

Efecto del nitrato de potasio y la sacarosa sobre el rendimiento de plantas de cebolla (*Allium cepa* L.)

Effect of potassium nitrate and sucrose on the yield of onion (*Allium cepa* L.) plants

Mahavisnu Bonza-Espinoza¹, Elberth H. Pinzón-Sandoval², Javier G. Álvarez-Herrera^{3*}

Recibido para publicación: Agosto 29 de 2016 - Aceptado para publicación: Octubre 13 de 2016

RESUMEN

La cebolla de bulbo es la segunda hortaliza más consumida en Colombia, siendo el departamento de Boyacá el principal productor en el país. El objetivo de la investigación fue evaluar el efecto de la aplicación de KNO_3 y sacarosa en plantas de *Allium cepa* durante la fase de bulbificación. La investigación se desarrolló en Duitama, Boyacá, con el híbrido 'Granex 2000 F1'. El cultivo se manejó usando las prácticas agronómicas de la región. El diseño experimental empleado fue completamente al azar con nueve tratamientos correspondientes a la aplicación de KNO_3 y sacarosa de manera individual y en combinación, con tres repeticiones. La aplicación de tratamientos comenzó a los 62 días después del trasplante y hasta la fase de llenado de cabeza, mediante aspersión foliar. Las variables de respuesta fueron índice relativo de clorofila, diámetro ecuatorial, peso fresco y seco de bulbo y rendimiento. Los resultados indican que existen diferencias significativas entre la aplicación de KNO_3 y sacarosa en relación a la no aplicación, para el índice relativo de clorofila, diámetro ecuatorial, peso fresco y seco y rendimiento. El tratamiento de 1% de KNO_3 + 0,5% de sacarosa mostró el mejor comportamiento con un peso fresco de $201 \pm 4,2$ g/bulbo, peso seco de bulbo de $15 \pm 0,16$ g/bulbo y rendimiento con $59,3 \pm 0,46$ t ha⁻¹ frente a la no aplicación que mostró valores de $173,5 \pm 4,2$ g/bulbo, $13,9 \pm 0,5$ y $52,1 \pm 1,01$ t ha⁻¹ respectivamente. La aplicación de KNO_3 y sacarosa es una alternativa de mejora en la calidad y rendimiento en cebolla de bulbo bajo las condiciones de estudio.

Palabras clave: Nutrición mineral, fertilización foliar, producción, crecimiento, bulbo.

ABSTRACT

Onion bulb is the second most consumed vegetable in Colombia and is mainly produced in Boyacá, one of the departments in the country. The aim of this research was to evaluate the effect of the application of KNO_3 and sucrose in onion bulb plants during the bulb formation. The research was conducted in Duitama, Boyacá. The plant material was hybrid onion 'Granex 2000 F1'. The culture was handled using agronomic practices in the region. The experimental design was completely randomized with nine treatments corresponding to the application of KNO_3 and sucrose individually and in combination, with three replications. The application of treatments began at 62 days after transplantation and until the beginning of bulb filling, by foliar spraying. The response variables were relative chlorophyll index, equatorial diameter, fresh weight and dry bulb and yield. Analysis revealed significant differences between the application of KNO_3 and sucrose with respect to the non-application for the relative chlorophyll index, equatorial diameter, fresh and dry weight and performance. Treatment of 1% KNO_3 + 0.5% sucrose showed the best performance in variables like dry bulb with 201 ± 4.2 g/bulb, fresh weight with 15 ± 0.16 g/bulb and yield with 59.3 ± 0.46 t ha⁻¹, versus non-application that present values of 173.5 ± 4.2 g/bulb, 13.9 ± 0.5 g/bulb y 52.1 ± 1.01 t ha⁻¹ respectively. The application of KNO_3 and sucrose is an alternative for improving quality and yield in onion bulb under the study conditions.

Key words: Mineral nutrition, foliar fertilization, production, growth, bulb.

¹ Ing. Agrónomo. Grupo de Investigaciones Agrícolas. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC). Tunja, Boyacá.

² M.Sc. Fisiología Vegetal. Grupo de Investigaciones Agrícolas. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC). Tunja, Boyacá. elberth02@gmail.com.

³ Ph. D. Fisiología Vegetal. Grupo de Investigaciones Agrícolas. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC). Tunja, Boyacá. Avenida central del norte, 3002141665, jgalvarezh@gmail.com.

INTRODUCCIÓN

La cebolla de bulbo perteneciente a la familia de las liliáceas, es una de las hortalizas más consumidas en el mundo (Estrada-Prado et al. 2015). Usando al fresco, deshidratada o en vinagretas y posee propiedades nutritivas y medicinales (Konijnembur 2009). Según el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, el departamento de Boyacá es el mayor productor de cebolla de bulbo en el país (ENA 2013). Aunque en este la superficie de cultivo no ha aumentado considerablemente en los últimos años, si se ha incrementado el rendimiento promedio pasando de 24 t ha⁻¹ a 32 t ha⁻¹ (Barrientos et al. 2009). A su vez, Boyacá cuenta con el distrito de riego del Alto Chicamocha, el cual concentra la mayor área de producción con cerca de 2.500 ha y los mayores rendimientos por hectárea del país (Gutiérrez et al. 2013).

