad alimentaria de países en desarrollo (IPC, 2016). A pesar de tener la consideración de resistencia ante algunos tipos de estrés, este cultivo también es afectado por las condiciones medioambientales desfavorables presentes en el departamento de Sucre, en los cuales se ha observado una disminución en los rendimientos promedios de en los últimos años, con valores entre las 6 – 10 toneladas por hectárea. (Agronet, 2015).

Todas las condiciones ambientales cambiantes y poco predecibles por el efecto del cambio climático, afectan negativamente los procesos fisiológicos y metabólicos en las plantas, y aunque la batata es uno de los cultivos considerados resistentes a las sequías, el estrés hídrico también conduce a consecuencias negativas en su crecimiento, desarrollo y por ende en su rendimiento (Saraswati, 2007).

El agua es importante para las funciones básicas de la vida celular, jugando un papel importante en los procesos fisiológicos, constituye del 70 al 95 % de la materia fresca en tejidos y órganos. El agua es requerida en grandes cantidades y es muy importante en todos los procesos metabólicos y fisiológicos para el crecimiento y desarrollo de las plantas, de igual forma

que es uno de los principales medios y reactivos en los procesos bioquímicos tales como la fotosíntesis y procesos hidrolíticos (Lambers *et al.*, 2008).

Es poresto, que, en los últimos años, han aumentado las investigaciones sobre los efectos del estrés hídrico en los diferentes cultivos, reflejando así un gran problema para la agricultura mundial. Los cultivos pueden ser afectados por estos cambios, desde las primeras etapas de desarrollo hasta culminar con su ciclo biológico, viéndose afectado el rendimiento e incluso causando la muerte en las especies no tolerantes.

Teniendo en cuenta que las condiciones hídricas y los cambios meteorológicos y en regímenes de precipitaciones, juegan un papel importante en el comportamiento fisiológico de los cultivos, es de vital importancia desarrollar, evaluar y generalizar el uso de nuevas tecnologías que permitan mitigar y reducir la vulnerabilidad y por lo tanto el riesgo asociado a la sequía y patrones de precipitación irregulares (Iglesias y Martín, 2009). Logrando mantener las relaciones hídricas necesarias entre el suelo-planta-atmósfera que le permitan realizar de manera óptima sus proceso fisiológicos y metabólicos, traducidos en el aumento de rendimientos, que junto con la evaluación de nuevas variedades o genotipos que presenten características importantes frente a la respuesta a condiciones de estrés bióticos y abióticos, se traduce en una herramienta para el inicio y fortalecimiento de una cadena productiva poco explotada y con gran potencial en el departamento de Sucre y Colombia.

Los hidro-retenedores se convierten en una posible alternativa que mejora las características de los suelos tales como retención y disponibilidad del agua, aireación y disminución de compactación, ya que estos presentan una capacidad absorber agua y proporcionarla lentamente a las raíces de las plantas (Plaza, 2006). Es por esta razón que se propuso esta investigación con el fin de evaluar el comportamiento del intercambio gaseoso, potencial híbrido y rendimientos del cultivo de batata bajo el efecto de diferentes dosis de hidro-retenedores en el departamento de Sucre.

Materiales y métodos

El ensayo fue realizado en el departamento de Sucre, en el municipio de Corozal ubicado a 9°19'01" Latitud Norte y 75°17'36" latitud oeste, a una altura de 174 msnm, bajo las condiciones ambientales de bosque seco tropical: temperatura media de 29°C, humedad relativa promedio de 78% y precipitación media anual entre 900 y 1200 mm (Aguilera, 2012). En la Granja y parque de maquinaria de la gobernación de Sucre. En un suelo con las siguientes propiedades físico-químicas:

El establecimiento del cultivo se llevó a cabo al final del periodo de lluvias en el mes de octubre de 2016, para garantizar la humedad de suelo en las primeras fases del cultivo y así exponer las plantaciones a las condiciones de sequía presente en los meses de diciembre de 2016, enero y febrero de 2017. El suelo fue mecanizado con un pase de arado de disco, dos pases de rastrillo y aporcado del terreno a un metro de distancia, labraba convencional utilizada por los productores de la región.

Tabla 6.1.
Propiedades físico-químicas de suelo del ensayo.

Propiedad	Unidad	Valor	Propiedad	Unidad	Valor
pH	1:1, P/V	6,48	Ca	Cmol kg ⁻¹	28,6
MO	%	2,01	Mg	Cmol kg ⁻¹	12,2
C.I.C	Cmol kg ⁻¹	41,4	Na	Cmol kg ⁻¹	0,09
Textura	-	Arcilloso	Cu	mg kg ⁻¹	0,2
DA	(g cm ⁻³)	1,92	Fe	mg kg ⁻¹	6
P	mg kg ⁻¹	15,8	Zn	mg kg ⁻¹	0,5
S	mg kg ⁻¹	4,8	Mn	mg kg ⁻¹	29,6
K	Cmol kg ⁻¹	0,47	B	mg kg ⁻¹	0,2

MO=materia orgánica; DA=densidad aparente.

Nota: elaboración propia

Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar con cuatro repeticiones y una estructura de tratamientos factorial 2x5, en parcelas divididas en el espacio, donde el primer factor correspondió a genotipo de batata (*Ipomoea batatas* L.): G1 ('Exportación') y G2 ('Tainung'). El segundo factor a dosis de hidro-retenedor comercial (HC): cinco dosis de aplicación edáfica al momento de la siembra, incluido el testigo o control:

Las dosis de hidro-retenedor comercial fueron:

- D1: Sin aplicación edáfica HC (0,00 g planta⁻¹).
- D2: Aplicación edáfica de 25 kg ha⁻¹ de HC (1,0 g planta⁻¹).
- D3: Aplicación al suelo de 90 kg ha⁻¹ de HC (3,6 g planta⁻¹).
- D4: Aplicación al suelo de 155 kg ha⁻¹ de HC (6,2 g planta⁻¹).
- D5: Aplicación al suelo de 220 kg ha⁻¹ de HC (8,8 g planta⁻¹).

Las dosis de los tratamientos se establecieron sobre la base de los estudios realizados en Egipto por Ezzat *et al* 2011 en el cultivo *Solanum tuberosum* L., quienes obtuvieron buenos resultados con aproximadamente 90 kg/ha de hidrogel comercial. Por otra parte, la dosis mínima recomendada por las casas comerciales en Colombia para cultivos en surcos, es de 25 kg ha⁻¹.

Las unidades experimentales serán de 48 m² (8 surcos de 6 m de largo, separados a 1,0 m y una distancia entre plantas de 0,4 m, para 120 plantas por unidad experimental. Las dos plantas centrales de los surcos 2, 3, 4 y 5 de cada unidad experimental se tomaron como parcela útil, en la cual se realizaron los muestreos no destructivos, mediciones de intercambio gaseoso y al final de ciclo del cultivo para las variables de rendimiento e índice de cosecha. Las plantas restantes fueron utilizadas para los muestreos destructivos de biomasa, potencial hídrico de la hoja; todos estos monitores fueron planeados teniendo en cuenta los efectos de borde.

Para la cuantificación de estas variables de intercambio gaseoso y potencial hídrico foliar se realizó un muestreo y mediciones a los 90 días después de la emergencia (DDE), para evaluar el efecto de los hidro-retenedores y la respuesta de los genotipos cuando las plantas fueron expuestas a 60 días de sequía y en plena fase de tuberización.

Intercambio gaseoso: tasa de fotosíntesis neta, tasa de transpiración, conductancia estomática, déficit de presión de vapor, uso eficiente del agua. Se midió con el sistema de intercambio gaseoso IRGA GFS-3000 entre las 8 am y 11 am, realizando una medición en tres plantas de la parcela útil en cada unidad experimental, en una hoja joven completamente desplegada del tercio medio, manteniendo constante la intensidad de la luz en 1000 $\mu\text{mol fotones m}^{-2}\text{s}^{-1}$ y la concentración de CO_2 en 400 ppm (Córdoba, 2012).

Potencial hídrico de la hoja (Ψ en Mpa): se midió, con la utilización de la técnica de la cámara de presión (Scholander *et al*, 1965), en tres plantas de la parcela útil en cada unidad experimental, en una hoja joven completamente desplegada del tercio medio. Al final del ciclo del cultivo (120 DDS) se realizó el muestreo destructivo para la medición de las siguientes variables en cosecha:

Rendimiento (t ha^{-1}) e índice de cosecha: se tomaron 5 plantas de la parcela útil en cada una de las unidades experimentales, cuantificando el peso de la biomasa fresca y seca (metodología de acumulación de biomasa) de cada uno de los órganos de la planta, con estos datos se calcularán los rendimientos como la relación entre el peso fresco y secos de raíces tuberosas por unidad de área. Los índices de cosecha se realizaron con las relaciones entre el peso seco de raíz tuberosas / peso seco total de la planta (Tique, 2009).

Componentes de rendimiento. Para determinar los componentes de rendimiento, se cosecharon 6 plantas de la parcela útil, para cada una de las unidades experimentales, se tomaron los siguientes datos: número de raíces tuberosas por plantas, número de raíces tuberosas comerciales por planta, diámetro de raíces tuberosas comerciales por planta, longitud de raíces tuberosas comerciales, peso fresco de raíces tuberosas por planta, peso fresco de raíces tuberosas comerciales por planta, peso seco de raíces tuberosas por planta, rendimiento en fresco de raíces tuberosas y rendimiento en seco de raíces tuberosas. Este número de tubérculos comerciales se definió como la proporción de tubérculos mayores de cuatro centímetros (4 cm) o con un peso mayor de 80 g (De Oliveira, 2005).

Resultados y discusión

Condiciones ambientales.

En la zona de estudio, durante los 120 DDE del ciclo del cultivo, se presentó una precipitación acumulada de 384,45 mm, inferior a la reportada por (Miranda *et al.*, 1989), quien afirma que las plantas expuestas a condiciones de precipitaciones inferiores a 500 mm, no tendrían la suficiente humedad para realizar los procesos fisiológicos de forma normal. Para el estudio se garantizó que las plantas estuvieran expuestas a condiciones de estrés hídrico durante la mayor parte del ciclo del cultivo. La figura 6.1 muestra que el 73,21% de la precipitación se presentó en los primeros 30 DDE (fase de establecimiento del cultivo) correspondiente a 281,45 mm.

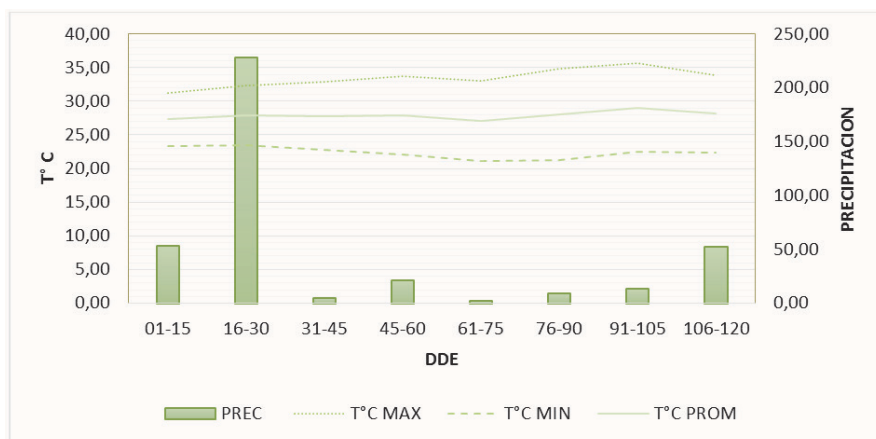


Figura 6.1. Condiciones ambientales presentes en el sitio de estudio durante el ciclo del cultivo de batata.

PREC: precipitación mensual; T °C MAX: promedio de temperatura máxima; T °C MIN: promedio de temperatura mínima; T °C PROM: temperatura media.

En la primera fase de crecimiento del cultivo (30 DDE) se presentó una precipitación de 281,45 mm correspondiente al 73,21%. Entre los 30 y 60 DDE, inicio de fase de tuberización, el cultivo estuvo expuesto a 30 días de sequía, tiempo en el cual se tuvo la presencia de 25,70 mm de precipitación. En los siguientes 30 días se hizo más aguda la época de sequía, periodo en que cayeron 11,40 mm y las plantas estaban soportando

60 días de sequía en plena fase de tuberización, con un acumulado de 37,10 mm. La última etapa del cultivo, comprendida entre los 90 y 120 DDE, se tuvo un aumento leve de las precipitaciones llegando a 65,90 mm, correspondiente al 17% (Figura 6.1). La temperatura máxima estuvo entre 31 – 35 °C, mientras que la temperatura mínima se mantuvo entre los 21 y los 24 °C, para una media de temperaturas que osciló alrededor de 28°C (Figura 6.1); condiciones ambientales acordes a las del bosque seco tropical del departamento de Sucre (Aguilera, 2012).

Intercambio gaseoso y potencial hídrico foliar.

En la época de muestreo, 90 DDE, solo se observan diferencias significativas para el efecto del factor genotipo, en las variables A y UEA, y altamente significativas para Ψ (Tabla 6.2). Donde el genotipo 2 Tainung mostró una mejor expresión genética como respuesta a las condiciones de sequía, presentando los valores medios más altos para cada una de estas variables (Tabla 6.3).

Para la variable A, la media del genotipo Tainung correspondiente a 15,69 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ supera en un 82% la tasa de asimilación de carbono del genotipo Exportación (Tabla 6.2), mostrando que en esta etapa del cultivo la mayor producción de fotoasimilados se dio en el genotipo Tainung, indicando mayor eficiencia respecto a la respuesta frente a las condiciones del medio, teniendo un mejor uso del agua a pesar de tener poca disponibilidad de este recurso, lo que se demuestra con los valores de UEA, en los cuales el Tainung pudo asimilar 12,41 $\mu\text{mol CO}_2$ por cada $\mu\text{mol H}_2\text{O}$ que utilizaba la planta mientras que el Exportación solo logra asimilar 7,43 $\mu\text{mol CO}_2$ por cada $\mu\text{mol H}_2\text{O}$ utilizada (Tabla 6.3).

Tabla 6.2.

Cuadrados medios del análisis de varianza para las variables materia seca total por planta (MST), materia seca de raíces tuberosas por planta (MSRT), materia seca de la parte aérea por planta (MSPA), área foliar (AF), índice de área foliar (IAF) a través del ciclo del cultivo.

TIEMPO		A	g _s	E	DPV	EUW	Ψ
90	CM T	34.26	537.94	0.26	0.11	20.27	0.14
	CM E	4.34	396.51	0.13	0.11	5.47	0.03
	CM G	379.74*	181.21ns	0.01ns	0.00ns	168.63*	1.34**
	CM HC	6.80ns	611.86ns	0.37ns	0.02ns	12.98ns	0.00ns
	CM GxHC	5.27ns	564.45ns	0.17ns	0.09ns	1.90ns	0.04ns
	MEDIA	12.26ns	66.05	23.69	2.33	10.00	0.87
	CV	16.99	30.15	1.51	14.21	23.38	18.74
		MSRT	MFRT	MFRTC	RENDS	RENDF	IC
120	CM T	948.64	9196.20	8003.99	0.60	5.74	91.29
	CM E	471.25	5165.91	5901.43	0.27	3.23	22.26
	CM G	7378.55*	22198.70ns	1360.90 ns	4.93*	13.84ns	142.57ns
	CM HC	256,00ns	1415,00ns	13956.60ns	0.20ns	0.88ns	152.81**
	CM GxHC	259.86ns	9166.25ns	4145.76ns	0.15ns	5.73ns	67.02ns
	MEDIA	103.00	431.60	319.50	2.56	10.79	57.18
	CV	21.08	16.65	24.04	20.44	16.65	8.25
		NRT	NRTC	LRTC	DRTC		
120	CM T	1.92	0.23	8.26	110.83		
	CM E	0.84	0.17	6.10	51.49		
	CM G	13.23**	0.00ns	18.02ns	300.74ns		
	CM HC	1.28ns	0.31ns	0.41ns	3.17ns		
	CM GxHC	1.98ns	0.19ns	1.06ns	106.04ns		
	MEDIA	5.78	2.25	16.28	55.80		
	CV	15.89	18.14	15.17	12.86		

CMT: cuadrado medio de tratamientos; CME: cuadrado medio del error experimental; CMG: cuadrado medio para el efecto principal del factor genotipo (G); CMHC: cuadrado medio para el efecto principal hidro-retenedores (HC); CM GxHC: cuadrado medio de la interacción GxHC; CV: coeficiente de variación. ns: no significativo; *: significativo al 5%; ** significativo al 1%.

Tabla 6.3.

Valores de contrastes ortogonales y medias de las variables fotosíntesis neta (A: $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), conductancia (gs: $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), transpiración (E: $\mu\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), diferencial de presión de vapor (VPD: Kpa), uso eficiente del agua (UEA: $\mu\text{mol CO}_2 \mu\text{mol}^{-1} \text{ H}_2\text{O}$) y potencial hídrico (Ψ : Mpa), a los 90 DDE (30 días de sequía).

	A	gs	E	VPD	UEA	Ψ
CV	16,99	30,15	23,69	14,21	23,38	18,74
CONTRASTE	Valores de contrastes					
C1	7,33 **	-5,07 ns	0,04 ns	-0,02 ns	4,89 **	0,42 **
GENOTIPOS	Medias					
G1	8,59	69,79	1,51	2,34	7,43	0,66
G2	15,69	63,57	1,52	2,32	12,41	1,08

Efectos principales. C1: G1 vs G2; genotipo 1= 'Exportación'; G2: genotipo 2='Tainung';
ns: no significativo *: Significativo al 5%; ** significativo al 1%.

