

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. eroser@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.

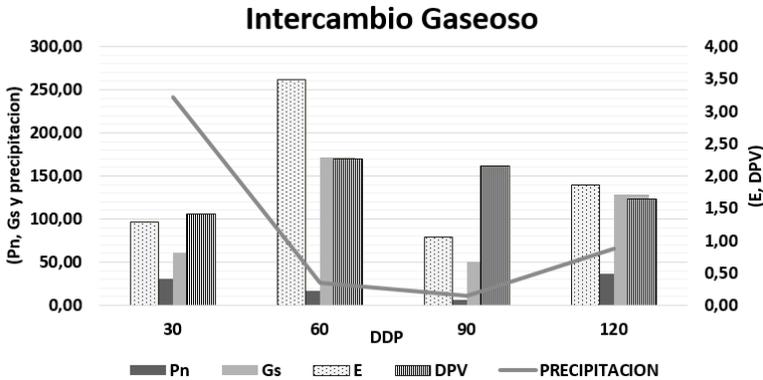


Figura 4.1. Intercambio gaseoso mensual vs. condiciones ambientales (precipitación) en el cultivo de batata.

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.

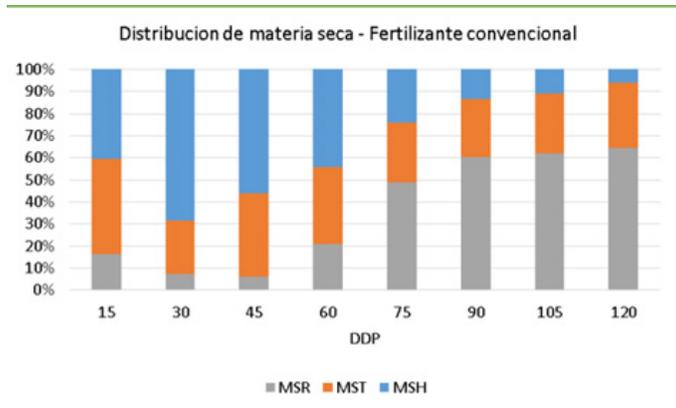
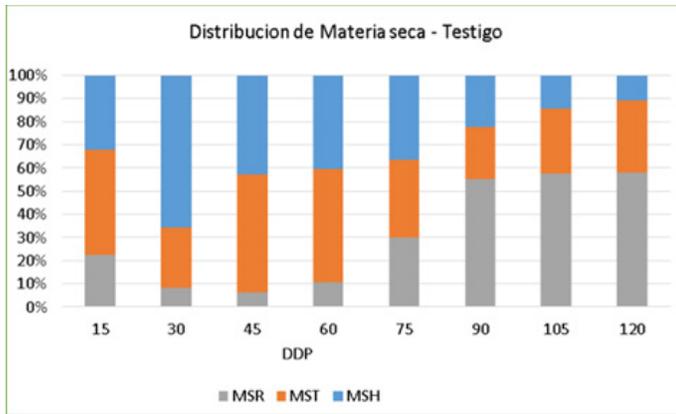
Coefficientes de variación (CV), estimadores de los diferentes contrastes y medias del análisis de varianza para materia seca en hojas (g), tallos (g) y raíces tuberosas (g) medidas cada 15 días después del prendimiento (DDP)

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.



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

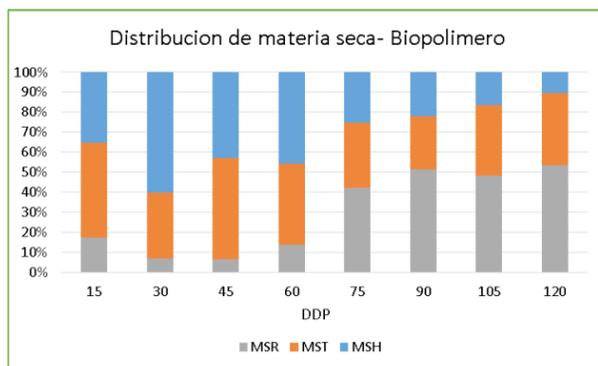


Figura 4.2. Distribución porcentual de materia seca en hojas (MSH), tallo (MST) y raíces tuberosas (MSR) del cultivo de batata medida cada 15 días después del prendimiento (DDP) hasta 120 DDP, aplicándole diferentes tipos de fertilizantes y un tratamiento testigo.

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). Multilocational 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.