El manejo de la fertilización del cultivo de cebolla de bulbo generalmente se realiza de forma edáfica y en algunos casos sin el uso de herramientas diagnósticas como el análisis de suelo o foliar, y en muchas ocasiones sin tener en cuenta la fenología de la planta. Normalmente los fertilizantes son aplicados al momento del trasplante de forma edáfica utilizando fuentes convencionales o las que se encuentren en el mercado, esto conlleva a que el cultivo no exprese el potencial genético en cuanto al rendimiento y otras variables de crecimiento (Gómez 2006).

La cebolla de bulbo posee un sistema radicular superficial con una densidad de raíces baja, condición que no favorece la toma de nutrientes y agua (Ramos 1999). Esto tiene una repercusión directa sobre procesos metabólicos como la fotosíntesis, lo cual genera disminución en la calidad y el rendimiento del cultivo (Dogliotti et al. 2011). Las restricciones hídricas durante el llenado de los bulbos causan disminución del rendimiento debido a la baja disponibilidad de suministro de agua y nutrientes (Estrada-Par-

do et al. 2015). La fertilización química al suelo es la forma comúnmente utilizada para abastecer de nutrimentos a los cultivos, pero existen características químicas, físicas, biológicas y de restricción hídrica que pueden limitar la disponibilidad de dichos nutrimentos en la solución del suelo (Olarte-Ortiz et al. 2001), siendo la fertilización foliar una alternativa que no supe pero que puede complementar los requerimientos del cultivo bajo dichas condiciones.

El potasio es el elemento mineral más abundante en la célula después del nitrógeno y se encuentra en forma libre como ion K⁺ (Marschner 2012). Este al ser un catión, neutraliza muchas de las cargas eléctricas negativas generadas en la célula y juega un papel importante en la regulación del pH y la activación de las enzimas (Benlloch y Benlloch, 2016). El potasio está directamente implicado en el proceso de apertura y cierre estomático mediante el cual la planta controla el movimiento del agua vía corriente transpiratoria (Taiz y Zeiger 2006). El potasio contribuye de manera importante al potencial osmótico de las células y, por consiguiente, al mantenimiento de la presión de turgencia, cumpliendo la función de osmoregulación en condiciones de déficit hídrico (Marschner 2012).

En el mercado existen distintos productos a base de potasio; sin embargo, se indica que el nitrato de potasio, cuando se aplica por fertirrigación o aspersión foliar, tiene un efecto positivo en el funcionamiento de las plantas, ya que maximiza su rendimiento y aumenta la eficiencia del uso del agua (Fournier et al. 2005). Ensayos realizados por Fernández et al. (1998) mostraron un efecto positivo sobre la cosecha en cucurbitáceas, al aplicar dosis foliares de potasio, señalando el papel de apoyo de este elemento aplicado como bioactivador. Por su parte, Oddo et al. (2011) indican que aplicaciones de potasio generaron un efecto positivo en la conductividad hidráulica y la transpiración en plantas de laurel bajo estrés hídrico.

Los carbohidratos son los productos primarios que las plantas necesitan para el crecimiento y desarrollo de tejidos, raíces, tallos, hojas y desempeñan un papel crucial en la fase vegetativa y maduración de la mayoría de cultivos. Algunos investigadores sugieren que aplicaciones adicionales de carbohidratos liberan energía para procesos metabólicos, permitiendo que los cultivos canalicen una mayor cantidad de su propia energía para sintetizar aminoácidos e importantes metabolitos secundarios (Marschner 2012). En este sentido los carbohidratos podrían usarse para compensar parcialmente los efectos negativos que sufren los cultivos que están sometidos a diferentes condiciones de estrés, basado en el beneficio que representa para las plantas la adquisición de fotoasimilados adicionales, no provenientes de la actividad fotosintética (Yumar et al. 2010). Estas sustancias son productos bioquímicos de alta energía, propios del metabolismo de los vegetales superiores, que sirven como insumo fundamental sobre el cual la planta construye sustancias más complejas, que pueden ser utilizadas para sobreponerse a condiciones adversas (Montano et al. 2007).

El uso de prácticas o nuevas técnicas puede ser una alternativa que permita resolver o atenuar los problemas que afectan de forma drástica la fisiología de las plantas. Por lo tanto, el objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de la aplicación de nitrato de potasio y sacarosa sobre la producción y calidad de plantas de cebolla durante el periodo de desarrollo del bulbo en condiciones de campo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se llevó a cabo en la vereda La Trinidad del municipio de Duitama-Boyacá (Colombia). Con una elevación promedio de 2.553 msnm, latitud 5° 48' 38" N y longitud 73° 04',00" W. Las condiciones ambientales de la zona experimental durante el ensayo fueron:

precipitación media mensual de 80,43 mm, bajo un régimen bimodal de lluvias, humedad relativa del 80% y temperatura media de 14 °C (IDEAM 2014).