La fotosíntesis fue afectada diferencialmente en las condiciones de sequía del ensayo, teniendo un comportamiento particular en cada una de las variedades. Por lo tanto, se puede inferir que el genotipo Tainung presentó algunos mecanismos fisiológicos ante la situación de estrés hídrico, como puede ser por un ajuste osmótico, controlando el potencial osmótico en las hojas y mecanismos que permitieron evitar la degradación de los pigmentos fotosintéticos y la pérdida de actividad de fluorescencia de clorofila, mientras el genotipo Exportación puede tener una menor respuesta de tolerancia a este tipo de estrés por lo que se disminuye la capacidad en el uso del agua y en la asimilación de carbono (Yooyongwech, 2013).

Esta respuesta fenotípica puede ser explicada teniendo en cuenta que el genotipo 2 Tainung pudo utilizar algún mecanismo de respuesta al estrés como se mencionó anteriormente, presentando como consecuencia que las plantas tuvieran un mayor potencial hídrico que el genotipo 1 Exportación (1,08 Mpa para genotipo Tainung y 0,66 Mpa para el genotipo 'Exportación') (Tabla 6.3); y adicionalmente que el genotipo 'Tainung', además de poder captar mayor cantidad de agua, también tiene la capacidad de usarla más eficientemente que el genotipo 'Exportación', aunque estos dos presenten

los mismos comportamientos en las variables gs; E y DPV, los cuales son características de la respuesta de los dos genotipos, con valores medios de 66,78 $\mu\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, 1,52 $\mu\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, 2,33 Kpa.

Teniendo en cuenta que, el estrés por sequía en las plantas produce un cierre estomático como respuesta al déficit hídrico, pero también varía con respecto a la variabilidad genética de los cultivares o genotipos (Espinoza *et al.* 2014), se puede inferir que en este caso los dos genotipos tuvieron la misma capacidad en el transporte de agua, presentando valores iguales en las variables E, GS y DPV, el genotipo Tainung tuvo un mejor uso del agua y por tanto una mayor tasa de asimilación de carbono, de acuerdo a lo reportado por Gonzales *et al.* 2002 que llega a la conclusión que la evolución de los mecanismos de tolerancia y adaptación de las plantas a los diferentes agentes estresantes, puede observarse la existencia de grados de sensibilidad y tolerancia muy diferentes entre las especies, variedades o genotipos dentro de una misma especie.

En esta etapa del cultivo no se observa un efecto significativo de los hidro-retenedores, ni una interacción entre los dos factores genotipo x hidro-retenedores, ya el efecto del aporte hídrico de los polímeros está limitado de 20 - 30 días después de la última lluvia, (Idrobo, 2012). Siendo esta de gran magnitud para poder recargar las partículas constituyentes de los hidro-retenedores, y observara una respuesta fisiológica de los cultivos evaluados, como se demostró en el capítulo 2.

Rendimiento, componentes de rendimiento e índice de cosecha

A la fecha de cosecha, 120 DDE, no se presentan diferencias significativas en las variables MFRT, MSRTC y en consecuencia tampoco se tiene una diferencia significativa en el RENDF (Tabla 6.2), ya que esta última depende del peso fresco de raíces por planta, el cual puede variar dependiendo de las condiciones hídricas presentes en este suelo al momento de realizar el muestreo. En este periodo las condiciones hídricas aumentaron con respecto a los últimos dos meses de sequía, teniendo 50 mm de precipitaciones en las últimas dos semanas, lo que hace que las raíces empiecen a captar una cantidad de agua considerable lo que hace que no se presenten diferencias estadísticas en estas variables.

La formación de raíces tuberosas en camote es el resultado de un proceso de engrosamiento que envuelve una serie de eventos anatómicos y fisiológicos desde el desarrollo inicial de la raíz (Marín y Suni, 2000), por lo tanto, las condiciones ambientales de sequía que presidieron la época de cosecha afectaron considerablemente los rendimientos, pero teniendo en cuenta que la respuesta de cada genotipo es particular y depende de sus propias características genéticas.

Estudios realizados por Saraswati (2007), evaluando el estrés hídrico en *Ipomea batatas* L, observó una disminución significativamente en la biomasa de la planta, obteniendo los valores más bajos para variables respuestas en las condiciones de estrés (peso de raíz, área foliar y peso de follaje), afectando los procesos fisiológicos de los cultivares evaluados y por lo tanto sus rendimientos en cosecha.

La media característica de la respuesta de los genotipos bajo las condiciones ambientales de la zona, para las variables RENDE, MFRT y MFRTC son respectivamente: 10,86 Ton/ha, 431,59 g planta⁻¹, 313,15 g planta⁻¹ (Figura 6,4). Producción de raíces similar a las encontradas por Castillo (2014), con pesos frescos de raíces que variaron entre 0,19 y 1,47 kg planta⁻¹, para la evaluación de trece genotipos de batata en el departamento del Tolima en Colombia. Aun teniendo las bajas condiciones de humedad del de los 30DDE hasta los 120 DDE, los rendimientos en fresco de raíces tuberosas son mayores a la media nacional que ha oscilado entre los 5,6 y las 10 toneladas por hectárea. (Agronet, 2015), acentuando lo poco estudiado y las pocas tecnologías utilizadas en el manejo del cultivo en el departamento de Sucre y en Colombia en general.

Tabla 6.4

Valores de contrastes ortogonales y medias de las variables materia seca de raíces tuberosas por planta (MSRT: g planta⁻¹), materia fresca de raíces tuberosas por planta (MFRT: g planta⁻¹), materia fresca de raíces tuberosas comerciales por planta (MFRTC: g planta⁻¹), rendimiento en de materia seca por hectárea (RENDS: Ton/ha), rendimiento de materia fresca de raíces tuberosas por hectárea (RENDF: t ha⁻¹) e índice de cosecha (IC: %) a los 120 DDE.

	MSRT	MFRT	MFRTC	RENDS	RENDF	IC
CV	21,08	16,65	24,04	20,44	16,66	8,25
CONTRASTE	Valores de los contrastes					
C1	27,72 **	47,12 ns	11,91 ns	0,72 **	1,18 ns	3,85 ns
C2	-	-	-	-	-	-24,95 **
C3	-	-	-	-	-	-22,41 **
C4	-	-	-	-	-	-5,89 ns
GENOTIPO	Medias					
G1	89,35	408,03	305,31	2,21	10,34	55,17
G2	117,38	455,15	320,98	2,93	11,38	59,30
HIDRO-RETENEDOR	Medias					
D1	-	-	-	-	-	62,09
D2	-	-	-	-	-	61,45
D3 D4 D5	-	-	-	-	-	53,98

Efectos principales. C1: G1 vs G2; C2: D1 vs D2 T3 D4 D5; C3: D2 vs D3 D4 D5; C4: D3 vs D4 T5; C5: D4 vs D5; genotipo 1= 'Exportación'; G2: genotipo 2='Tainung'; D1: sin aplicación edáfica HC (0,00 g planta⁻¹); D2: aplicación edáfica de 25 kg ha⁻¹ de HC (1 g planta⁻¹); D3: aplicación al suelo de 90 kg ha⁻¹ de H (3,6 g planta⁻¹); D4: aplicación al suelo de 155 kg ha⁻¹ de HC (6,2 g planta⁻¹); D5: aplicación al suelo de 220 kg ha⁻¹ de HC (8,8 g planta⁻¹). CONTR = contraste. ns: no significativo *: Significativo al 5%; ** significativo al 1%.

Las variables de acumulación de materia seca, las cuales no varían en respuesta al estatus hídrico del momento del muestreo si no que dependen de las condiciones a las que fueron expuestas las plantas durante todos sus procesos en el crecimiento y desarrollo, si se presentan diferencias significativas a la expresión genética propia de cada cultivar (Tabla 6.2), en la que el genotipo Tainung al presentar una mejor respuesta frente a las condiciones ambientales de estrés, un mayor PHID, una mejor WUE y PN, tiene una mayor capacidad de translocación de fotoasimilados al

órgano de interés, reflejado en la los contenidos de MSRT y los REDS en los cuales el genotipo Tainung presenta valores que superan en un 31% la biomasa de raíces del Exportación (Tabla 3.4). Valores acordes a los mostrados por Yooyongwech (2013) quien encontró que la comparación en los rendimientos en algunos de los genotipos evaluados puede variar entre un 21-41% dependiendo de las condiciones de sequía y la expresión genética de los cultivares evaluados.

El efecto de los hidro-retenedores se observa en el IC (Tabla 6.4), en donde las plantas sometidas a las mayores dosis de polímeros (D3, D4 y D5), presentan menor porcentaje biomasa acumulado en órgano de interés(53,98 %) con respecto al tratamiento testigo (D1) y la menor dosis de polímero (D2) (62,09 y 61,45 % respectivamente) (Figura 6.2), viéndose un efecto una reactivación en la producción de rebrotes y hojas en los tratamientos en los cuales se tenía una mayor reserva de agua, por efecto de las lluvias de las últimas semanas, sin afectar la acumulación de MSRT (Tabla 6.2 y 6.3). Según Behelu (2003), al evaluar tres cultivares de camote encontró diferencias cuantitativas en el contenido de materia seca en raíces tuberosas, los cuales tuvieron una partición de fotoasimilados entre el 79% y 53% del total de materia seca acumulado por la planta al final del ciclo del cultivo.

En las mediciones alométricas de raíces no se presentan diferencias significativas en el NRTC, LRTC, DRTC (Tabla 6.2), las cuales presentan valores característicos a la respuesta de los dos genotipos con medias de 2,25 para NRTC, raíces tuberosas comerciales de 16,28 cm de largo y 55,80 mm de diámetro (Tabla 6.5). El NRT si depende de la respuesta de cada genotipo a las condiciones ambientales (Tabla 6.2), teniendo 1 raíz tuberosa más el genotipo Tainung Tabla (6.5). Villordon *et al.*, 2009 caracteriza algunos genotipos de batata en los cuales el número de raíces tuberosas depende del número de raíces fibrosas inducidas para formar raíces tuberosas, y concluye que las plantas de batata rinden de cuatro a ocho raíces tuberosas o en menor número si se encuentran en altas condiciones de estrés y las características de los genotipos evaluados.

Las variedades difirieron significativamente en rendimiento seco total de raíces tuberosas, así como en contenido de materia seca de raíces, lo que refleja la diferente composición genética de cada variedad evaluada (Mukhtar *et al.* 2010), en el caso particular el genotipo Tainung tuvo la

mayor producción dentaria seca de raíces, mayor número de raíces tuberosa y por tanto mayor rendimiento en materia seca.

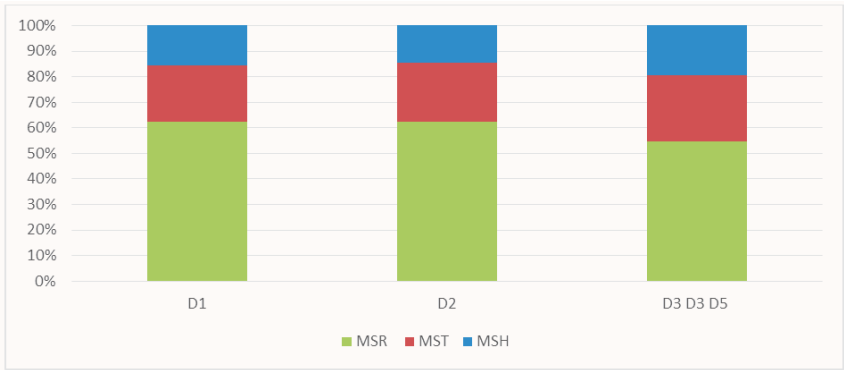


Figura 6.2. Distribución de materia seca por órganos de las plantas de batata, materia seca de raíces (MSTR: %), tallos (MST: %) y hojas (MSH: %).
D1: sin aplicación edáfica HC (0,00 g planta⁻¹); D2: aplicación edáfica de 25 kg ha⁻¹ de HC (1 g planta⁻¹); D3: aplicación al suelo de 90 kg ha⁻¹ de H (3,6 g planta⁻¹); D4: aplicación al suelo de 155 kg ha⁻¹ de HC (6,2 g planta⁻¹); D5: aplicación al suelo de 220 kg ha⁻¹ de HC (8,8 g planta⁻¹). CONTR = contraste. ns: no significativo *: Significativo al 5%; ** significativo al 1%.

Tabla 6.5
Valores de contrastes ortogonales y medias de las variables número de raíces tuberosas planta (NRT), número de raíces tuberosas comerciales (NRTC), longitud de raíces tuberosas comerciales (LRTC: cm), diámetro de raíces tuberosas comerciales (DRTC: mm) a los 120 DDE.

	NRT	NRTC	LRTC	DRTC
CV	15,89	18,14	15,17	12,86
CONTRASTE	Medias			
C1	1,15 **	0,00 ns	1,34 ns	-5,48 ns
GENOTIPO	Medias			
G1	5,20	2,25	15,61	58,53
G2	6,35	2,25	16,95	53,06

EFFECTOS PRINCIPALES. C1: G1 vs G2; genotipo 1= ‘Exportación’; G2: genotipo 2=’Tainung’; ns: no significativo *: Significativo al 5%; ** significativo al 1%.

Conclusiones

El genotipo Tainung tiene una mejor respuesta a las condiciones ambientales presentes en zona de estudio, demostrado por las mayores tasas de PN, WUE; P, HID y producción de materia seca de raíces por hectárea. A pesar de las condiciones de estrés presentes en los últimos tres meses en la fase de crecimiento del cultivo, en las fases de mayor exigencia en el desarrollo, estado en tuberización y formación de área foliar, los rendimientos fueron superiores a las medias reportadas en el país, teniendo una media de rendimiento en fresco de 11 toneladas aproximadamente.

El genotipo Tainung presenta la mayor producción MSRT (aproximadamente 118 g planta⁻¹) y por tanto un mayor rendimiento en materia seca con aproximadamente 3 toneladas por hectárea, superior 2 toneladas por hectárea del 'Exportación'.

Se recomienda para próximas investigaciones, realizar las mediciones de intercambio gaseoso en el tiempo, teniendo en cuenta las condiciones de humedad del suelo y las fases fenológicas de crecimiento del cultivo, para una mejor caracterización de los procesos fisiológicos, y evaluar los posibles mecanismos de adaptación y tolerancia a la sequía las evaluaciones agronómicas de los genotipos evaluados.

Referencias

- Aguilera, M. M. (2012). La yuca en el Caribe colombiano: De cultivo ancestral a agroindustrial, Banco de la república-economía regional.
- AGRONET. (2015). Disponible en: <http://www.agronet.gov.co/agrone-tweb1/ Estad%C3%ADsticas.aspx>. Consultado el 30 de junio 2015.
- Belehu, T. 2003. Production and partitioning of dry matter in three sweet potato cultivars. pp 141-173. En Agronomical and physiological factors affecting growth, development and yield of sweet potato in Ethiopia. Tesis doctorado. Universidad de Pretoria.
- Castillo Matamoros, R., Brenes Angulo, A., Esker, P., & Gómez-Alpízar, L. (2014). Evaluación agronómica de trece genotipos de camote (*Ipomoea batatas* L.). *Agronomía Costarricense*, 38(2).
- Córdoba Gaona, O. D. J. (2012). Comportamiento ecofisiológico de variedades de higuerilla (*Ricinus communis* L.) para la producción sos-

tenible de aceite y biodiesel en diferentes agroecosistemas colombianos. (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín). 1-108.

- Cusumano, C. O., & Zamudio, N. (2013). Manual Técnico para el Cultivo de Batata (Camote o Boniato) en la provincia de Tucumán (Argentina). Ediciones INTA. 1 – 41.
- De Oliveira, A. P., de Oliveira, M. R. T., Barbosa, J. A., Da Silva, G. G., Nogueira, D. H., De Moura, M. F., & Braz, M. D. S. S. (2005). Rendimiento e qualidade de raízes de batata-doce adubada com níveis de uréia. *Hortic. Bras.*, 23(4)
- Espinoza, F. H. R., Gutiérrez, R. L. V., Amador, B. M., Morales, F. A. B., & Montiel, L. G. H. 2014. Respuesta diferencial a la salinidad de genotipos de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en primeras etapas fenológicas. *Revista Terra Latinoamericana*, 32(4), 311-323.
- FAO (Food and Agriculture Organization). (2015). FAOStat-Agriculture. Disponible en: <http://faostat.fao.org>. Consultado 27-05-2016.
- Gajanayake, B., Reddy, K. R., Shankle, M. W., & Arancibia, R. A. (2014). Growth, developmental, and physiological responses of two sweet-potato (*Ipomoea batatas* L.[Lam]) cultivars to early season soil moisture deficit. *Scientia Horticulturae*, 168, 218-228.
- Gómez Pérez, A. A., Sabag, B., & Sergio, I. A. (2014). Aplicación del Hidrogel como Retenedores de Agua en la agroforestería.
- González, L. M, W. Torres & M. C. González., (2002). Apuntes sobre la fisiología de las plantas cultivadas bajo estrés de salinidad. *Cult. Trop.* 23: 312-315
- Iglesias, A., & Martín, F. M. (2009). Consecuencias del cambio climático para la agricultura: ¿un problema de hoy o del futuro? *Revista española de estudios agrosociales y pesqueros*, (221), 45-70.
- Idrobo, H. J., Rodríguez, A. M., & Díaz Ortiz, J. E. (2012). Comportamiento del hidrogel en suelos arenosos. p. 33-37
- IPC (International potato center and Sweet Potato). (2016). Disponible en: (<http://www.cipotato.org/sweetpotato/>). (revisado 27-05-2016).
- Lagos, C. L. (2011). El cultivo de Batata. Una oportunidad de agroalimentaria para pequeños productores de clima cálido. Alianza SENA - Sociedad de agricultores de Colombia. Produmedios. 5 – 39.

