

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 proceso fisiológicos y metabólicos en las plantas, y aunque la batata es uno de los cultivos considerados resistentes a las sequias, 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 por esto, 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 procesos 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

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

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 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 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 monitorios 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 $\mu\text{mol fotonos m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 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.

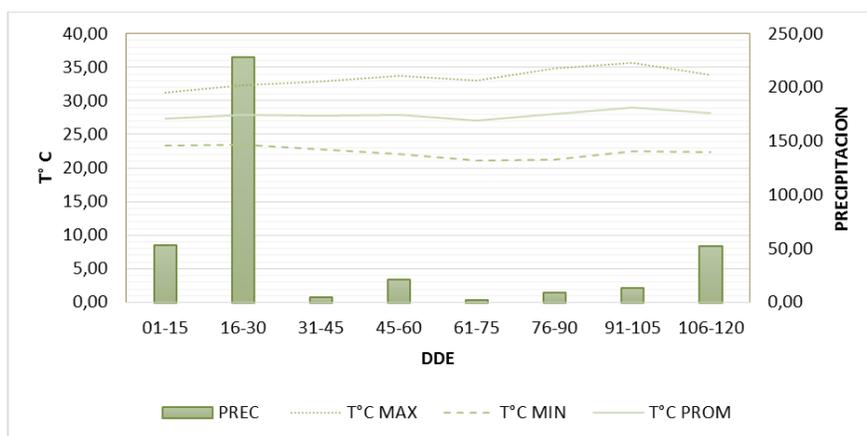


Figura 6.1. Condiciones ambientales presentes en el sitio de estudio durante el ciclo del cultivo de batata.

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).

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

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.

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

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 ál.* 2010), en el caso particular el genotipo Tainung tuvo la

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

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

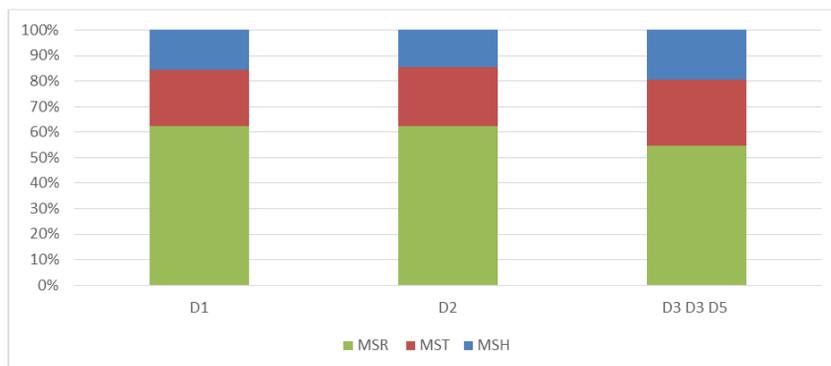


Figura 6.2. Distribución de materia seca por órganos de las plantas de batata, materia seca de raíces (MSTR: %), tallos (MST: %) y hojas (MSH: %).

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

EFEKTOS 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.