Como material vegetal se utilizó el híbrido 'Granex 2000 F1', la siembra se realizó por trasplante en camas de 2 m² con una distancia entre plantas de 6 cm y 20 cm entre surco. La cosecha se realizó a los 142 días después del trasplante. Se utilizaron las prácticas agronómicas comunes en la región, en cuanto al manejo fitosanitario, control de malezas y fertilización. A los 62 días después del trasplante (ddt) se observó el inicio de la etapa de bulbificación, momento en el cual comenzó la aplicación de los tratamientos realizando siete aplicaciones con intervalos de 10 días.

El estudio se desarrolló mediante un diseño completamente aleatorizado, teniendo nueve tratamientos con tres repeticiones, para un total de 27 unidades experimentales (UE) (Tabla 1), cada unidad experimental estuvo compuesta por una parcela de 2 m². La aplicación de tratamientos comenzó el día 21 de junio de 2013. Los tratamientos se aplicaron mediante aspersión foliar con una bomba manual de 20 L de capacidad y boquilla de cono hueco.

Tabla 1. Tratamientos usados en la evaluación del efecto del KNO₃ y la sacarosa en la fase de bulbificación en cebolla de bulbo, en condiciones de campo.

Tratamiento	Concentración % (p/v)	
	KNO ₃	Sacarosa
T1	0	0
T2	0,5	0
T3	1	0
T4	0	0,5
T5	0,5	0,5
T6	1	0,5
T7	0	1
T8	0,5	1
T9	1	1

Para cuantificar el efecto de los tratamientos se evaluaron las siguientes variables: índice relativo de Clorofila IRC, mediante un medidor portátil de clorofila SPAD-502 Plus (Soil Plant Analysis Development), Konica Minolta. Se tomaron lecturas 10 días después de la aplicación de cada uno de los tratamientos en horas de la mañana, de cinco hojas por planta en cinco plantas tomadas al azar de la zona central de cada parcela experimental, registrando el promedio/planta, expresado en Unidades SPAD; Diámetro ecuatorial de los bulbos (DE) medido con un calibrador digital Mitutoyo con rango de 0,05 mm en la periferia ecuatorial, a partir de este parámetro los bulbos fueron clasificados por su diámetro dentro de los rangos de calidad establecidos por la norma técnica Colombiana NTC 1221 teniendo para la calidad 1 bulbos con un calibre de 71 a 90 mm y para la calidad 2 bulbos con calibre de 41 a 70 mm (Quintero 2003); La masa fresca de bulbos se midió con una balanza electrónica Acculab VIC 612 de 0,01g de precisión, además se contó el número total de bulbos en un 1 m² del centro de cada UE con el fin de evitar el efecto de borde esto en cada repetición para obtener el promedio del peso fresco del bulbo (g) en la calidad 1 y 2; Para determinar la masa seca de bulbos se hizo un presecado en invernadero durante 5 días, luego las muestras fueron sometidas a 75 °C en una estufa de secado Memmert hasta que estas alcanzaron peso constante (aprox. 96 horas). Posteriormente fue registrado el peso seco promedio para cada tratamiento de acuerdo a su calidad. El rendimiento se estimó extrapolando los datos de peso fresco de la zona muestreada (1m²) a t ha⁻¹. También se expresó el rendimiento según calidad.

Los datos obtenidos fueron sometidos a pruebas de normalidad y homogeneidad de varianza mediante las pruebas de Shapiro-Wilk y Levene respectivamente. Comprobados los supuestos se realizó análisis de varianza, en donde las variables que mostraron diferencias estadísticas fueron sometidas a pruebas de comparación

de medias de Tukey ($P \leq 0,01$). Los análisis se realizaron con el programa estadístico SAS v.9.2e SAS Institute Inc., Cary, NC.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Índice Relativo de Clorofila IRC. El IRC foliar durante la bulbificación y el llenado de cebolla de bulbo no presentó diferencias significativas en ninguno de los puntos de muestreo según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$) (Tabla 2). Al comienzo de la bulbificación el IRC exhibió valores altos en todos los tratamientos, esto puede deberse a que en esa etapa del cultivo, los fotoasimilados son destinados al desarrollo y crecimiento foliar. Westerveld et al. (2004) compararon las mediciones del índice de clorofila mediante el método SPAD y el contenido de nitrógeno total del tejido en tres estados de crecimiento en cebolla cv 'Winner', encontrando que las lecturas del SPAD generalmente disminuían con la edad de la planta, haciéndose más notoria en la etapa final de desarrollo, posiblemente por el direccionamiento de los fotoasimilados hacia los órganos vertedero. Además, Mujica (2012) reportó que al evaluar el efecto de la fertilización con KNO₃ en ajo criollo morado en estados tempranos de crecimiento (fase vegetativa), este generó una influencia significativa sobre el IRC a los 60 días después de la siembra, de tal forma que a medida que avanza el ciclo del cultivo, el IRC muestra una tendencia a disminuir ya que se observó que las medidas SPAD bajan conforme la planta bulbifica y madura. Esto se relaciona con la detención del ritmo de crecimiento de la parte aérea, y progresiva senescencia foliar como consecuencia del traslado de los fotosintatos al bulbo (Yumar et al. 2010).