- Lambers, H., Chapin, F., Pons T. (2008). Plant Physiological Ecology. Second Edition. Springer. Cap. 2 y 3. Pág. 163 - 217.
- Marín, M.; Suni, M., (2000). Caracterización anatómica del desarrollo de la raíz reservante de camotes peruanos (*Ipomoea batatas* (L.) Lam., Convolvulaceae). UNMSM. Revista Peruana de Biología 7 (2): 103-114.
- Miranda, J.E.C. de. Brazlândia Roxa, Brazlândia Branca, Brazlândia, (1989) Rosada e Coquinho: novas cultivares de batata-doce. *Horticultura Brasileira*, Brasília, v. 7, n. 1, p. 32-33.
- Mukhtar A., Tanimu B., Arunah L., Babaji A., (2010). Evaluation of the Agronomic Characters of Sweet Potato Varieties Grown at Varying Levels of Organic and Inorganic Fertilizer. *World Journal of Agricultural Science* 6(4):370 373.
- Plaza, M. E. (2006). Síntesis de hidrogeles a partir De acrilato de sodio Y metacrilamida para la liberación controlada de fertilizantes. Tesis pregrado, Universidad del Valle, Cali, Colombia.
- Saraswati, P. (2007). Physiological and growth responses of selected sweet potato (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.) cultivars to water stress (Doctoral dissertation, James Cook University).
- Scholander, P.F., Hammel, H.T., Bradstreet, E.D., & Hemmingsen, E.A., (1965) Sap pressure in vascular plants. *Science*, 148:339-346.
- Tique, J., Chaves, B., & Zurita, J. H. (2009). Evaluación agronómica de diez clones promisorios CIP y dos materiales nativos de *Ipomoea batatas* L. *Agronomía Colombiana*, 27(2), 151-158.
- Villordon, A.; La Bonte, D.; Firon, N.; Kfir, Y.; Pressman, E.; Schwartz, A., (2009). Characterization of adventitious root development in sweetpotato. *HortScience* 44 (3): 651–655.
- Yooyongwech, S., Theerawitaya, C., Samphumphuang, T., & Cha-um, S. (2013). Water-deficit tolerant identification in sweet potato genotypes (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.) In vegetative developmental stage using multivariate physiological indices. *Scientia Horticulturae*, 162, 242-251.

CAPÍTULO 7

Efecto de la aplicación de calcio sobre el crecimiento del cultivo del tomate (*lycopersicon esculentum*, mill), en un suelo ácido de Sucre

Luis Fernando Acosta Pérez¹, James Daniel Caro Peñafiel² y
Eliecer Miguel Cabrales Herrera³

1 Magister en Ciencias Agronómicas. Miembro del grupo de investigación Agricultura Sostenible, Universidad de Córdoba. aclufe@hotmail.com

2 Magister en Ciencias Agronómicas. Miembro del grupo de investigación Agricultura Sostenible, Universidad de Córdoba. jamca26@hotmail.com

3 Doctor en Ciencias del Suelo. Docente Titular Área de Suelos, Universidad de Córdoba. ecabralesh@yahoo.es

Introducción

Actualmente en Colombia, el tomate es uno de los cultivos hortícolas de mayor importancia, se siembra en casi todas las regiones del país, desde huertos familiares hasta plantaciones comerciales, siendo el departamento de Norte de Santander el mayor productor con 118.151 toneladas, seguido por los departamentos de Antioquia, Boyacá, Cundinamarca y Santander (Agronet, 2017). Entre las principales ventajas y beneficios que representa su cultivo, se pueden mencionar las siguientes: produce en corto tiempo (100-110 días), no requiere de grandes extensiones de terreno, se adapta a diferentes tipos de suelos, su fruto tiene alta demanda en el mercado, constituye una importante fuente de vitaminas y minerales para el ser humano. Es considerado alimento nutraceutico, debido a las características funcionales, principalmente, por el licopeno, pigmento presente en el fruto (Fiori, 2006). Por sus propiedades antioxidantes, el consumo de tomate se está asociando al descenso del riesgo de cáncer en el esófago, estómago, pulmón y vías respiratorias, entre otras (Rao, 2002).

La mayoría de los cultivos de tomate en el país se hacen en pequeñas áreas y con una gran dispersión de los productores, desde unas pocas plantas en el huerto casero hasta 80 ha como sucede en el Valle del Cauca (Lobo y Jaramillo, s.f.). El Departamento de Sucre no es ajeno a esta problemática, el tomate se produce en pequeñas huertas caseras, sin embargo, el manejo suele ser empírico y rara vez tiene un manejo agronómico que incluya el uso de fertilizantes. Por otro lado, hay un desconocimiento del manejo de plagas y enfermedades que afectan al cultivo de tomate. En general los horticultores siembran pequeñas áreas de tomate, muchos desconocen el manejo del cultivo y ello lleva a baja productividad del mismo. En este sentido, no se tiene información local sobre el proceso de crecimiento que sigue el cultivo.

La existencia de zonas productoras diferentes justifica la necesidad de ensayar nuevas variedades y técnicas de cultivo adaptadas al suelo, clima y demás requisitos de crecimiento, ya que en la mayoría de los casos, los agricultores por no contar con asesoría y orientación técnica, no tienen una

visión panorámica del cultivo ni de los adelantos en materia de investigación que se han venido dando a nivel mundial, sobre todo en el desarrollo de nuevos genotipos de alto rendimiento, tolerancia a plagas y enfermedades, entre otros (Lobo y Jaramillo, s.f.).

El crecimiento vegetal, entendido como un aumento irreversible en tamaño de los organismos, implica a nivel fisiológico una serie de cambios y reacciones de tipo bioquímico, de las cuales dependerá finalmente el comportamiento agronómico y el rendimiento potencial de los diferentes genotipos. Generalmente, el crecimiento se determina mediante medidas directas (altura de la planta, diámetro del tallo, número de hojas, área foliar, masa seca) e indirectas como la tasa de asimilación neta, tasa de crecimiento del cultivo, tasa relativa de crecimiento, etc. Cabe anotar que el crecimiento está ligado a factores ambientales como luz, temperatura y humedad, entre otros (Salisbury y Ross, 1994). El crecimiento de la planta se constituye en un fiel reflejo de que en ella tienen lugar una serie de cambios estructurales de tamaño, peso y forma específicos, que ocurren de acuerdo con los patrones de división celular y diferenciación, los cuales no pueden considerarse fuera del contexto ambiental.

Los elementos minerales pueden influir en el complejo nutricional y estructural de las plantas, debido a la influencia que ejercen sobre los procesos bioquímicos, y/o fisiológicos, como la actividad fotosintética y la tasa de translocación de fotoasimilados (Ferreira *et al.*, 2006). El calcio es de lenta movilidad, tanto en el suelo como en la planta, lo cual obliga a replantear las técnicas de fertilización con este elemento, es decir, en lo posible debe estar en el suelo en forma soluble y disponible para la planta (Li *et al.* 2001). Aunque estudios recientes han demostrado que puede entrar en pequeñas cantidades vía apoplasto (por las hojas y frutos), cantidad que resulta insuficiente para satisfacer las necesidades de las plantas (Dayod *et al.* 2010), es decir, que la fertilización foliar con este elemento no satisface en su totalidad los requerimientos de las plantas (Lazcano 2000, Rodríguez *et al.* 2002, Taylor *et al.* 2004).

La deficiencia de calcio interfiere el proceso fotosintético, disminuyendo enormemente la eficacia de la carboxilación y la capacidad fotosintética (Alarcón *et al.*, 1999), lo que conduce a descensos sustanciales en la producción de biomasa de las plantas afectadas (Ramalho *et al.*, 1995). Según Jaunin y Hofer (1988), el calcio es esencial para el crecimiento,

densidad y elongación de los pelos radiculares necesarios para la absorción de nutrientes.

Hasta la fecha no hay ningún informe sobre el efecto del calcio en el cultivo de tomate en condiciones ambientales de Sucre. Por lo anterior, se estableció el ensayo en la que se evaluaron diferentes dosis de calcio aplicado al suelo, utilizando como fuente el carbonato de calcio, en la que evaluaron parámetros fisiológicos de crecimiento del cultivo del tomate en condiciones ambientales del departamento de Sucre.

Materiales y métodos

La investigación se realizó en condiciones semi controladas en los predios de la Corporación Universitaria del Caribe (CECAR), zona urbana de la ciudad de Sincelejo, departamento de Sucre (Colombia), ubicada geográficamente a 9° 18" latitud norte y 75° 23" latitud oeste del meridiano de Greenwich, a una altura de 213 msnm, con temperatura promedia de 27°C, humedad relativa promedia de 80%, y precipitación promedia anual de 1164 mm, la formación vegetal de acuerdo con Holdridge es el bosque seco tropical (Correa y Carrillo, 2013).

Se trabajó con suelos de los primeros 20 cm de profundidad de la finca Las Lauras del corregimiento Santa Clara, municipio El Roble del departamento de Sucre, suelo de reacción ácida. La selección se hizo según base en los archivos del laboratorio de suelos de la Universidad de Sucre, en el mismo se verificó información una vez se hizo localización del predio. El suelo fue secado a sombra, tamizado a 4 mm, y homogenizado, posteriormente se hizo el llenado de las bolsas con capacidad de 10 kg. Posteriormente las bolsas se ubicaron en hileras separadas a 80 cm y en las hileras se ubicarán a cada 60 cm.

Para el semillero se utilizaron vasos desechables de 7 onzas, se llenaron con un sustrato suelo: abono orgánico en relación 1:1, previa desinfección con Formaldehído al 10% y aplicación de 10 L/m². A los 10 días se sembraron 4 semillas/vaso de tomate Chonto Santa Cruz, previamente evaluada su eficiencia de germinación. El trasplante se hizo cuando las plántulas de los vasos desechables tuvieron 3 hojas totalmente formadas (15 días aproximadamente). No fue necesario sembrar.

El manejo agronómico se hizo en forma tradicional, las arvense se manejaron manualmente, mientras que el minador, la única plaga de interés económico que se presentó fue controlada con el producto comercial Hibertrina. Para la fertilización se utilizó un plan de 100-80-100 de N-P-K, utilizando como fuentes la Urea, DAP y KCl para N, P y K, respectivamente. Los elementos menores se aplicaron en forma foliar, para lo cual se aplicaron cada 10 días aspersiones de 5 ml de producto comercial por litro de agua, se utilizó el producto comercial Wuxal.

Se utilizó un diseño de bloques al azar con cinco tratamientos y tres repeticiones, cada unidad experimental estuvo conformada por cinco plantas. Los tratamientos fueron: T0: no aplicación de calcio (testigo); T1: aplicación de 1 ton ha⁻¹ de carbonato de calcio; T2: 2 ton ha⁻¹ de carbonato de calcio; T3: 3 ton ha⁻¹ de carbonato de calcio; y T4: 4 ton ha⁻¹ de carbonato de calcio. La información obtenida se tabuló en tablas Excel y se procesó mediante el programa estadístico SAS versión 9.0, se hizo el análisis de varianza (ANAVA), previa comprobación de los supuestos para dicho análisis. Se aplicó la prueba de comparación de medias de Tukey con un nivel del 95% de confianza. Se midieron los parámetros: número de hojas, área foliar, altura de planta, inicio de floración, número de flores, biomasa seca y biomasa húmeda.

Resultados y discusión

El porcentaje de germinación en papel húmedo fue de 84% y la emergencia evaluada en el semillero fue del 89,6%, cifras que se consideran buenas (Fernández *et al.* 2006). Estas cifras de germinación y emergencia altas se debieron posiblemente al buen manejo de la humedad y sustrato en el semillero y a la buena calidad de la semilla utilizada en el ensayo.

Tabla 7.1.

Cuadrados medios y niveles de significancia de las variables del componente fisiológico evaluadas en tomate, con diferentes dosis de cal.

E V	G.L	NHT	AFT	ALT	NFT	IF	BH	BS
Calcio	4	11187,36 **	692059,23 *	589,11 **	3252,77 **	17,07 ns	34756 *	641,98 ns
Error	10	41,10	67596,75	4,53	41,47	9,27	3708,83	433,87
C.V. (%)		3,05	22,11	1,1	5,13	22,17	18,53	35,19
R²		0,99	0,80	0,97	0,96	0,42	0,79	0,37

Grados de Libertad (GL), Número de hojas total (NHT), área foliar total (AFT), altura planta (ALT), Número flores total (NFT), Inicio floración (IF), biomasa húmeda (BH), biomasa seca (BS). *=significativo, **=altamente significativo, ns = no significativo

Tabla 7.2.

Comparación de medias de las variables evaluadas en tomate, con diferentes dosis de cal.

TRATAMIENTO ton/ha	NHT	AFT	ALT	NFT	IF	BH	BS
0	140,33 c	689,24 b	173,23 c	82 d	16,67 a	164,7 b	45,54 a
1	152 c	821,76 b	183,3 b	106 c	15,33 a	334,33 a	55,58 a
2	226,83 b	1163,48 b	201,33 a	125 b	14 a	319,07 ab	56,3 a
3	274 a	1915,68 a	204 a	161,67 a	11,33 a	463,73 a	84,19 a
4	258,17 a	1290,17 ab	203,5 a	153 a	11,33 a	361,67 a	54,38 a

*Medias entre columnas con letras iguales no difieren estadísticamente según la prueba de tukey (p=0,05). Número de hojas total (NHT), área foliar total (AFT), altura planta (ALT), Número flores total (NFT), biomasa húmeda (BH), biomasa seca (BS), inicio floración (IF).

Número de hojas totales (NHT). La Tabla 7.2 muestra los resultados de la prueba de comparación de medias del número de hojas total producidas por el cultivo de tomate, donde se muestra que el número de hojas totales producidas está en un rango de 140,33 a 274, que se obtuvo

en los tratamientos T0 y T3, respectivamente. A medida que se adiciona cal agrícola al suelo, el número de hojas totales, tiende a aumentar, esto fue corroborado mediante la prueba de Tukey al 0,05 y se representa en la figura 7.1. En esta figura se describe el comportamiento del número de hojas totales producidas en función a las dosis aplicadas de calcio, mostrando una tendencia que puede ser explicada por un modelo de orden lineal, que indica que el número de hojas totales producidas por la planta de tomate, depende en un 85,76% de la aplicación de calcio al suelo. Esta tendencia se debe posiblemente, a que el calcio reaccionó favorablemente con la fracción del suelo, lo que permitió posiblemente neutralizar los iones H^+ de la solución del suelo, es decir que la adición de cal redujo la acidez del suelo (incrementa el pH). En este sentido Cabrales (2008), expone que, al reaccionar la cal con la solución acidulada del suelo, el aluminio como precursor de acidez es neutralizado, se disminuye la acidez potencial y con ello se incrementa el pH del suelo. Esta respuesta positiva del encalado en el suelo se debe posiblemente a que se mejoran las condiciones físicas y químicas del suelo, produciendo un mejor ambiente para el desarrollo radicular (Cabrales, 2008), de tal manera que el calcio pudo ser absorbido por las raíces de la planta, transportándolo a todos los órganos demandantes, entre ellos las hojas, donde éste elemento es necesario para los procesos de división y elongación celular.

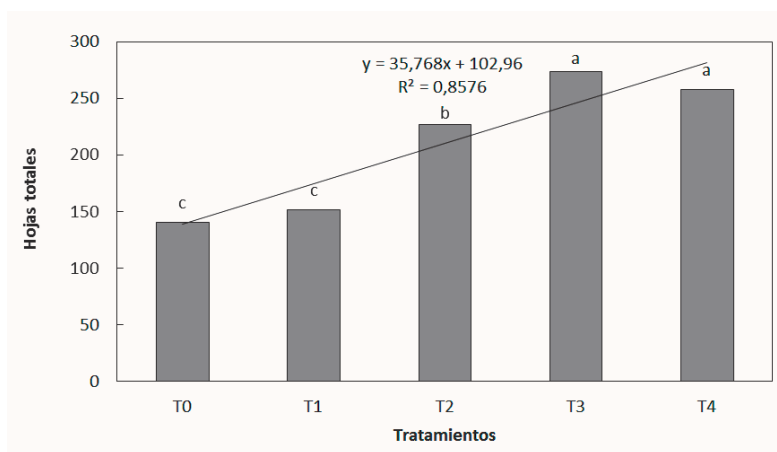


Figura 7.1. Hojas totales. Letras iguales no difieren estadísticamente según la prueba de tukey ($p=0,05$)

El análisis de varianza arrojó diferencias altamente significativas entre los tratamientos ($P < 0,01$). El testigo (T0) difiere de los tratamientos restantes, pero es estadísticamente igual al tratamiento T1. Las diferencias entre el tratamiento testigo T0 y los demás tratamientos, posiblemente pudo ser porque en las plantas, el calcio tiende a acumularse en las hojas por ser los órganos con mayor transpiración (mayor superficie específica, mayor densidad estomática, etc.), lo que permitió que, a mayor dosis de calcio, el proceso de división y elongación celular en los brotes de las hojas fuera más efectivo, que al final se logró una mayor producción de hojas (Figura 7.1). El mayor número de hojas alcanzado por el tratamiento T3, es un evento favorable para la producción del cultivo, en virtud de que la actividad fotosintética laminar y el crecimiento, están estrechamente relacionados, ya que según lo reportado por Fogg (1967), la cantidad y calidad de la fotosíntesis que una planta realiza depende de la superficie (área) de la hoja u órganos fotosintéticos que posea. Al mismo tiempo, el área foliar depende del número de hojas, de su velocidad de crecimiento y de su tamaño final (Barraza, 2000b).