Resultados similares fueron encontrados por Seversike et al. (2009), quienes sugieren que plantas adultas se adaptan menos a diferentes condiciones de luminosidad que aquellas en desarrollo, lo que se traduce en una progresiva reducción en el contenido de clorofila en plantas de cebolla, así mismo, Mujica

Tabla 2. Efecto del nitrato de potasio (KNO_3) y la sacarosa (SAC) sobre el Índice relativo de clorofila (SPAD) durante la fase de bulbificación en (*Allium cepa* L.) bajo condiciones de campo. Los datos representan la media±error estándar (n=3) en cada uno de los puntos de muestreo.

Tratamientos	Índice relativo de Clorofila (SPAD)				
	62 d	72 d	82 d	92 d	102 d
T1 (Testigo)	38,2±0,95	35,1±1,1	33,1±0,8	32,4±1,7	32,1±0,4
T2 (0,5% KNO_3)	36,1±2,5	33,3±1,1	31,8±0,4	32,5±1,1	30,8±1,2
T3 (1% KNO_3)	37,3±1,4	31,3±1,0	31,3±0,5	33,4±0,8	31,0±1,6
T4 (0,5% SAC)	35,6±0,9	33,3±1,3	30,8±1,2	33,1±1,0	30,5±1,1
T5 (0,5% KNO_3 + 0,5% SAC)	36,0±1,6	32,9±1,0	32,5±0,3	31,5±1,9	29,1±1,3
T6 (1% KNO_3 + 0,5% SAC)	36,9±0,1	33,8±0,2	32,8±1,0	33,8±1,5	31,5±0,9
T7 (1% SAC)	40,3±0,8	32,2±0,3	32,5±0,3	32,4±0,6	30,3±1,4
T8 (0,5% KNO_3 + 1% SAC)	34,7±2,3	32,3±1,3	31,3±0,1	34,0±1,2	33,1±0,6
T9 (1% KNO_3 +1% SAC)	35,8±1,2	33,8±1,2	33,0±1,4	34,2±1,0	31,0±0,2

* d=días después de trasplante.

(2012) menciona que el IRC declina debido posiblemente a la senescencia de las hojas, aunque la planta continúa con la distribución de los fotoasimilados elaborados previamente.

Calidad de bulbos. Se presentaron diferencias significativas entre tratamientos ($P \leq 0,01$) en cuanto a la distribución de la producción total en función del diámetro ecuatorial de los bulbos. El tratamiento de 1% de KNO_3 +1% de sacarosa presentó un porcentaje de 33,7±1,0% siendo el más alto para la calidad 1 que agrupa bulbos con diámetro ecuatorial de 71 a 90 mm. El tratamiento de 0,5% de KNO_3 mostró un porcentaje de 82,5±2,7% siendo este el mayor valor en cuanto a bulbos agrupados dentro del rango de 41 a 70 mm (calidad 2). El tratamiento testigo presentó valores de 17,4±1,9 y 70,5±2,2% respectivamente (Tabla 3). Lo anterior indica que hay relación entre el KNO_3 y el diámetro ecuatorial en cultivo de cebolla.

Se observó mayor porcentaje de bulbos clasificados dentro de la calidad 2 con respecto a bulbos de calidad 1, con un aumento significativo en comparación al testigo en la mayoría de los tratamientos que presentaban aplicación de KNO_3 . Mujica (2012) reportó que diferentes dosis de KNO_3 exhibieron un efecto significativo sobre el diámetro del bulbo en ajo, encon-

trando que al aumentar la dosis se obtuvieron bulbos de mayor diámetro. El-Desuki et al. (2006) observaron un aumento en el diámetro ecuatorial de *A. cepa* cv. 'Giza-20', al aplicar 7 L ha⁻¹ de Oxido de potasio (36,5% K_2O). Por su parte, Boyhan et al. (2007) reportaron un mayor tamaño de bulbos en *A. cepa* con la aplicación edáfica de 84 kg ha⁻¹ de K, también se ha encontrado que la aplicación de potasio en forma de nitrato, sulfato o cloruro tiene un efecto po-

Tabla 3. Distribución de la producción total de bulbos de *Allium cepa* en función del diámetro ecuatorial, con aplicación de nitrato de potasio (KNO_3) y sacarosa (SAC).

Tratamiento	Distribución producción total (%)	
	Calidad 1*	Calidad 2**
T1 (Testigo)	17,4±1,9 dc	70,5±2,2 bc
T2 (0,5% KNO_3)	14,1±0,8 d	82,5±2,7 a
T3 (1% KNO_3)	23,6±0,4 abcd	80,0±1,7 ab
T4 (0,5% SAC)	21,9±0,8 bcd	74,7±2,2 abc
T5 (0,5% KNO_3 + 0,5% SAC)	31,8±3,1 ab	75,3±2,4 abc
T6 (1% KNO_3 + 0,5% SAC)	30,0±1,1 ab	72,5±1,4 abc
T7 (1% SAC)	24,0±2,6 abcd	74,5±1,9 abc
T8 (0,5% KNO_3 + 1% SAC)	25,8±0,7 abc	71,2±1,3 abc
T9 (1% KNO_3 +1% SAC)	33,7±1,0 a	64,1±0,3 c

Letras distintas entre tratamientos en la misma columna indican diferencias significativas según la prueba de Tukey ($P \leq 0,01$). Los datos muestran la media±error estándar (n=3). *Calidad 1: bulbos con un diámetro ecuatorial entre 71 y 90 mm; **Calidad 2: bulbos con un diámetro ecuatorial entre 41 y 70 mm (NTC 1994; Quintero 2003).

sitivo en cultivos como naranjo (El-Rahman et al. 2012; Aly et al. 2015), tomate (Achilea and Kafkafi 2002), pepino (Al-Hamzawi 2010) y algodón (Mondino and Araujo 2011).

Peso de bulbos. Se presentaron diferencias significativas en cuanto al peso fresco de bulbos correspondientes a la calidad 1 ($P \leq 0,01$), sin embargo, no existieron diferencias para la calidad 2 (Figura 1). En bulbos agrupados dentro de la calidad 1 el tratamiento que mostró mejor respuesta fue el correspondiente a la aplicación de 1% de KNO_3 + 0,5% de sacarosa con un valor promedio de $201 \pm 4,2$ g/bulbo, mientras que el tratamiento sin aplicación presentó el menor valor promedio con $173,5 \pm 4,2$ g/bulbo. En cuanto a la calidad 2 si bien no se observaron diferencias estadísticas fue el tratamiento correspondiente a 1% de KNO_3 + 0,5% de sacarosa el que produjo el mayor valor con $108,5 \pm 2,6$ g/bulbo en comparación al testigo que mostró un valor de $95,5 \pm 1,5$ g/bulbo.

Es importante destacar que en el ensayo se encontró mayor número de bulbos de calidad 2 que de calidad 1 en todos los tratamientos sien-

do esto conveniente para el productor pues estos son los de mayor comercialización. Las plantas con aplicación de 1% de KNO_3 + 0,5% de sacarosa produjeron bulbos con mayor peso fresco para la calidad 1 y 2, esto sugiere que la interacción de KNO_3 y sacarosa propicia un mayor flujo de fotosintatos y sustancias del metabolismo primario hacia los órganos de almacenamiento del vegetal (Marschner 2012). En ajo (*Allium sativum* L.), se reporta al inicio de la bulbificación, una ganancia de masa fresca que incrementa vertiginosamente debido a que el bulbo recibe la mayor translocación de K y fotoasimilados (Mujica 2012). Al respecto, Boyhan et al. (2007) observaron la misma tendencia al incrementar el suministro de K hasta 84 kg ha^{-1} . La investigación se relaciona con estudios realizados en ajo (Arguello et al. 2006; Karaye and Yakubu 2006), en los que se observó una ganancia significativa en cuanto a la masa fresca de los bulbillos al aplicar fuentes potásicas.

En cuanto al peso seco, se encontraron diferencias significativas según la prueba de Tukey ($P \leq 0,01$), en cuanto a la calidad 1 y 2. En bulbos agrupados en el rango de 71 a 90