Los resultados de esta investigación son diferentes a los reportados por Afsana *et al.*, (2017), quienes evaluaron la respuesta del tomate a la aplicación de calcio en presencia de ácido silícico vía foliar, obteniendo 70 hojas por planta de tomate. Esta cantidad de hojas es mucho menor en comparación con las cantidades obtenidas en la presente investigación, posiblemente a que las condiciones en la que se realizó el ensayo del autor citado, corresponde a la temporada de invierno y la duración del experimento fue de 60 días, lo que pudo influir en la cantidad de hojas producidas posiblemente porque las plantas de tomates estuvieron sometidas a condiciones adversas como estrés por frío y exceso de agua, lo cual dificultó el desarrollo metabólico y fisiológico, además de no contar posiblemente con elementos minerales que parcialmente se van solubilizando hasta llegar a ser disponibles para la planta.

Área foliar total (AFT). El análisis de varianza arrojó que existen diferencias estadísticamente significativas, para los tratamientos (Tabla 7.1). El tratamiento testigo T0, difiere del tratamiento T3, pero es igual estadísticamente a los tratamientos T1, T2 y T4. Los tratamientos T3 y T4 no difieren entre sí (Figura 7.2). Las diferencias entre tratamiento testigo T0 y el tratamiento T3, posiblemente se debe a que cuando no se

aplica calcio esa deficiencia del elemento modifica el proceso fotosintético disminuyendo la eficacia de la carboxilación, por lo tanto, la capacidad fotosintética global, lo que provoca reducciones en la producción de las plantas afectadas (Atkinson *et al.*, 1989). Al no haber calcio disponible para la planta, la carencia de calcio se manifiesta en deficiencias en la formación de la pared celular de los tejidos nuevos (puntas de las raíces, hojas jóvenes y brotes). Caso contrario sucede cuando al suelo se adiciona calcio y este reacciona favorablemente con la fracción del suelo, así las raíces de la planta lo pueden absorber en forma asimilable, penetrando en los vasos leñosos de xilema y ascendiendo pasivamente con la corriente de agua, hasta llegar a las hojas donde la presencia del calcio es requerida para los procesos de división, elongación celular, y la división meristemática del parénquima (Fornaris, 2007).

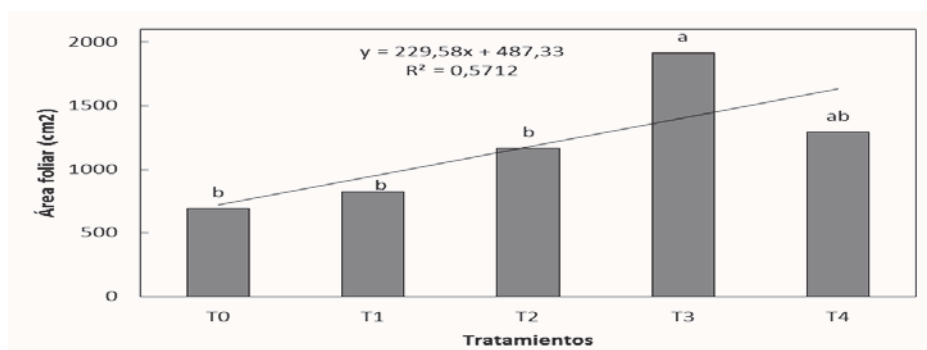


Figura 7.2. Área foliar. Letras iguales no difieren estadísticamente según la prueba de tukey ($p=0,05$)

El rango en área foliar que se obtuvo fue de 689,24 cm² en el tratamiento T0 y 1915,68 cm² en T3 (Tabla 7.2). El área foliar tuvo tendencia a aumentar con la dosis de 0, 1, 2 y 3 ton/ha de cal, pero con la dosis de 4 ton/ha el área foliar disminuyó. La figura 7.2 describe la respuesta de esta variable a la aplicación de calcio al suelo, mostrando una tendencia que puede ser explicada por un modelo de orden lineal, dicho modelo indica que el área foliar de la planta de tomate, depende en un 57,12% de la aplicación de calcio. Esta tendencia en aumento en el área foliar se debe posiblemente a que el encalado tuvo un efecto positivo en la estructura del suelo debido a la acción floculante del calcio (cal) en el suelo (Cabrerales, 2008), lo cual probablemente mejoró la agregación del suelo y con ello la aireación y actividad biológica del suelo.

De igual manera, Fornaris (2007), encontró que el encalado mejora las condiciones del suelo, permitiendo un adecuado desenvolvimiento de la actividad microbiana, lo que hace que haya un incremento en los macroporos del suelo, y con ello, mejor aireación, produciendo un mejor ambiente para el desarrollo radicular. La mejor exploración del suelo permitió que la planta absorbiera los nutrientes de los fertilizantes aplicados al suelo, entre ellos el calcio, el cual es requerido en los procesos de división y elongación celular, para la división meristemática del parénquima (Fornaris, 2007). Los mayores valores de área foliar obtenidos en el tratamiento T3 sugieren una mayor actividad fotosintética laminar, ya que según Jarma *et al.* (1999), las plantas con mayor área foliar y ambiente favorable, son capaces de utilizar mejor la energía solar con una fotosíntesis más eficiente. Además, según Petoseed Co. Inc. (s.f.), esta situación es favorable para un mejor crecimiento y desarrollo de la planta, el cual contribuye a obtener los más altos rendimientos, ya que a medida que se desarrolla la planta de tomate, las hojas se vuelven más complejas y por lo tanto más funcionales.

No obstante, cuando se aplican 4 ton/ha de cal, ésta posiblemente no alcanza a reaccionar en su totalidad y los resultados suelen ser similares a cuando se aplican 3 ton/ha de cal, por lo tanto, la emisión de hojas es semejante entre estos dos tratamientos, razón por la cual el área foliar también tendría la misma tendencia. En este sentido, Cabrales (2008) manifiesta que dosis superiores a 3 ton/ha de cal agrícola no alcanza a reaccionar en el suelo durante un año, por lo tanto, las cantidades por encima de esta dosis quedan en el suelo. Esto indica que, si la cantidad de calcio sigue siendo similar, el número de hojas y el área foliar debe ser similar, sin embargo, con dosis superiores, se pudo notar una disminución del área de las hojas, es decir, hojas más pequeñas.

Sin embargo, a la dificultad para obtener bibliografía del comportamiento del área foliar de la planta de tomate en función a la aplicación de calcio, estos resultados se pueden comparar con los reportados por Barraza *et al.*, 2004 donde evaluaron el comportamiento del área foliar de plantas de tomate bajo cuatro densidades de población en el Valle del Sinú medio, donde para una densidad de plantación de 33.333 plantas por hectárea, alcanzó el mayor valor promedio de 7828,99 cm². Esta cantidad es mayor en comparación con la cantidad máxima obtenida en la presente investigación. Posiblemente, esta diferencia se debe porque en

nuestro ensayo, a pesar del encalado, la planta no pudo asimilar todos los elementos nutricionales necesarios para su desarrollo metabólico. Además, el suelo en ambos ensayos es diferente, con diferente fertilidad, en nuestro caso, un suelo de reacción ácida y baja oferta nutricional.

Altura de planta (ALT). El análisis de varianza arrojó diferencias altamente significativas para los tratamientos (Tabla 7.1), donde el tratamiento testigo T0 es diferente a los demás tratamientos (figura 7.3). Esta diferencia se debe posiblemente al predominio de procesos de división celular activa, que ejerce el calcio en los tratamientos que estuvieron en presencia de mayores cantidades disponibles de calcio en el suelo, se pudo notar que a medida que se aumenta la dosis de calcio, se induce a la elongación celular, ya que el calcio activa y regula la división y el alargamiento celular al influir en la compartimentación de la célula relacionada con la especialización de los órganos celulares. En consecuencia, resulta imprescindible para el desarrollo de órganos de crecimiento como raíces, brotes, frutos, etc.

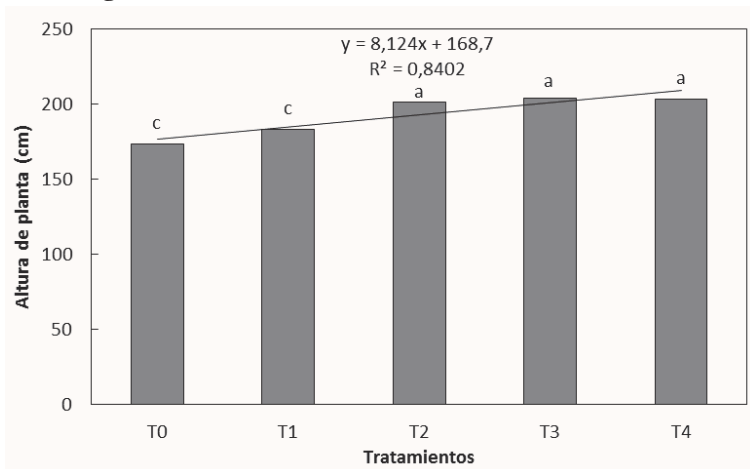


Figura 7.3. Efecto de la aplicación de cal en la altura de la planta de tomate. Letras iguales no difieren estadísticamente según la prueba de tukey ($p=0,05$)

El crecimiento de la planta de tomate mostró respuesta a la aplicación de cal al suelo (Tabla 7.2), así lo demuestran los resultados de la prueba de comparación de media, siendo T0 donde se encontró el menor crecimiento con 173,23 cm mientras que el máximo se obtuvo en el tratamiento T3 (3 ton ha⁻¹ de cal) con 204 cm. En la figura 7.3 se puede notar que a medida que se adiciona cal al suelo, la altura de la planta de tomate tiende a aumentar, es decir se encontró una relación directamente proporcional.

Esta figura describe la respuesta de la altura de la planta en función a las dosis de calcio aplicadas al suelo, mostrando una tendencia que puede ser explicada por un modelo de orden lineal, dicho modelo indica que la altura de la planta de tomate, depende en 84% de la aplicación de calcio. Esa tendencia de crecimiento se debe a la elongación de las células, esta elongación se presenta posiblemente, porque las auxinas liberan el calcio que está unido a las pectinas del apoplasto, de tal manera que el calcio libre activa los canales en la membrana permitiendo la entrada de solutos y el aumento en la extensión celular.

Los resultados de esta investigación son diferentes a los reportados por Afsana *et al.*, (2017), quienes evaluaron la respuesta del tomate a la aplicación de calcio en presencia de ácido salicílico vía foliar, encontrando que las concentraciones de calcio más elevadas no influyeron en la altura de la planta de tomate, caso contrario a los reportados en la presente investigación donde se evidencia que dosis elevadas de calcio influyen significativamente en la altura de la planta de tomate. Es de anotar que el autor citado estableció el ensayo en época de invierno, esto posiblemente causó una lesión a baja temperatura que regula la altura de la planta del tomate. Además, posiblemente la dosis más alta de aplicación foliar de calcio inhibe la altura de la planta mientras que una menor concentración de calcio la promueve, dado que la tasa de fotosíntesis puede reducirse por una mayor concentración celular de calcio que regula el movimiento estomático.

Número de flores total (NFT). El análisis de la varianza arrojó diferencias altamente significativas para los tratamientos (Tabla 7.1). El tratamiento testigo T0 es diferente a los demás tratamientos. Pudiéndose afirmar que las dosis de cal influyen positivamente en el número de flores que produce la planta de tomate, porque este órgano necesita abundante calcio para sus procesos fisiológicos. Además, para fines económicos no resulta rentable la aplicación de las dosis de 4 ton ha⁻¹ de cal, ya que se obtendría el mismo número de flores que con la dosis de 3 ton ha⁻¹ de cal.

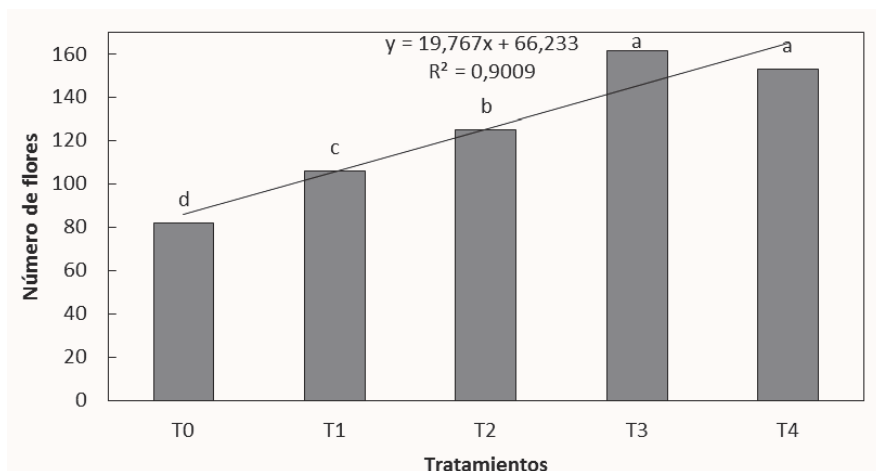


Figura 7.4. Producción de flores totales del cultivo de tomate en función a la cantidad de cal aplicada al suelo. Letras iguales no difieren estadísticamente según la prueba de tukey ($p=0,05$)

La Tabla 7.2 muestra los resultados de la prueba de comparación de media del número de flores totales producidas por el cultivo de tomate, donde se muestra que el número de flores totales producidas está en un rango de 82 a 161,67 unidades/planta, donde el mayor número de flores corresponde al tratamiento T3 y el menor número al tratamiento testigo T0. A medida que se adiciona el tratamiento, el número de flores totales, tiende a aumentar, esto fue corroborado mediante la prueba de Tukey al 0,05 y se representa en la Figura 7.4. En la cual se describe el comportamiento del número de flores totales producidas en función a las dosis aplicadas de cal, mostrando una tendencia que puede ser explicada por un modelo de orden lineal, dicho modelo indica que el número de flores en la planta de tomate, depende en un 90% de la aplicación de cal. Esa tendencia se debe probablemente a que los órganos en desarrollo y con mayor actividad metabólica como las flores requieren abundante calcio para su desarrollo metabólico, aunado a esto, posiblemente las plantas no sufrieron estrés hídrico a pesar de estar sometidas a altas temperaturas (clima cálido), lo cual fue benéfico porque no se afectaron los procesos fisiológicos de las plantas de tomate como la floración. Al respecto Sirivansa (2000) y Shubang (2002) indican que las plantas de tomate, son sensibles al estrés hídrico y a altas temperaturas ya que afectan la floración y disminuyen la producción.

Al comparar estos resultados con los reportados por Ruíz *et al.*, 2008 quienes evaluaron el efecto del calcio al momento de riego en plantas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) son totalmente diferentes, porque ellos obtuvieron un rango de números de flores entre 16,30 y 45, hasta los 60 días después del trasplante, tiempo que duró su ensayo. Esos resultados son muy bajos, en comparación con los de la presente investigación. El autor destaca que solamente se realizaron dos evaluaciones por cuanto los niveles de infestación de plagas y enfermedades fueron muy altos, así como también la presión de pesticidas, lo cual afectó las variables de muestreos. En contraste con nuestros resultados, Afsana *et al.*, (2017), mostraron que el calcio en presencia de ácido salicílico tuvo una influencia significativa en la mejora del comportamiento vegetativo y reproductivo del tomate, obteniendo el máximo número de flores en promedio de 168,10.

Biomasa húmeda (BH). Según el análisis de varianza existen diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos (Tabla 7.1), indicando que las plantas de tomate presentan variaciones en la masa húmeda. Mediante una prueba de comparación de medias de Tukey (0,05) se encontró que el tratamiento testigo T0 difiere estadísticamente de los demás tratamientos. Se podría decir que las dosis de cal influyen positivamente en el peso de masa húmeda de la planta de tomate, pero en función a la dosis aplicada, daría el mismo resultado aplicar 1, 3 y 4 ton ha⁻¹ de cal, debido a que los pesos ganados en biomasa húmeda en estas dosis son estadísticamente iguales (Figura 7.5).

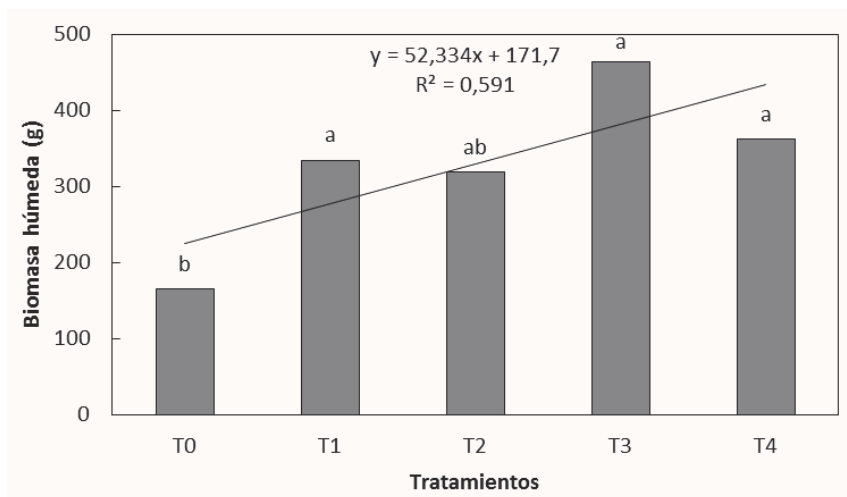


Figura 7.5. Biomasa húmeda de plantas de tomate a diferentes dosis de cal aplicada al suelo. Letras iguales no difieren estadísticamente según la prueba de tukey ($p=0,05$)

El rango en el peso de biomasa húmeda que se obtuvo es 164,7 a 463,73 g, siendo que el mayor peso de biomasa húmeda se obtuvo en el tratamiento T3 y el menor en el tratamiento testigo T0 (Tabla 7.2). Cuando se adiciona cal al suelo, el peso de biomasa húmeda tiende a aumentar, como se puede apreciar en la Figura 7.5, donde se aprecia una tendencia que puede ser explicada por un modelo de orden lineal, el cual indica, para estas condiciones, el peso de biomasa húmeda depende en un 59,1% de la aplicación de cal. Esa tendencia se debe posiblemente a que en las hojas, el proceso de transpiración y contenidos altos de agua en el suelo favorecen el flujo de masa y a su vez la movilidad de calcio (Ansorena, 1994). Así mismo Sam (2000), afirma que, a mayor cantidad de calcio, la fotosíntesis aumenta y la planta absorbe cantidades mayores de dióxido de carbono del aire, lo que genera un aumento en los componentes orgánicos básicos, sin embargo, los suelos del ensayo al ser de baja oferta nutricional, puede quizás otros elementos limitar la expresión de dicha variable. Además, con las dosis altas de cal se produjeron tallos más pesados, de tal manera que con altas dosis de calcio las cantidades de este elemento que no logran entrar al citosol quedan en la pared celular, situación que genera células más pesadas (Taiz y Zeiger, 1998; Marschner, 2002); esto, probablemente es lo que ocurre en los tejidos de la planta de tomate.