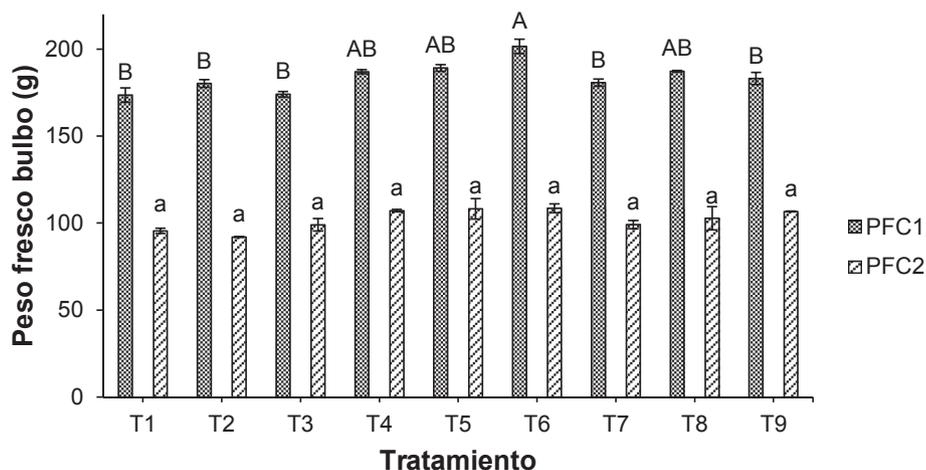


Figura 1. Peso fresco de bulbos de cebolla con aplicación de nitrato de potasio y sacarosa. PFC1: peso fresco calidad 1; PFC2: peso fresco calidad 2. (T1: 0% KNO_3 + 0% sacarosa; T2: 0,5% KNO_3 ; T3: 1% KNO_3 ; T4: 0,5% sacarosa; T5: 0,5% KNO_3 + 0,5% sacarosa; T6: 1% KNO_3 + 0,5% sacarosa; T7: 1% sacarosa; T8: 0,5% KNO_3 + 1% sacarosa; T9: 1% KNO_3 + 1% sacarosa). Letras distintas entre tratamientos indican diferencias estadísticas según la prueba de Tukey ($P \leq 0,01$), barras verticales indican el error estándar ($n=3$).

mm (calidad 1) la combinación que mostró el mejor comportamiento fue la correspondiente a 1% de KNO_3 + 0,5% de sacarosa con un valor de $15 \pm 0,16$ g/bulbo. En bulbos agrupados dentro del rango de 41 a 70 mm (calidad 2), los tratamientos que mejor comportamiento presentaron fueron los correspondientes a 1% de KNO_3 + 0,5% de sacarosa y 1% de sacarosa con valores de $7,8 \pm 0,07$ g/bulbo y $7,6 \pm 0,12$ g/bulbo, respectivamente. Por su parte, el testigo presentó valores de $13,9 \pm 0,5$ y $6,9 \pm 0,3$ g/bulbo, respectivamente (Figura 2).

El contenido de masa seca es un parámetro importante de calidad en bulbos de cebolla, especialmente para la industria de deshidratación, debido al impacto directo sobre la energía necesaria para el secado. Además, otros atributos de calidad como la pungencia y vida útil en anaquel están relacionados con la cantidad de masa seca (Hendriksen and Hansen 1997). Al respecto, se reporta que este parámetro se utiliza para determinar el grado de productividad del cultivo debido a que el contenido hídrico puede ser fluctuante y distorsionar el balance real de los componentes

dentro de los tejidos, mientras que el valor obtenido luego de desalojar el agua de los bulbos está conformado por sustancias hidrosolubles y por otras constitutivas de los tejidos (Norio et al. 2005).

El comienzo de la partición de la masa seca hacia el bulbo ocurre una vez iniciada su formación (Mújica 2012) de manera que la tasa de crecimiento del bulbo depende de la cantidad de radiación interceptada por las hojas, su eficiencia en producción y conversión de azúcares simples (Dogliotti et al. 2011). Se indica que la velocidad de acumulación de masa seca en bulbos presenta un incremento al aplicar KNO_3 , ya que se promueve una mayor movilización de fotosintatos hacia estos, notándose respuestas diferenciales entre los tratamientos al final del cultivo (Mújica 2012), lo cual es originado debido a que el K cumple una función fundamental en el metabolismo de los carbohidratos y la fotosíntesis (Marschner 2012), y como consecuencia, un óptimo suplemento de K determina un mejor contenido de azúcar en los órganos de demanda (Balibrea et al. 2006).

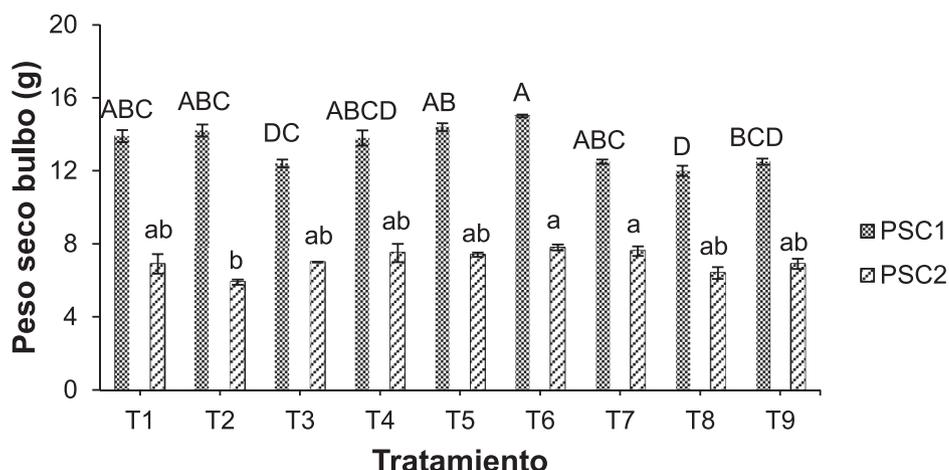


Figura 2. Peso seco de bulbos de cebolla con aplicación de nitrato de potasio y sacarosa. PSC1: peso seco calidad 1; PSC2: peso seco calidad 2. (T1: 0% KNO_3 + 0% sacarosa; T2: 0,5% KNO_3 ; T3: 1% KNO_3 ; T4: 0,5% sacarosa; T5: 0,5% KNO_3 + 0,5% sacarosa; T6: 1% KNO_3 + 0,5% sacarosa; T7: 1% sacarosa; T8: 0,5% KNO_3 + 1% sacarosa; T9: 1% KNO_3 + 1% sacarosa). Letras distintas entre tratamientos indican diferencias estadísticas según la prueba de Tukey ($P \leq 0,01$), barras verticales indican el error estándar ($n=3$).

Rendimiento. Se presentaron diferencias altamente significativas ($P \leq 0,01$) tanto para el rendimiento total como para el rendimiento por calidades. El tratamiento que presentó la mejor producción fue la combinación de 1% de KNO_3 + 0,5% de sacarosa con un valor de $59,3 \pm 0,46 \text{ t ha}^{-1}$ frente al testigo que mostró un rendimiento de $52,1 \pm 1,01 \text{ t ha}^{-1}$. En cuanto al rendimiento por calidad, el tratamiento de 1% KNO_3 + 1% de sacarosa fue el que produjo el mayor valor para la calidad 1 con $18,5 \pm 0,49 \text{ t ha}^{-1}$ frente al testigo que obtuvo un valor de $9 \pm 0,99 \text{ t ha}^{-1}$. Mientras que para la calidad 2, el mejor tratamiento fue el correspondiente a 0,5% KNO_3 con un valor de $44,8 \pm 2,81 \text{ t ha}^{-1}$ frente al testigo que obtuvo un rendimiento de $36,8 \pm 1,68 \text{ t ha}^{-1}$. Lo anterior indica una alta relación y consistencia de este parámetro con el efecto fisiológico que ejerce el KNO_3 en el cultivo. Por otro lado, la aplicación de sacarosa de forma individual no mostró diferencias en cuanto al rendimiento (Tabla 4).

La aplicación de KNO_3 en las concentraciones usadas en esta investigación resultaron en un aumento del rendimiento con respecto a la no aplicación, debido a que el KNO_3 aumenta la eficiencia del proceso fotosintético y la translocación de asimilados hacia el bulbo, lo que provoca mayor acumulación de masa fresca y contribuye al aumento del rendimiento (Marschner 2012). Al respecto, el aumento del

rendimiento en cebolla con la aplicación de potasio ha sido documentado por Bybordi and Malakouti (2003); Saleem (2004) y El-Desuki et al. (2006) quienes reportaron que el rendimiento total de bulbos fue incrementado por la adición de K a través de aspersión o aplicación al suelo. Sharma et al. (2003) y Boyhan et al. (2007) evaluaron el efecto de diferentes tasas de potasio (0 a 177 kg ha^{-1}). Los mayores rendimientos totales los obtuvieron con 84 kg ha^{-1} de K pero no afectaron los rendimientos en cebollas de calibres mayores a 90 mm. Así mismo, Mújica (2012) en ajo, aunque no encontró efecto sobre el rendimiento con la aplicación de diferentes dosis de KNO_3 , si observó que dosis de 100 kg ha^{-1} de KNO_3 promueven rendimientos más altos. Por otro lado, Vilorio et al. (2003) e Iman et al. (2013) no encontraron diferencias entre las dosis de K sobre el rendimiento y otras variables estudiadas en cebolla.

Los resultados de esta investigación también son comparables a aquellos encontrados en otros cultivos, en los cuales se observaron mayores rendimientos con el uso del KNO_3 . Mondito y Araujo (2011) al evaluar el efecto de la aplicación foliar en diferentes épocas y dosis de KNO_3 sobre la cantidad y calidad de fibra de algodón afirman que aspersiones de 9 kg ha^{-1} al término de las 2 primeras semanas de floración aumentan $18,3 \text{ kg}$ de fibra de algodón por cada kg de fertilizante empleado. Además, Quijada

Tabla 4. Rendimiento de *Allium cepa* con aplicación de nitrato de potasio (KNO_3) y sacarosa (SAC). Los datos muestran la media \pm error estándar ($n=3$).

Tratamiento	Rendimiento (t ha^{-1})		
	Calidad 1	Calidad 2	Total
T1 (Testigo)	$9,0 \pm 0,99 \text{ c}$	$36,8 \pm 1,68 \text{ ab}$	$52,1 \pm 1,01 \text{ ab}$
T2 (0,5% KNO_3)	$7,6 \pm 0,23 \text{ c}$	$44,8 \pm 2,81 \text{ a}$	$54,2 \pm 1,06 \text{ ab}$
T3 (1% KNO_3)	$13,2 \pm 0,37 \text{ abc}$	$44,7 \pm 0,69 \text{ a}$	$55,8 \pm 0,88 \text{ ab}$
T4 (0,5% SAC)	$10,9 \pm 0,20 \text{ bc}$	$37,5 \pm 2,34 \text{ ab}$	$50,1 \pm 1,96 \text{ ab}$
T5 (0,5% KNO_3 + 0,5% SAC)	$16,8 \pm 2,14 \text{ ab}$	$39,6 \pm 1,73 \text{ ab}$	$52,6 \pm 1,63 \text{ ab}$
T6 (1% KNO_3 + 0,5% SAC)	$17,8 \pm 0,76 \text{ ab}$	$43,0 \pm 0,75 \text{ ab}$	$59,3 \pm 0,46 \text{ a}$
T7 (1% SAC)	$12,6 \pm 1,72 \text{ abc}$	$38,8 \pm 0,37 \text{ ab}$	$52,2 \pm 1,33 \text{ ab}$
T8 (0,5% KNO_3 + 1% SAC)	$12,1 \pm 1,46 \text{ abc}$	$33,3 \pm 3,05 \text{ b}$	$46,9 \pm 4,50 \text{ b}$
T9 (1% KNO_3 + 1% SAC)	$18,5 \pm 0,49 \text{ a}$	$35,3 \pm 0,72 \text{ ab}$	$55,1 \pm 1,18 \text{ ab}$