Estos resultados difieren a los reportados por Ruíz *et al.*, (2008), quienes evaluaron el efecto del calcio al momento de riego en plantas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill), por cuanto ellos obtuvieron un rango de masa fresca de 18,52 y 33,16 gramos, hasta los 60 días después del trasplante, tiempo que duró su ensayo. Esos resultados son muy bajos, en comparación con los de la presente investigación. Esta diferencia se debe posiblemente a que los autores citados, solo tuvieron en cuenta las hojas y no el tallo al momento de hacer las mediciones en esta variable, además el autor destaca que solamente se realizaron dos evaluaciones por cuanto los niveles de infestación de plagas y enfermedades fueron muy altos, así como también la presión de pesticidas, lo cual afectó las variables de muestreo.

Conclusiones

El encalado en suelos ácidos de Sucre y de baja oferta nutricional induce a que la planta de tomate mejore fisiológicamente, siendo la dosis de 3 ton.ha⁻¹ donde se encontraron las mejores respuestas. Sin embargo, No hubo variación significativa en las variables biomasa seca e inicio de floración, evidenciando que la cal comercial que se utilizó no influye positivamente en estas dos variables.

Referencias

- Afsana, N., Mahbub, M., Hossain, E., Nizam, R., Monalesa, N., Hussain, A., Parvin, S. (2017). Response of Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) to Salicylic Acid and Calcium. Journal of Applied Life Sciences International. 15(2). p. 1-7.
- Alarcón A.L., Madrid R., Egba c., Guillén l., (1999). Calcium deficiency provoked by the application of different forms and concentrations of Ca²⁺ to soil-less cultivated muskmelons. Scientia Horti., 81: 89-102.
- Anzorena, J., (1994). Sustratos. Propiedades y caracterización. España: Mundi-Prensa. 172p.
- Atkinson, C., Mansfielo, T., Ke, A., Oavies, W., (1989). Control of stomatal aperture by calcium in isotoped epidermal tissue and whole leaves of *Commelina communis* L, New Phytologist, 111.p.9-17.

- Barraza, F., (2000). Crecimiento del Chile Manzano (*Capsicum pubescens* R. y P.) en cuatro soluciones nutritivas bajo invernadero. Tesis de Maestro en Ciencias en Horticultura. Universidad Autónoma de Chapingo, México. 142 p.
- Cabral, E., (2008). Reacción del suelo: manejo de suelos ácidos y salinos. Montería: Centro de publicaciones Universidad de Córdoba. 145p.
- Correa, R. y Carrillo, L., (2013). Sistema de indicadores ambientales de Colombia. Colombia: Instituto Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales –IDEAM. 6p.
- Dayod, M., Donald, S., Allen, R., Gilliam, M., (2010). Calcium storage in plants and the implications for calcium biofortification. Protoplasma. Australia: Springer. 1-17p.
- Fernández, C., Urdaneta, N., Silva, W., y Poliszukh, Marin, M., (2006). Germinación de semillas de tomate (*lycopersicon esculentum*) cv Rio Grande sembradas en bandejas plásticas, utilizando distintos sustratos. Revista Facultad Agronomía Universidad del Zulia 23: 22-26.
- Ferreira, M., Ferreira, G., Fontes, P., Dantas, J., (2006). Qualidade do tomate em função de doses de nitrogênio e da adubação orgânica em duas estações. Horticultura Brasileira. 24: 141-145.
- Fiori, M., (2006). Comportamento de cultivares de tomateiro quanto à utilização de escórias siderúrgicas em ambiente protegido. 54p. Dissertação Mestrado. Faculdade de Ciências Agrárias da Universidade de Marília- UNIMAR. Marília, SP.
- Fogg, G.E., (1967). El crecimiento de las plantas. Buenos Aires: Editorial Universitaria de Buenos Aires (EUDEBA). 327p.
- Fornaris, G. J., (2007). Conjunto tecnológico para la producción de tomate, características de la planta. publicación 166. Puerto Rico: Universidad de Puerto Rico.
- Jarma, A., Buitrago, C., Gutiérrez, S., (1999). Respuesta del crecimiento de la habichuela (*Phaseolus vulgaris* L. var. Blue Lake) a tres niveles de radiación incidente. Revista COMALFI 26(1-3), 62-73.
- Jaunin F., Hofer R.M., (1988). Calcium and rhizodermal differentiation in primary maize roots. J. Exp. Bot., 39: 587-593.

- Lazcano, I., (2000). Deficiencia de Ca en tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill). Informaciones Agronómicas, Instituto de la Potasa y el Fósforo de Canadá, 39: 7-8.
- Li, Y., Stanghellini, C., Challa, H., (2001). Effect of electrical conductivity and transpiration on production of greenhouse tomato (*Lycopersicon esculentum* L). Scientia Horticulturae 88: 1129 - 1135.
- Lobo, M. y Jaramillo, J., (s.f.). Tomate. En: Hortalizas, manual de asistencia técnica. Instituto Colombiano Agropecuario. Programa de divulgación tecnológica, Convenio ICASENA. Bogotá. pp. 41-67.
- MADR., (2017). Anuario Estadístico del Sector Agropecuario. Red de Información y Comunicación Estratégica del Sector Agropecuario – AGRONET Colombia. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. 2017. Disponible en: <http://www.agronet.gov.co/agronetweb1/Estad%C3%ADsticas.aspx>
- Marschner, H., (2002). Mineral nutrition of higher plants. 2nd ed. Academic Press London. 889p.
- Petoseed Co. Inc., (s.f.) Siembre los híbridos Petoseed. La compañía de las semillas híbridas. Luis Alberto Arroyave H. y Cía Ltda., Bogotá. 20 p.
- Ramalho J.E., Rebelo M.E., Santos M.E., Antunes, M.L., Nunes M.A., (1995). Effects of calcium deficiency on *Coffea arabica*. Nutrient changes and correlation of calcium levels with some photosynthetic parameters. Plant Soil, 172: 87-96.
- Rao, A., (2002). Lycopene, tomatoes, and the prevention of coronary heart disease. Experimental Biology and Medicine, 227: 908-913.
- Rodríguez, D., Pontes, A., Minami, K., Dos Santos, D., (2002). Quantidade absorvida e concentrações de micronutrientes em tomateiro sob cultivo protegido. Sci. Agric 59(1):137-144.
- Ruíz, C., Russián, T., Tua, D., (2008). Efecto del momento del riego y el nitrato de calcio en plantas de tomate (*Lycopersicon esculentum* L.). Revista Facultad. Agronómica. (LUZ). 25: 421-439.
- Salisbury, F y Ross, C., (1994). Fisiología vegetal. Grupo Editorial Iberoamérica S.A., México. 759 p.
- Sam, E., (2000). El uso del calcio soluble para estimular el crecimiento vegetal. Comunicaciones Agrícolas. El Sistema Universitario Texas

- A&M. 4p. Disponible desde Internet:http://www.tcebookstore.org/publications_getfile.cfm?getfile=pdf&whichpublication=1121.
- Shubang, N., (2002). Effect of water stress during flowering on macademia plants. J. Southwest Agric. Univ. 24: 34–37
- Sirvansa, R., (2000). Tolerance to water stress in tomato cultivars. Photosyntetica 38: 465–467.
- Taiz, L. y Zeiger, E., (1998). Plant physiology, 2nd edition. Sinauer Associates Inc. Publishers, Sunderland. 792p.
- Taylor, M. y Locascio, S., (2004). Blossom-End Rot: A Calcium Deficiency. Journal of Plant Nutrition 27(1):123-139.

CAPÍTULO 8

Crecimiento, desarrollo y rendimiento productivo del frijol caupí (*vigna unguiculata* (l.) Walp.) en respuesta a dos distancias entre hileras, tres distancias entre plantas y uso de hidrogel en el departamento de Sucre

Félix Esteban Pastrana Atencia¹, Carlos Enrique Cardona Ayala² y
Jairo Guadalupe Salcedo Mendoza³

1 Magister en ciencias agronómicas. felixpastra22@gmail.com

2 Ph.D. Ciencias Naturales para el Desarrollo con énfasis en producción Agrícola. Afiliado a la Universidad de Córdoba. ccardonaayala@yahoo.com

3 Ph.D. Ingeniería Química. Vinculado a Universidad de Sucre. jairo.salcedo@unisucra.edu.co

Introducción

El caupí (*Vigna unguiculata* L.Walp.) es una leguminosa cultivada en todos los trópicos y subtrópicos. Las semillas son fuente importante de proteínas y vitaminas vegetales para el hombre, alimento para animales y también una fuente de ingresos en efectivo. Las hojas jóvenes y las vainas inmaduras se comen como vegetales (El Naim et al., 2012). Las estimaciones conservadoras sugieren que más de 12.3 millones de hectáreas se siembran anualmente con caupí en todo el mundo. La producción mundial total se estima en alrededor de 7 millones de toneladas de grano seco (FAO, 2016).

El caupí es utilizado como fuente de proteína, calorías, fibra, minerales y vitaminas (Kabas et al., 2007), especialmente en los estratos de bajos ingresos económicos, por presentar bajos costos de producción (Sinha y Kawatra, 2003; Santos et al., 2007; Frota et al., 2008). En el caribe colombiano la producción de caupí se maneja, básicamente, con conocimientos empíricos ya que, en muchos casos, carecen de una infraestructura adecuada y de tecnologías que permitan optimizar su producción, a pesar de que la rusticidad de este cultivo le permite adaptarse a diferentes agro-ecosistemas y condiciones climáticas adversas como lo son períodos de sequía, suelos con baja disponibilidad de nutrientes, y diferentes factores abióticos, aunque los largos periodos de sequía, afectan negativamente su desempeño agronómico provocando disminución en su productividad, reduciendo y alterando la fotosíntesis y demás procesos metabólicos, así como el desarrollo de todos sus órganos (Uarrota, 2010).

Por otro lado, factores como el arreglo poblacional y la densidad de plantas por área permiten intensificar y perfeccionar las técnicas del cultivo entre los agricultores, logrando así, mayor disponibilidad de agua, nutrientes y la captación de radiación con óptima área foliar que favorecen la intercepción de luz, lo cual incrementa la fotosíntesis y producción de biomasa y por ende mejora su crecimiento y desarrollo productivo (Aguilar et al., 2005; Nafziger, 2006). Se puede referir a crecimiento vegetal como incremento irreversible de materia seca o volumen, cambios en tamaño, masa, forma y número, dando como resultado un aumento cuantitativo del

Crecimiento, desarrollo y rendimiento productivo del frijol caupí (*vigna unguiculata* (L.) Walp.) en respuesta a dos distancias entre hileras, tres distancias entre plantas y uso de hidrogel en el departamento de Sucre

tamaño y peso de la planta, y en cuanto a desarrollo vegetal a la composición de eventos que causan cambios cualitativos en forma y función de la planta (Krug, 1997).

Por otra parte, la dinámica del cultivo de frijol en el departamento de Sucre, Colombia, muestra tendencia a la reducción de la práctica de este sistema (AGRONET, 2017), lo cual es promovido por múltiples factores, entre los que se destaca, la escasa disponibilidad de estudios sobre el manejo adecuado de ciertas variedades del cultivo que ayuden a comprender el comportamiento fisiológico de las mismas bajo la oferta ambiental del departamento de Sucre.

De acuerdo con lo anterior, se realizó la presente investigación con el fin de determinar el efecto del uso de hidro-retenedor en el cultivo de frijol caupí y el arreglo poblacional óptimo, con ayuda de un análisis que aporte conocimiento básico sobre su crecimiento y desarrollo productivo, que a su vez faciliten la construcción de bases para un manejo específico de este cultivo.

Materiales y métodos

Universo o localización del proyecto

El ensayo se realizó en el municipio de Sincelejo, departamento de Sucre, situado a 9° 18' de Latitud Norte y 75° 23' de Longitud oeste; con clima tropical seco o de sabana (Aw) según Köppen: temperatura media anual de 27,15°C, una altura promedio de 213 m.s.n.m., humedad relativa media anual del 80%, y precipitación media anual de 1.192 mm (Quessep, 2016).

Oferta ambiental

El establecimiento del cultivo se llevó a cabo a inicios del mes de marzo de 2017, en el corregimiento de La Arena, perteneciente al municipio de Sincelejo, en el departamento de Sucre. El suelo fue mecanizado con un pase de arado de disco y dos pases de rastrillo, labranza convencional utilizada por los productores de la región. El suelo presentaba las siguientes propiedades físico-químicas:

Tabla 8.1.
Propiedades físico-químicas de suelo del ensayo.

Propiedad	Unidad	Valor	Propiedad	Unidad	Valor
pH	1:1, P/V	7,74	Ca	Cmol kg ⁻¹	40,6
MO	%	2,87	Mg	Cmol kg ⁻¹	6,7
C.I.C	Cmol kg ⁻¹	77,2	Na	Cmol kg ⁻¹	0,46
Textura	-	Arcilloso	Cu	mg kg ⁻¹	0,1
DA	(g cm ⁻³)	1,95	Fe	mg kg ⁻¹	0,1
P	mg kg ⁻¹	100,3	Zn	mg kg ⁻¹	0,2
S	mg kg ⁻¹	20,5	Mn	mg kg ⁻¹	1,2
K	Cmol kg ⁻¹	5,46	B	mg kg ⁻¹	0,14

MO=materia orgánica; DA=densidad aparente.

Material vegetal

Se utilizaron semillas de frijol caupí (*Vigna unguiculata* L.Walp.) cultivar CAUPICOR 50 suministrada por la Universidad de Córdoba, previamente seleccionadas de plantas productivas y libres de plagas el cultivo se estableció iniciando el mes de marzo de 2017 y su cosecha en los primeros días del mes de mayo del mismo año.

Diseño experimental

El ensayo se estableció en campo bajo un diseño de bloques completos al azar (DBCA) con tres repeticiones en parcelas divididas, Se probaron dos distancias entre hileras (0,6 m y 0,8 m), tres distancias entre plantas (0,2 m, 0,3 m y 0,4 m) y la aplicación o no de hidrogel al suelo (0 g planta⁻¹ y 5 g planta⁻¹) para un arreglo factorial 2x3x2. Donde la gran parcela corresponde a la distancia entre hileras, la subparcela a la distancia entre plantas y como sub-subparcela el uso o no de hidrogel, para un total de 36 unidades experimentales con 147 plantas cada una, los tratamientos se describen en la Tabla 8.2

Crecimiento, desarrollo y rendimiento productivo del frijol caupí (*vigna unguiculata* (L.) Walp.) en respuesta a dos distancias entre hileras, tres distancias entre plantas y uso de hidrogel en el departamento de Sucre

Tabla 8.2
Estructura de tratamientos del ensayo

Tratamientos	DH * DP * HR	Densidad (Nº plantas ha ⁻¹)
T1	0,6 m x 0,2 m x 0 g planta ⁻¹	62.500
T2	0,6 m x 0,2 m x 5 g planta ⁻¹	
T3	0,6 m x 0,3 m x 0 g planta ⁻¹	41.666
T4	0,6 m x 0,3 m x 5 g planta ⁻¹	
T5	0,6 m x 0,4 m x 0 g planta ⁻¹	31.250
T6	0,6 m x 0,4 m x 5 g planta ⁻¹	
T7	0,8 m x 0,2 m x 0 g planta ⁻¹	41.666
T8	0,8 m x 0,2 m x 5 g planta ⁻¹	
T9	0,8 m x 0,3 m x 0 g planta ⁻¹	55.555
T10	0,8 m x 0,3 m x 5 g planta ⁻¹	
T11	0,8 m x 0,4 m x 0 g planta ⁻¹	83.333
T12	0,8 m x 0,4 m x 5 g planta ⁻¹	

DH: Distancia entre hileras; **DP:** distancia entre plantas; **HR:** dosis de hidro-retenedor

Nota: elaboración propia

Variables para evaluación del crecimiento del frijol caupí

Estas variables se midieron con una frecuencia de 10 días, empezando 10 días después del raleo (DDR) sobre tres plantas de cada unidad experimental, en plena competencia, tomadas al azar. Para las variables número de hojas por planta (NH), diámetro de tallo (DT) y altura de planta (AP) se tomaron medidas repetidas cada 10 días en el tiempo sobre las plantas muestreadas.

Número de hojas por planta (NH): se contó el número total de hojas activas presentes por planta muestreada en las tres repeticiones.

Diámetro del tallo (DT): se midió el diámetro del tallo a 2 cm de la superficie del suelo sobre tres plantas muestreadas (Dos Santos y Dos Santos, 2014).

Longitud de la planta (LP): se midió la distancia a partir del cuello de la raíz, hasta el último entrenudo de tres plantas muestreadas (Acevedo *et al.*, 2010).

Área foliar (AF): se realizaron muestreos destructivos en tres plantas y se aplicó el método de relación peso/área o de sacabocado para hallar área foliar en cada unidad experimental (Marani y Levi, 1973).

Índice de área foliar (IAF): se utilizará la metodología indirecta descrita por Melgarejo *et al.* (2010), con la relación entre el área foliar y el área de suelo sobre las tres plantas de las líneas 2, 4, 6, 16, 18 y 20 para cada unidad experimental, Correspondiente a un muestreo cada 10 días por línea DDR.

Biomasa de la planta (MS): se determinó el peso fresco de cada uno de los órganos de la planta (tallo y hojas) mediante muestreo destructivo, tomando como muestra la totalidad de cada órgano, en tres plantas muestreadas por cada unidad experimental. Las muestras se llevaron a estufa de secado a 70°C, hasta alcanzar peso constante (Andrade *et al.*, 2009).

Análisis de la información

Para cada variable se realizó análisis de varianza y pruebas de Tukey, para comparación de medias, con un nivel de significancia del 5%. Adicionalmente, se estimaron modelos de regresión para las variables de análisis de crecimiento medidas durante el ciclo del cultivo. Los análisis estadísticos se realizaron con el software SAS versión 9.1.

Resultados y discusión

Condiciones ambientales

El ciclo del cultivo comprendió 60 DDR, para el cual se registró una precipitación acumulada de 324 mm, estando levemente por encima de los 300 mm, el cual es el mínimo requerido que necesita el cultivo para producir satisfactoriamente, siendo este bien distribuido durante el ciclo (Oliveira, 2013).

En la figura 8.1 se observa que los primeros 30 DDR las plantas estuvieron expuestas a 75 mm de precipitación, lo cual representa el 23,1% de la disponibilidad de agua en todo el ciclo del cultivo. Así mismo

Crecimiento, desarrollo y rendimiento productivo del frijol caupí (*vigna unguiculata* (L.) Walp.) en respuesta a dos distancias entre hileras, tres distancias entre plantas y uso de hidrogel en el departamento de Sucre

se observa que el 55,6% de la precipitación se registró entre los 30 y 50 DDR que hace referencia a las etapas más críticas del cultivo, pre-floración, floración y llenado de vainas (Aboamera, 2010; Gonçalves *et al.*, 2017), que corresponde a 180 mm.

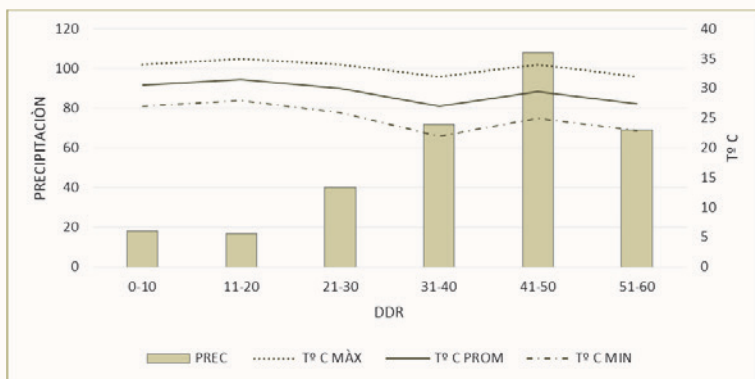


Figura 8.1. Condiciones ambientales predominantes en la zona durante el ciclo del cultivo de caupí.

PREC: precipitación mensual en mm; **T °C MAX:** promedio de temperatura máxima; **T °C PROM:** temperatura media; **T °C MIN** promedio de temperatura mínima.

Por otro lado, la temperatura máxima varió entre 32 y 35 °C, mientras que la temperatura mínima se mantuvo entre los 22 y los 28 °C, para una media de temperaturas que osciló alrededor de 29°C (Figura 2.1); condiciones ambientales correspondientes las del bosque seco tropical del municipio de Sincelejo (Quessep, 2016).

Respuesta fisiológica del cultivo de caupí

Para evaluar el crecimiento y desarrollo del caupí se tuvieron en cuenta los periodos más críticos que corresponden a pre-floración (30 DDR), floración (40 DDR) y llenado de vainas (50 DDR) (Aboamera, 2010; Chiquillo, 2017). Para ello se realizó un análisis de varianza, el cual se muestra en la Tabla 8.3 y así también una comparación de medias por prueba de Tukey ($p < 0.05$) (Tabla 8.4)

Tabla 8.3

Cuadrados medios del análisis de varianza para las variables número de hojas (NH), Longitud de la planta (LP), diámetro de tallo (DT), área foliar (AF), índice de área foliar (IAF), materia seca de hojas (MSH) y materia seca de tallo (MST) durante el ciclo del cultivo

DDR		NH	LP	DT	AF	IAF	MSH	MST
30	MODELO	353,39*	142,39*	1,33	4405765,5**	1,01*	35,07**	55,06*
	DH	880,11	15,38	0,39	105571,58	10,94	8,39	16,56
	DP	2390,33**	798,41*	9,32**	46844993,14**	4,85**	372,97**	420,19**
	HR	327,97	1,35	0,001	156173,82	0,02	1,24	0,01
	DH*DP	102,08	193,32	0,91	283216,54	0,24	2,25	36,53
	DH*HR	41,47	18,39	1,01	90087,02	0,02	0,72	0,82
	DP*HR	248,77	46,18	1,86	61426,65	0,01	0,49	12,10
	DH*- DP*HR	39,19	14,77	0,18	23185,12	0,01	0,18	2,60
	ERROR	115,61	50,69	0,55	584083,40	0,32	4,65	17,89
	MEDIA	83,63	111,38	11,98	8852,54	4,42	24,98	27,36
	CV	12,86	6,39	6,21	8,63	12,73	8,63	15,46
40	MODELO	27,24*	437,09	2,45	2360719,61**	0,90**	18,79	104,33
	DH	14,28	640,26	1,97	2240360,35	3,34	17,84	175,96
	DP	191,45**	3377,38*	15,38**	11517100,01*	4,76**	91,67*	3,85*
	HR	11,84	7,08	1,48	1829436,59	0,27	14,57	5,84
	DH*DP	4,13	198,86	0,17	426662,53	0,04	3,41	544,05**
	DH*HR	0,92	15,55	0,12	1073178,59	0,19	8,54	0,74
	DP*HR	9,51	4,49	0,06	1771914,89	0,31	14,1	13,39
	DH*- DP*HR	23,27	5,52	0,52	1028523,51	0,20	8,17	5,20
	ERROR	7,41	175,37	0,89	412448,91	0,16	3,28	45,17
	MEDIA	32,89	191,12	12,82	6311,69	3,19	17,81	33,33
	CV	8,27	13,24	7,37	10,18	12,58	10,16	20,17

Crecimiento, desarrollo y rendimiento productivo del frijol caupí (*vigna unguiculata* (L.) Walp.) en respuesta a dos distancias entre hileras, tres distancias entre plantas y uso de hidroquel en el departamento de Sucre

DDR		NH	LP	DT	AF	IAF	MSH	MST
50	MODELO	72,25**	336,84	1,84	4690628,2*	0,41	31,63*	91,37**
	DH	0,98	212,14	16,90*	22365947,44	0,13	109,59	98,1
	DP	519,07*	1878,50*	6,44*	24113723,63**	0,08	137,21*	756,51**
	HR	47,1	0,48	0,07	541938,91	0,09	5,34	16,01
	DH*DP	25,39	26,24	1,27	1874514,14	2,99*	10,39	25,32
	DH*HR	1,68	9,51	0,21	343851,28	0,02	3,37	8,71
	DP*HR	30,83	5,06	0,06	577288,87	0,01	5,89	14,14
	DH*- DP*HR	8,44	2,35	0,69	384718,49	0,02	3,89	3,07
	ERROR	18,50	138,87	0,80	1050474,3	0,22	9,72	11,77
	MEDIA	19,71	164,92	12,87	4896,81	2,41	15,45	34,97
	CV	21,82	7,14	6,98	20,94	19,30	20,18	9,81

DH: Efecto principal del factor distancia entre hileras; DP: Efecto principal del factor distancia entre plantas; HR: Efecto principal del factor Hidro-retenedor; efecto de interacción de los factores (DH*DP; DH*HR; DP*HR y DH*DP*HR); CV: coeficiente de variación; *: Efecto significativo al 5%; **: Efecto significativo al 1%.

Tabla 8.4

Valores medios para número de hojas por planta (NH), longitud de la planta (LP), diámetro del tallo (DT), área foliar (AF) e índice de área foliar (IAF), para las diferentes distancias de siembra entre plantas (DP)

DDR	DP (m)	NH	LP (cm)	DT (mm)	AF (cm ²)	IAF
30	0,20	69,91 c	103,19 b	11,04 b	7072,40 c	5,15 a
	0,30	82,86 b	111,45 ab	12,09 a	8506,90 b	4,11 b
	0,40	98,11 a	119,50 a	12,80 a	10978,40 a	4,00 b
40	0,20	28,81 b	173,43 b	11,74 b	5397,60 b	3,89 a
	0,30	33,08 a	193,12 a	12,74 b	6191,70 ab	2,99 b
	0,40	36,79 a	206,80 a	13,99 a	7345,8 a	2,68 b

DDR	DP (m)	NH	LP (cm)	DT (mm)	AF (cm ²)	IAF
50	0,20	13,19 c	153,81 b	12,22 b	3709,00 b	2,50 a
	0,30	19,60 b	162,47 ab	12,72 b	4515,40 b	2,42 a
	0,40	26,34 a	178,47 a	13,66 a	6466,10 a	2,33 a

Medias con igual letra en cada columna para un mismo DDR no difieren estadísticamente según prueba de Tukey ($p < 0.05$). DDR: días después del raleo

Nota: elaboración propia

Número de hojas (NH)

Para esta variable se presentó efecto principal del factor distancia entre plantas, siendo altamente significativo para 30 y 40 DDR y significativo para 50 DDR como se observa en la Tabla 8.3. En la Tabla 8.4 se evidencia que los mayores valores se presentaron con 0,40 m de distancia entre plantas para 30 DDR con un 15,5% y 28,7% mayor respecto a las medias de 0,30 m y 0,2 m entre plantas respectivamente y para 50 DDR con un 49,9% y 25,5% para 0,30 m y 0,20 m entre plantas. En cuanto a los 40 DDR la media de NH para 0,2 m representó el 82,5% del promedio de las medias para 0,40 m y 0,30 m.

Los registros presentaron una tendencia a disminuir el número de hojas a medida que se disminuía la distancia entre plantas, a mayor distancia hay menor competencia de las plantas por luz, agua y nutrientes induciéndose a una menor competencia intraespecífica (Wade & Douglas, 1990; Degu & Tesafeye, 2016; Guillén *et al.*, 2016). Similares resultados obtuvieron Malami & Sama'ila (2012) en frijol caupí y Mureithi *et al.* (2012) en frijol común (*Phaseolus vulgaris* L), en los cuales encontraron diferencias significativas del NH al reducir la distancia entre plantas, siendo menor dicho número a medida que se reducía la separación entre plantas. Adigun *et al.* (2014) no reportaron efecto de tres distancias entre hileras (60 cm, 75 cm y 90 cm) en el número de hoja de frijol antes ni después de la novena semana de haber sido sembrado, al igual que este estudio se observa en la Tabla 3.3 que no se encontraron diferencias significativas

Crecimiento, desarrollo y rendimiento productivo del frijol caupí (*vigna unguiculata* (L.) Walp.) en respuesta a dos distancias entre hileras, tres distancias entre plantas y uso de hidrogeles en el departamento de Sucre

para distancia entre hileras a los 30, 40 y 50 DDR, lo cual indica que dicho factor principal no tuvo efecto en el NH de la planta de frijol caupí objeto del presente estudio.

Durante el cambio de fase vegetativa a reproductiva la planta comienza a crecer indeterminadamente en forma postrada, haciendo que las hojas tengan mayor contacto con el suelo, a los 30 DDR se presenta los mayores valores de NH (Tabla 8.4). La tendencia en el tiempo muestra una reducción en el número de hojas a medida que pasa de la etapa de pre-floración al llenado de vainas, lo cual puede estar relacionado posiblemente con factores como el autosombreamiento de hojas, en virtud de que, a mayor follaje, necesariamente la planta ha de sufrir mayor autosombreamiento y mayor caída de hojas (Barraza *et al*, 2004). Al respecto, Charles-Edwards *et al.* (1986) comentan que la contribución de las hojas sombreadas a la planta puede ser lenta, sin importancia o nula.

No se presentaron diferencias significativas para ninguna de las interacciones, ni tampoco para la aplicación dosis de hidro-retenedor (0 y 5 g planta⁻¹) (Tabla 8.3), iguales resultados encontró Pincay (2016) para el número de hojas, donde evaluó cuatro dosis de hidro-retenedor en el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.). Por otro lado, Bello (2005) encontró diferencias significativas para NH en cebolla (*Allium cepa* L) con dos dosis de hidro-retenedor a los 21 días después de la siembra (DDS), pero no registró diferencias a los 28 y 35 DDS.

Longitud de plantas (LP)

Referente a esta variable se presentaron diferencias significativas a los 30, 40 y 50 DDR solo por el efecto de la distancia entre plantas (Tabla 8.3). Las medias de la distancia 0,40 m y 0,30 m entre plantas no mostraron diferencias significativas entre ellas para los tres periodos, sin embargo la distancia 0,40 m es la que registra los mayores valores de las medias en los tres periodos, difiriendo estadísticamente de 0,20 m, siendo su media superior en 13,6%, 16,1% y 13,8% para 30, 40 y 50 DDR respectivamente, de acuerdo con los resultados obtenidos por El Naim & Jabereldar (2010), quienes evaluaron 4 arreglos en el cultivo de caupí, encontrando que un aumento en la población de plantación puede aumentar notable y significativamente la LP.

Generalmente el aumento en el número de plantas por unidad de área, aumenta la competencia entre las plantas por la humedad del suelo, los nutrientes, la luz y el dióxido de carbono (El Naim *et al.*, 2012), las plantas más espaciadas quedan expuestas a una mayor incidencia de radiación solar, es decir, quedan sometidas a un mayor efecto de la intensidad lumínica sobre el dosel (Pérez *et al.*, 2006), lo que genera menores tasas de respiración incrementando la fotosíntesis neta debido a una mayor conductancia estomática (Páez *et al.*, 2000), lo cual origina mayor crecimiento en las plantas (Favaro & Pilatti, 1994).

En contraste con esto, otros investigadores indicaron que la altura de la planta aumentó significativamente con el aumento de la densidad de la planta, reduciendo el espacio entre ellas, principalmente debido a la menor cantidad de luz interceptada por una sola planta, generando una mayor longitud entre nodos (Parvez *et al.*, 1989; Singh & Singh, 2002). Así también en un experimento de espaciamiento en frijol común se observó que el aumento de la distancia entre plantas condujo a disminución significativa en la altura de las mismas (Alemayehu & Boki, 2015)

Para la longitud de la planta no se presentaron diferencias significativas por efecto de las interacciones en ninguno de los tres períodos y tampoco por el efecto del factor distancia entre hileras ni por el factor dosis de hidroretenedor en los tres periodos. Varias investigaciones arrojan similares resultados en cuanto a la respuesta no significativa en altura de la planta por efecto de las distancias entre hileras en caupí (Mohammed, 1984; El Naim *et al.*, 2010) en la soja (Tourino *et al.*, 2002), en *Hibiscus sabdariffa* L. (Degu & Tesfaye, 2016).

Por otro lado, Pedroza *et al.* (2015) reportan efecto la altura de maíz forrajero (*Zea mays* L.) en diferentes dosis de hidrogel (0, 12,5 y 25 kg ha⁻¹) para cada periodo evaluado (30, 52, 74 y 96 días después de la siembra).

Diámetro de tallo (DT)

En cuanto al efecto sobre la variable diámetro de tallo se presentan diferencias altamente significativas por el factor distancia entre plantas a los 30 y 40 DDR, y significativas a los 50 DDR, así mismo se presentan diferencias significativas para esta variable por parte del factor distancia entre hileras para este último período (Tabla 8.3). Se observan mayores

medias de DT para 0,40 m entre plantas en los tres períodos, los promedios de las medias del diámetro de tallo para 0,20 y 0,30 m entre plantas a los 40 y 50 DDR representan el 87,5% y 91.3% de la media del DT a 0,40 m entre plantas en los dos periodos respectivamente (Tabla 8.4).

En este estudio se observa que al aumentar la separación entre plantas tiende a aumentar también el diámetro de la planta, así mismo sucede con respecto al tiempo, ya que pasa de un diámetro menor a uno mayor entre los 30 y 50 DDR. El diámetro está muy influenciado por el medioambiente el cual puede inducir un comportamiento en particular y diferente según el genotipo evaluado (White, 1985).

En gráfica 8.2 se evidencia diferencias estadísticas significativas para distancias entre hileras, donde la media de 0,80 m supera en un 10,1% a la de 0,60 m. Resultados diferentes fueron obtenidos por Andrades y Loaisiga (2015) en un estudio de tres distancias de siembra entre surcos en tomate, en el cual no se registraron diferencias significativas. Resultados contrastantes encontraron Palacios et al. (2006) Al evaluar 4 distancias entre plantas encontraron diferencias significativas entre ellas para el cultivo de caupí rojo con tendencia a aumentar a medida que se reducía la distancia ente plantas. Moreu i Guix (1995) afirma que generalmente el diámetro es menor cuando la distancia entre hileras disminuye, y esto debido a que la densidad poblacional aumenta, y por ende la competencia entre plantas también.

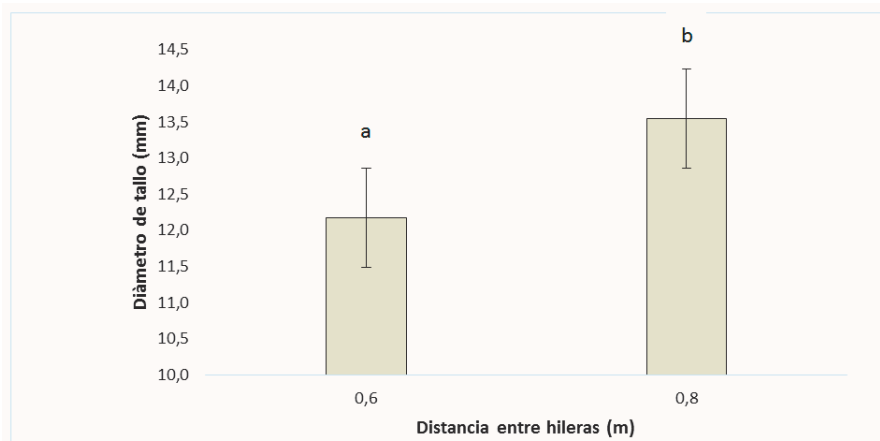


Figura 8.2 Efecto de la distancia entre hileras sobre el diámetro de tallo del frijol caupí (*Vigna unguiculata* L. Walp). Distintas letras, según Tuckey, difieren significativamente, $P \leq 0,05$.

No se presentaron diferencias significativas por efecto de las interacciones en ninguno de los tres períodos ni tampoco por el efecto de dosis de hidrogel para el diámetro de tallo. Cabe anotar que el cultivo tuvo disponibilidad de agua (324 mm) entre el rango mínimo para desarrollarse fisiológicamente, por lo cual el efecto del hidrogel pudo haber sido inhibido, debido a que la planta no estuvo sometida a largos períodos de sequía (Figura 8.1).

Área Foliar (AF)

El factor distancia entre las plantas tuvo efecto significativo en el área foliar a los 40 DDR y altamente significativo a los 30 y 50 DDR (Tabla 8.3). En la Tabla 8.4 se observa que se mantiene la tendencia de las variables anteriormente tratadas las cuales registran los mayores valores para los 0,40 m de distancia entre plantas para cada muestreo, concordando con lo informado por Mureithi *et al.* (2012) en frijol común (*Phaseolus vulgaris* L) y Degu & Tesfaye (2016) en *Hibiscus sabdariffa* L. donde evidenciaron efecto significativo entre el factor distancia entre plantas y AF, con una tendencia a aumentar la media de dicha variable a medida que se incrementa el espacio de siembra entre ellas, siendo que Degu & Tesfaye no hallaron efecto significativo para dos distancias entre hileras y AF, lo cual concuerda con lo encontrado en el presente estudio en caupí (Tabla 8.3) en el que no se presentó efecto significativo en la distancia entre las hileras y AF en los tres muestreos.

En la Tabla 8.4 se presenta que la media de AF para 0,40 m es mayor en un 35,6% que la media de 0,20 m entre plantas a los 30 DDR, y a su vez mayor en un 36,4% que el promedio de las medias de área foliar para 0,30 m y 0,20 m a los 50 DDR. Se observa también que AF tiende a disminuir en el tiempo al igual que NH. Al mismo tiempo, se muestra que los mayores valores de NH y AF coinciden (etapa de pre-floración), teniendo en cuenta que el área foliar depende del número de hojas, de su velocidad de crecimiento y de su tamaño final (Barraza, 2000). Posiblemente, considerando lo reportado por Rodríguez (2000), en las distancias de siembra más reducidas, con altas densidades de población, las raíces y el follaje de las plantas compitieron con sus vecinas por los recursos aprovechables (agua, nutrientes y radiación) para los diferentes

Crecimiento, desarrollo y rendimiento productivo del frijol caupí (*vigna unguiculata* (L.) Walp.) en respuesta a dos distancias entre hileras, tres distancias entre plantas y uso de hidrogel en el departamento de Sucre

procesos de desarrollo. Al incrementar la densidad de población se eleva la demanda por dichos recursos.

No se presentaron diferencias significativas por efecto de las interacciones en ninguno de los tres períodos ni tampoco por el efecto de dosis de hidro-retenedor para el área foliar del caupí (Tabla 8.3), similar a los resultados de Gutiérrez (1998) en plantas de chile serrano, donde se aplicaron tres dosis de hidro-retenedor las cuales no tuvieron efecto significativo estadísticamente sobre el área foliar de las plantas y contrario con Ruqin *et al.* (2015) donde si hubo un efecto positivo y significativo con el aumento en la dosis de hidro-retenedor en el diámetro de tallo de la espinaca.

Índice de área foliar (IAF)

Para los 30 y 40 DDR se presentó efecto altamente significativo de la distancia entre plantas sobre el índice de área foliar del caupí (Tabla 8.3). La tabla 8.4 muestra que los mayores IAF se presentaron para la distancia entre siembra más estrecha (0,20m), siendo su media mayor que el promedio de las medias de IAF para 0,30 m y 0,40 m en un 21,3% y 27,1% a los 30 y 40 DDR respectivamente. Los valores encontrados en este estudio para esta variable (Tabla 8.4) están dentro del rango normal para frijol caupí (Larcher, 2004; Bastos *et al.*, 2002; Nascimento *et al.*, 2011).

Se observa la tendencia a disminuir en el tiempo; el número de hojas, área foliar y por ende índice de área foliar (Tabla 8.4), una posible explicación, según lo afirmado por Barraza (2000) y Acosta *et al.* (2008), sería que al avanzar el ciclo productivo las hojas inferiores del dosel entraron en senescencia (también por autosombreamiento ya que a los 30 DDR se presenta mayor valor de las variables antes mencionadas) y no fueron ganando peso en vista de que se convirtieron en fuentes que atendían la demanda de fotoasimilados que requerían las flores para su desarrollo (40 DDR) y posterior llenado de vainas (a los 50 DDR) en donde no se registró efecto simple del factor distancia entre plantas.

El Naim *et al.* (2012) y El Naim & Jabereldar (2010) reportan que el IAF tiende a disminuir a medida que aumenta la densidad de plantas del caupí.

No se presentaron efectos del Hidro-retenedor sobre el índice del área foliar, al igual que sucedió con el número de hojas y el área foliar, variables que están estrechamente relacionadas (Barraza, 2000). Resultados similares a los encontrados por Koupai *et al.* (2008) en *Ligustrum ovalifolium* y diferentes con encontrados en soja (Yazdani *et al.*, 2007) donde hubo un efecto positivo significativo entre el área foliar y el aumento en las dosis de hidro-retenedor.

Materia Seca de Hojas (MSH)

La distancia entre plantas tuvo efecto altamente significativo sobre la materia seca de las hojas a los 30 DDR, en cuanto a los 40 y 50 DDR el efecto fue significativo (Tabla 8.3.), lo cual indica que la variación en la distancia entre plantas influye directamente en la producción de MSH, en la figura 8.3, se observa que el efecto es positivo. También se evidencia que la mayor producción de MSH se obtiene a 0,40 m entre plantas a los 30 DDR, donde su media supera en un 22,5 % y 35,6% la media de los 0,30 m y 0, 20 m entre plantas respectivamente. Por otro lado, para los 40 y 50 DDR, la media de MSH producida en la distancia de 0,30 m (17,47gr y 14,33 gr) entre plantas es igual estadísticamente a la producida para los otros niveles del mismo factor.

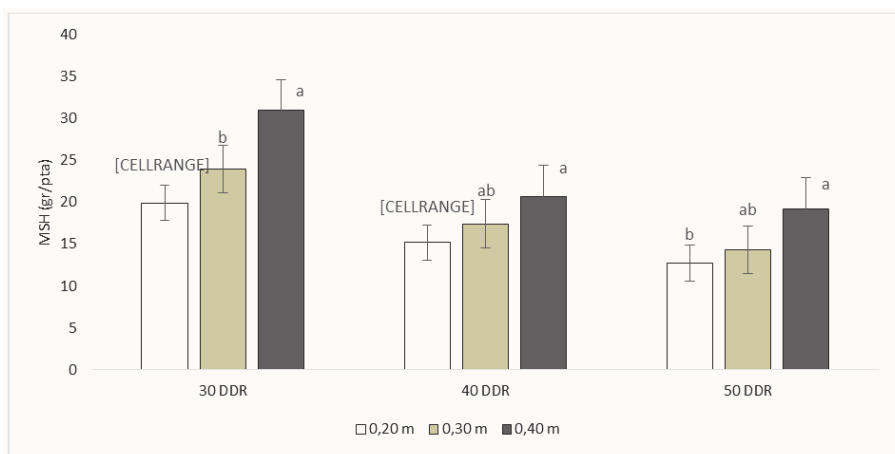


Figura 7.3 Efecto de la distancia entre plantas sobre Materia seca de la hoja por planta de caupí (*Vigna unguiculata* L. Walp). Distintas letras, según Tuckey, difieren significativamente, $P \leq 0,05$.

Crecimiento, desarrollo y rendimiento productivo del frijol caupí (*vigna unguiculata* (L.) Walp.) en respuesta a dos distancias entre hileras, tres distancias entre plantas y uso de hidrogel en el departamento de Sucre

La MSH muestra una tendencia similar en el tiempo igual al número de hojas y área foliar del caupí (Tabla 7.4) siendo esta menor al pasar de la etapa de pre-floración a floración y de floración al llenado de granos, la MSH tiende a disminuir ya que la producción de fotoasimilados tiene mayor demanda en la vaina y grano de la planta (Acosta *et al.*, 2008). Así también se observó que el número de hojas y el área foliar aumentaban a medida que se incrementaba la distancia entre plantas y esto se reflejó en la MSH que tuvo el mismo comportamiento (tabla 7.4 y figura 7.3).

Harper (1977) quien indicó que las leguminosas responden en parte a la densidad mediante la reducción de algunas partes de la planta; hojas, ramas, flores, frutos e incluso raíces. Añadió que dicha estructura poblacional de una planta individual le permite responder al estrés variando la tasa de natalidad y la tasa de muerte de sus partes. Dhanjal *et al.* (2001) y Mozumder *et al.* (2003) también atribuyeron la mayor tasa de crecimiento en plantas escasamente pobladas a una menor competencia por el espacio, los nutrientes, la humedad y la luz.

Por otro lado, Balbinot *et al.* (2015) evidenció que la MSH aumentó al reducir el espacio entre plantas de soja, así también que la masa seca de la parte aérea presentó diferencias significativas a los 45 días después de la siembra y sin diferencias significativas a los 90 días después de la siembra para el Cultivar NK7059 RR

No se presentó efecto significativo de las interacciones de los factores ni de los factores simples: distancia entre hileras e hidro-retenedor en la producción de MSH. Rodríguez *et al.* (2017) encontró que el aumento de dosis de hidro-retenedor afectó significativamente la masa seca de hoja de frijol común en la etapa de floración y llenado de grano, así también Islam *et al.* (2011) encontró el mismo resultado en avena para dosis de hidro-retenedor, todo esto en desacuerdo con lo encontrado en el presente estudio. El suministro adecuado de agua para la cultura es uno de los principales factores para garantizar una buena producción de materia seca (MS) o biomasa, ya que la escasez o el exceso de agua afectan directamente al desarrollo de las hojas (Freire *et al.*, 2005), en este ensayo el cultivo de caupí tuvo disponible entre los 30 y 50 DDR, el 55,6% de la precipitación se registró en todo el ciclo del cultivo (324 mm), para el cual no estuvo sometido a largos periodos de sequía (Figura 7.1).

Materia Seca de Tallos (MST)

Para esta variable se registra un efecto altamente significativo del factor distancia entre plantas sobre MST para los periodos 30 y 50 DDR (Tabla 8.3), para los cuales la mayor media se presenta en la distancia entre planta más amplia (0,40 m) siendo superior al promedio de las medias de MST para 0,20 m y 0,30 m en un 28,3% y 29,4% para los periodos antes mencionados respectivamente (Figura 8.4).

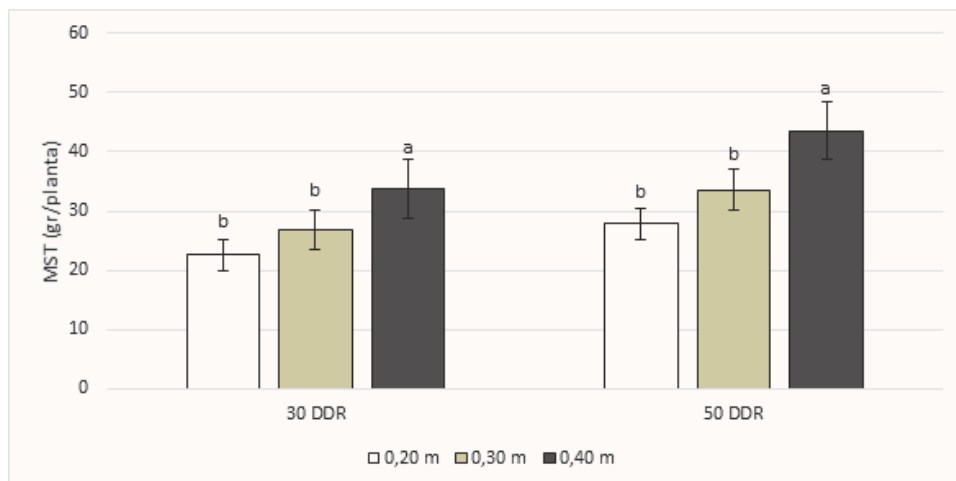


Figura 8.4 Efecto de la distancia entre plantas sobre Materia seca del tallo por planta de caupí (*Vigna unguiculata* L. Walp). Distintas letras, según Tuckey, difieren significativamente, $P \leq 0,05$.

Arf *et al.* (1996) verificaron que el aumento del número de plantas por metro lineal (8, 12 y 16 plantas $\cdot$ m⁻¹) ocasionó reducción en la producción de materia seca de las plantas de frijol común, siendo el mayor valor encontrado en la distribución de 16 plantas m⁻¹, y que los espaciamientos entre plantas no influenciaron en la productividad del cultivo. En cuanto al frijol caupí se observa que la masa total de la parte aérea de la planta disminuye en el tiempo porque el leve aumento en la MST no supera la pérdida de MSH en el tiempo (Figura 8.3 y Figura 8.4). Así mismo, no se presentan diferencias significativas para el efecto distancia entre hileras, aunque si se presenta efecto de la interacción de los factores simples, distancia entre hileras y distancia entre plantas (Tabla 8.3)

La población y el espaciamiento entre plantas interfieren en la cantidad de agua, luz y nutrientes utilizados por el cultivo, influyendo en

cambios morfológicos como altura de las plantas y ramificaciones formadas que influyen en la producción de MST (Balbinot *et al.*, 2015), existiendo en este estudio una tendencia para las variables longitud de la planta y MST: y es que las dos presentan mayores medias a medida que aumenta la separación entre plantas (Tabla 8.4 y Figura 8.4)

En cuanto al muestreo a los 40 DDR se presentó interacción altamente significativa entre los factores simples distancia entre hileras y distancia entre plantas, como se observa en la Tabla 8.4.

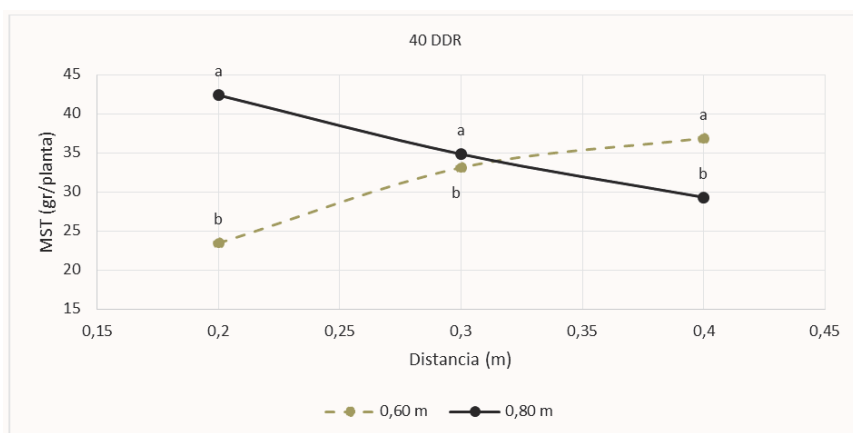


Figura 8.5 Efecto de la interacción de los factores: distancia entre hileras y distancia entre plantas sobre Materia seca del tallo de la planta de caupí (*Vigna unguiculata* L. Walp). Distintas letras en la misma curva, según Tuckey, difieren significativamente ($P \leq 0,05$).

En la Figura 8.5 se observa que, a los 40 DDR, para una distancia entre hileras de 0,80 m la MST tiende a disminuir al aumentar la separación entre plantas, siendo 0,20 m la que presenta menor valor representando el 75,3% del promedio de la MST de 0,30 y 0,40 m, también se observa que para la 0,60 m de distancia entre hileras el comportamiento es opuesto, ya que esta aumenta significativamente el contenido de MST a medida que se aumenta la distancia entre plantas, siendo 0,40 m la que presenta mayor valor, en el que el promedio de la media de 0,30 y 0,20 m representan el 75,7% de la MST a los 0,40 m entre plantas. Blank *et al.* (2012), reportan

que el mayor contenido de MST, en *Pelargonium graveolens*, lo obtenían a medida que incrementaban la distancia entre hileras.

Conclusiones

El crecimiento general del frijol caupí no fue afectado por la aplicación de hidro-retenedor ni por la distancia entre hileras, caso contrario al factor distancia entre plantas el cual influenció dicho crecimiento en la planta, existiendo una relación positiva entre el aumento de la separación entre plantas y las variables de crecimiento: longitud de plantas, diámetro de tallo, número de hojas y área foliar, siendo 0,40 m entre plantas la distancia que registró las mayores medias para cada periodo muestreado (30, 40 y 50 DDR). Se registró también que las variables número de hojas y área foliar, disminuyeron en el tiempo.

El contenido de materia seca, para hoja y tallo, fue influenciado de manera general por las distancias entre plantas, registrando los mayores valores a 0,40 m entre plantas, excepto la masa materia de tallo a los 40 DDR la cual presentó interacción entre los factores simples: distancia entre hileras y distancia entre plantas, teniéndose la mayor producción a los 0,80 m entre hileras para una distancia entre plantas de 0,20 m y a los 0,60 m entre hileras para una distancia entre plantas de 0,40 m. No hubo efecto del hidro-retenedor sobre el contenido de materia seca de tallo.

El mayor índice de área foliar se registró en las plantas distanciadas a 0,20 m entre ellas para cada muestreo. Se registró una tendencia a disminuir los valores de índice de área foliar en el tiempo, siguiendo la misma tendencia del número de hojas y del área foliar.

Referencias

- Aboamera, M. A. (2010). Response of cowpea to water deficit under semi-portable sprinkler irrigation system. *Misr J. Ag. Eng*, 27(1): 170-190.
- Acevedo, H.D. J., Chavez, J.J., & Blanco, M. A. (2010). *Comportamiento de cinco variedades de frijol comun (Phaseolus vulgaris L.) y una de caupi (Vigna unguiculata L. Walpers), fertilizadas con vermicom-*

Crecimiento, desarrollo y rendimiento productivo del frijol caupí (*vigna unguiculata* (L.) Walp.) en respuesta a dos distancias entre hileras, tres distancias entre plantas y uso de hidrogeles en el departamento de Sucre

- post en la época de postrera, Diriamba, Carazo, 2008* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Agraria, Managua, Nicaragua.
- Acosta Díaz, E., Acosta Gallegos, J. A., Ramírez, A., Domingo, M., & Padilla Ramírez, J. S. (2008). Relación entre índice de área foliar y rendimiento en frijol bajo condiciones de secano. *Agricultura técnica en México*, 34(1), 13-20.
- Adigun, J., Osipitan, A. O., Lagoke, S. T., Adeyemi, R. O., & Afolami, S. O. (2014). Growth and yield performance of cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) as influenced by row-spacing and period of weed interference in South-West Nigeria. *Journal of Agricultural Science*, 6(4), 188.
- AGRONET. (2017). Base de datos estadísticos del MADR. Disponible en: <http://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/default.aspx>. Revisado: 07/11/2018.
- Aguilar-García, L., Escalante-Estrada, J. A., Fucikovsky-Zak, L., Tijerina-Chávez, L., & Mark-Engleman, E. (2005). Área foliar, tasa de asimilación neta, rendimiento y densidad de población en girasol. *Terra Latinoam*, 23, 303-310.
- Alemayehu, Y., & Boki, M. K. A. (s.f). Effect of Intra-Row Spacing on Haricot Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Production in humid Tropics of Southern Ethiopia. *Journal of Natural Sciences Research*, 15(5), 79-84
- Andrades, D. D., y Loaisiga, F. A. (2015). Evaluación del crecimiento y rendimiento del cultivo de tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill) variedad Shanty en tres distancias de siembra, en condiciones de casa malla, finca Las Mercedes, UNA, Managua, 2013 (Tesis doctoral, Universidad Nacional Agraria).
- Andrade, C.A.B.; Scapim, C.A.; Braccini, A.L. & Martorelli, D.T. (2009) Produtividade, crescimento e partição de matéria seca em duas cultivares de feijão. *Acta Scientiarum Agronomy*, 31(4): 683-688.
- Balbinot, A., Oliveira, S., Debiasi, H. & Franchini, J. (2015). Densidade de plantas na cultura da soja, embrapa soja, Londrina, Brasil. Disponible en: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/133156/1/doc364.pdf>

- Barraza, F.V., (2000). Crecimiento del Chile Manzano (*Capsicum pubescens* R. y P.) en cuatro soluciones nutritivas bajo invernadero. Tesis de Maestro en Ciencias en Horticultura. Universidad Autónoma de Chapingo, México.
- Barraza, F. V., Gerhard, F., & Cardona, C. E. (2004). Estudio del proceso de crecimiento del cultivo del tomate. *Agronomía Colombiana*, 22(1), 81-90.
- Bastos, E. A.; Rodrigues, B. H. N.; Andrade, A. S.; Cardoso, M. J. (2002). Parâmetros de crescimento do feijão caupi sob diferentes regimes hídricos. *Engenharia Agrícola, Jaboticabal*, 22(1) p. 43-50.
- Blank, A. F., Silva, A. D. C., Arrigoni-Blank, M. D. F., Santos, W. M. D., & Santana, A. D. D. D. (2012). Espaçamento de plantio e intervalos de colheita na biomassa e no óleo essencial de gerânio.
- Bello, R. (2005). Densidad de siembra en bandejas y la adición de hidrogel en la producción de plántulas de cebolla. Trabajo presentado como requisito para optar al título de ingeniero agrónomo, Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado. Disponible en: http://www.horticulturatropical.org/tecnologias-hortícolas/item/download/28_f54b2475767f346261b8c52d6c5c15b1
- Bradshaw, A. D. (1965). Evolutionary significance of phenotypic plasticity in plants. In *Advances in genetics* (Vol. 13, pp. 115-155). Academic Press.
- Chavarría, J. R. (2013). Efecto del Etefón en el desarrollo, floración, y calidad del fruto de la piña MD2 *Ananas comosus*, en condiciones del Valle del Cauca. Trabajo presentado como requisito parcial para optar al título de Magister en Ciencias Agraria, Universidad Nacional de Colombia. Disponible en: <http://www.bdigital.unal.edu.co/12733/1/7311007.2013.pdf>
- Chiquillo, S. (2017). Producción y comercialización de frijol caupí (*Vigna unguiculata*) tecnificado como modelo demostrativo en el municipio de Guaranda Sucre. Trabajo presentado como requisito parcial para optar al título de ingeniero agrónomo, Universidad de La Salle. Disponible en: http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/21326/46132057_2017.pdf
- Charles-Edwards, D.A.; D. Doley & G. Rimmington., (1986). *Modelling plant growth and development*. Academic Press, Australia. 235 p

Crecimiento, desarrollo y rendimiento productivo del frijol caupí (*vigna unguiculata* (L.) Walp.) en respuesta a dos distancias entre hileras, tres distancias entre plantas y uso de hidroquel en el departamento de Sucre

- Dos Santos, M.G. & Dos Santos, M.M., (2014). Desempenho agrônômico de feijão caupi em função do espaçamento e densidade de plantas cultivado nos sistemas de várzea irrigada e cerrado (tese de mestrado). Universidade Federal do Tocantins, Gurupi, Brasil.
- Dhanjal, R., Prakash, O., & Ahlawat, I. P. S., (2001). Response of French bean (*Phaseolus vulgaris*) varieties to plant density and nitrogen application. *Indian Journal of Agronomy*, 46(2), 277-281.
- Degu, B., & Tesfaye, B., (2016). Effects of inter and intra row spacing on growth, yield and yield components of Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.). *International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research*, 5(1), 260-274.
- El-Naim, A. M., Hagelsheep, A. M., Abdelmuhsin, M. S., & Abdalla, A. E., (2010). Effect of intra-row spacing on growth and yield of three cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.) varieties under rainfed. *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences*, 6(5), 623-629.
- El Naim, A. M., & Jabereldar, A. A., (2010). Effect of plant density and cultivar on growth and yield of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.). *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 4(8), 3148-3153.
- El Naim, A. M., Jabereldar, A. A., Ahmed, S. E., Ismaeil, F. M., & Ibrahim, E. A., (2012). Determination of suitable variety and plants per stand of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp) in the sandy soil, Sudan. *Advances in life Sciences*, 2(1), 1-5.
- FAO. (2016). Base de datos estadísticos de la FAO. Disponible en: <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC>. Revisado: 07/11/2018.
- Favaro, J. y Pilati, R., (1994). El cultivo de tomate en invernaderos. Disponible en: <http://fca.unl.edu.ar/intensivos/exten6.htm>. Revisado: 12-10-2005.
- Frota, K.; Soares, R. & J. Arêas, (2008). Composição química do feijão caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp), cultivar BRS-Milênio. *Ciênc. Tecnol. Aliment.*: 28(2), 470-476.
- Gonçalves, I. S., da Silva, R. R., de Oliveira, G. M., Santiago, E. J. P., & de Oliveira, V. E. A., (2017). Características fisiológicas e componentes de produção de feijão caupi sob diferentes lâminas de irrigação. *Journal of Environmental Analysis and Progress*, 2(3), 320-329.

- Guillén Trujillo, A., Palacios Espinosa, A., Zamora Salgado, S., Ortega Pérez, R., & Espinoza Villavicencio, J. L., (2016). Efecto de la competencia intraespecífica en el crecimiento y producción del yorimón (*Vigna unguiculata* L. Walp). *Interciencia*, 41(5).
- Gutiérrez, A., (1998). Efecto de tres dosis de polímero y tres dosis de fertilizante en la producción de plántula de chile serrano (*Capsicum annuum* L.) var. Tampiqueño 74 (Doctoral dissertation, Universidad Autónoma de Nuevo León).
- Harper, J., (1977). Biología de poblaciones de plantas. 1ª ed., Academic Press, Londres.
- Islam, M. R., Xue, X., Mao, S., Ren, C., Eneji, A. E., & Hu, Y., (2011). Effects of water-saving superabsorbent polymer on antioxidant enzyme activities and lipid peroxidation in oat (*Avena sativa* L.) under drought stress. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 91(4), 680-686.
- Kabas, O., Yilmaz, E., Ozmerzi, A., & Akinci, İ., (2007). Some physical and nutritional properties of cowpea seed (*Vigna sinensis* L.). *Journal of food engineering*, 79(4), 1405-1409.
- Krug, H., (1997). Environmental influences on development growth and yield. En: H.C. Wien (ed.) The physiology of vegetable crops. CABI Publishing. London, pp. 101 – 180.
- Koupai, J. A., Eslamian, S. S., & Kazemi, J. A., (2008). Enhancing the available water content in unsaturated soil zone using hydrogel, to improve plant growth indices. *Ecohydrology & Hydrobiology*, 8(1), 67-75.
- Larcher, W., (2004). Ecofisiología vegetal. São Carlos: Rima, 531 p.
- Malami, B. S., & Sama'ila, M., (2012). Effects of Inter and Intra Row Spacing on Growth Characteristics and Fodder Yield of Cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp. Var. Kanannado) in the Semi-Arid North-Western Nigeria. *Nigerian Journal of Basic and Applied Sciences*, 20(2), 125-129.
- Marani, A., & Levi, D., (1973). Effect of soil moisture during early stages of development on growth and yield of cotton plants. *Agronomy Journal*, 65(4): 637-641.

Crecimiento, desarrollo y rendimiento productivo del frijol caupí (*vigna unguiculata* (L.) Walp.) en respuesta a dos distancias entre hileras, tres distancias entre plantas y uso de hidrogel en el departamento de Sucre

- Melgarejo, L. M., Romero, M., Hernández, S., Barrera, J., Solarte, M. E., Suárez, D., & Pérez, W., (2010). *Experimentos en fisiología vegetal*. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá (Colombia).
- Mohammed, A. S. E., (1984). Growth and yield of cowpea as influenced by sowing date intra-row spacing inoculation and nitrogen fertilization. *M. Sc. (Agric.) Thesis, University of Khartoum*.
- Moreu i Guix, R., (1995). Cultivo intercalar de *vigna sinensis* con maíz en Nicaragua. Universitat de Lleida, Lleida (España). Escola Técnica Superior d'Enginyeria Agraria.
- Mozumder, S. N., Moniruzzaman, M., Islam, M. R., & Alam, S. N., (2003). Effect of planting time and spacing on the yield performance of bushbean (*Phaseolus vulgaris* L.) in the eastern hilly area of Bangladesh. *Legume Research-An International Journal*, 26(4), 242-247.
- Mureithi, D. M., Onyango, M. O. A., Jeruto, P., & Gichimu, B. M., (2012). Response of French Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) to Intra-row Spacing in Maseno Division, Kenya.
- Nafziger, E. D., (2006). Inter-and intraplant competition in corn. *Crop Management*, 5(1).
- Nascimento, S. P. D., Bastos, E. A., Araújo, E. C., Freire, F. R., & Silva, E. M. D., (2011). Tolerância ao déficit hídrico em genótipos de feijão-caupi. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 15(8), 853-860
- Oliveira, S. R. M. D., (2013). *Densidade populacional do feijão-caupi sob níveis de irrigação* (Doctoral dissertation). Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Brasil.
- Páez, A., Paz, V., y López, J., (2000). Crecimiento y respuestas fisiológicas de plantas de tomate cv. Río Grande en la época mayo-julio. Efecto del sombreado. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 17(2).
- Palacios, L., Montenegro, A., & Dalia, C., (2006). Efectos de cinco distancias y tres épocas de siembra sobre el crecimiento y rendimiento del Caupí rojo (*Vigna unguiculata* L. Walpers). Ciudad Darío, Matagalpa.
- Parvez, A. Q., Gardner, F. P., & Boote, K. J., (1989). Determinate-and indeterminate-type soybean cultivar responses to pattern, density, and planting date. *Crop Science*, 29(1), 150-157.

- Pedroza, A., Yáñez-Chávez, L. G., Sánchez-Cohen, I., & Samaniego-Gaxiola, J. A., (2015). Efecto del hidrogel y vermicomposta en la producción de maíz. *Revista fitotecnia mexicana*, 38(4), 375-381.
- Pérez de Camacaro, M., Carew, J., y Battey, N., (2005). Efecto de la densidad de plantación sobre el crecimiento vegetativo y reproductivo de la fresa CV. Elsanta. *Bioagro*, 17(1).
- Pérez, M., Báez, R. Á. M., Ayala, C. E. C., Tatis, H. A., & Robles, J., (2006). Efecto de cuatro densidades de población sobre el crecimiento del fruto de berenjena (*Solanum melongena* L.). *Temas Agrarios*, 11(2), 14-25.
- Pincay, G., (2016). Comportamiento de tres dosis de Hidratantes en el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.), en Huerto Organopónico en el Cantón Marcelino Maridueña, provincia del Guayas. Trabajo presentado como requisito parcial para optar al título de ingeniero agrónomo, Universidad Católica de Santiago de Guayaquil. Disponible en: <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/6939/1/T-UCSG-PRE-TEC-AGRONO-17.pdf>
- Quessep, J., (2016). Plan de Desarrollo Municipal 2016-2019 (PDM). Disponible en: <http://www.alcaldiadesincelejo.gov.co/Ciudadanos/ProyectosNormatividad/Plan%20de%20Desarrollo%20Municipal%202016%20-%202019.pdf>
- Rodríguez, L., (2000). Densidad de población vegetal y producción de materia seca. *Revista Comalfi*, 27(1-2), 31-38.
- Rodríguez Martínez, A. G., De la Rosa Ibarra, M. A., Rodríguez, V., Coasesor, M., Enciso, G., & Coasesor, E. L., (2017). Evaluación de un Hidrogel y Ácido Salicílico Durante el Crecimiento, Desarrollo y Rendimiento de un Cultivo de Frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) bajo Invernadero.
- Ruqin, F. A. N., Jia, L. U. O., Shaohua, Y. A. N., Yunlai, Z. H. O. U., & Zhang, Z., (2015). Effects of biochar and super absorbent polymer on substrate properties and water spinach growth. *Pedosphere*, 25(5), 737-748.
- Santos, C.A. & L.C. Santos; Rodríguez, M.A., (2007). Melhoramento Genético do Feijão Caupi na Embrapa Semi-Árido, Embrapa Semi Árido, Petrolina, Brasil. Disponible en: <http://www.agencia.cnptia>.

Crecimiento, desarrollo y rendimiento productivo del frijol caupí (*vigna unguiculata* (L.) Walp.) en respuesta a dos distancias entre hileras, tres distancias entre plantas y uso de hidrogel en el departamento de Sucre

embrapa.br/Repositorio/melhoramento.genetico.caupi1_000flv5u-tul02wyiv80kxlb36w9k8dko.pdf

- Singh, N. P., & Singh, R. A., (2002). Scientific crop production with special reference to North Eastern Hill Region. *Kalyani Pub, New Delhi*.
- Sinha, R. & A. Kawatra, A., (2003). Effect of processing on phytic acid and polyphenol contents of cowpeas [*Vigna unguiculata* (L)Walp], *Plant Foods for Human Nutrition*, 58(1), 1–8
- Tourino, M. C. C., de Rezende, P. M., & Salvador, N., (2002). Espaçamento, densidade e uniformidade de semeadura na produtividade e características agronômicas da soja. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 37(8), 1071-1077.
- Uarrota, V. G., (2010). Response of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.) to water stress and phosphorus fertilization. *J. Agron*, 9(3): 87-91.
- Wade, L. J., & Douglas, A. C. L., (1990). Effect of plant density on grain yield and yield stability of sorghum hybrids differing in maturity. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 30(2), 257-264.
- Yazdani, F., Allahdadi, I., & Akbari, G. A., (2007). Impact of superabsorbent polymer on yield and growth analysis of soybean (*Glycine max* L.) under drought stress condition. *Pak J Biol Sci*, 10(23), 4190-4196.



Edición digital
Sistema de siembra y uso eficiente de recursos
Sincelejo, Sucre, Colombia
Septiembre de 2019



PROGRAMA DE FORMACIÓN DE CAPACIDADES EN CT+I
EN EL DEPARTAMENTO DE SUCRE, CARIBE

Núcleo

Sistemas de siembra, uso del suelo, riego y uso eficiente y racional
del agua y energía