Letras distintas entre tratamientos en la misma columna indican diferencias significativas según la prueba de Tukey ($P \leq 0,01$).

(2009), observó en mango que la aplicación de KNO_3 en dosis de 6% (60 g de KNO_3 en 1 L de agua) y un suministro de 4 L/planta, redujo el periodo de cosechas entre 15 y 35 días menos que los controles y ubica en el primer mes de cosecha entre 50% y 60% del total de su producción anual.

CONCLUSIÓN

La aplicación de KNO_3 tuvo un efecto positivo sobre las variables estudiadas en esta investigación, siendo el tratamiento de 1% de KNO_3 + 0,5% de sacarosa el que mostró un mejor comportamiento de las variables peso fresco y seco de bulbo y rendimiento, este se convierte en una alternativa de mejora en la calidad y rendimiento de los bulbos de cebolla bajo las condiciones de estudio.

REFERENCIAS

- Aly, M., Harhash, M., Rehab, M. and El-Kelawy, H. 2015.** Effect of Foliar Application with Calcium, Potassium and Zinc Treatments on Yield and Fruit Quality of Washington Navel Orange Trees. Middle East J. Agric. Res. 4(3): 564-568.
- Achilea, O. and Kafkafi, U. 2002.** Enhanced performance of processing tomato by potassium nitrate-based nutrition. VIII International Symposium on the Processing Tomato 613: 81-87.
- Al-Hamzawi, M. 2010.** Effect of calcium nitrate, potassium nitrate and Anfaton on growth and storability of plastic houses cucumber (*Cucumis sativus* L. cv. Al-Hytham). American Journal of Plant Physiology, 5(5): 278-290.
- Arguello, J., Nuñez, S., Ledesma, A., Rodríguez, C. and Díaz, M. 2006.** Vermicompost effects on bulbing dynamics, nonstructural carbohydrate content, yield, and quality of 'Rosado Paraguayo' garlic bulbs. HortScience 41(3):589-592.
- Balibrea, M., Martínez-Andújar, C., Cuarteto, J., Bolarín, M. and Pérez, F. 2006.** The high fruit soluble sugar content in wild *Lycopersicon* species and their hybrids with cultivars depends on sucrose import during ripening rather than on sucrose metabolism. Funct. Plant Biol. 33(3): 279-288.
- Barrientos, J., Leyva, G. y Morales, J. 2009.** Efectos del cambio climático sobre la oferta y precios de cebolla de bulbo. Caso del municipio Duitama, Boyacá (Colombia). rev.colomb.cienc.hortic. 3(1): 69-80.
- Bybordi, A. and Malakouti, M. 2003.** The effect of various rates of potassium, zinc and copper on the yield and quality of onion under saline conditions in two major onion growing regions of east Azarbayjan. Agric. Sci. And Technol. 17: 43-52.
- Boyhan, G., Tórrense, R. and Hill, C. 2007.** Effects of nitrogen, phosphorus, and potassium rates and fertilizer sources on yield and leaf nutrient status of short-day onions. HortScience. 42(3): 653-660.
- Dogliotti, S., Colnago, P., Galván, G. y Aldabe, L. 2011.** Bases fisiológicas del crecimiento y desarrollo de los principales cultivos hortícolas: Tomate (*Lycopersicon sculentum*). Papa (*Solanum tuberosum*) y Cebolla (*Allium cepa*) Curso de Fisiología de los Cultivos-Módulo Horticultura Facultad de Agronomía-Universidad de la República de Uruguay. pp. 39-57.
- El-Desuki, M., Abdel-Mouty, M. and Ali, A. 2006.** Response of onion plants to additional dose of potassium application. National Research Center Veget. Department Dokki, Cairo, Egypt. Journal of Applied Science Research. 2(9): 592- 597.
- El-Rahman, A., Hoda, M. and Ensherah, A. 2012.** Effect of GA_3 and potassium nitrate in different dates on fruit set, yield and splitting of Washington navel orange. Nature and Science. 10(1): 148-157.

- Estrada-Prado, W., Lescay-Batista, E., Álvarez-Fonseca, A., Yariuska, C. y Ramos M. 2015.** Niveles de humedad en el suelo en la producción de bulbos de cebolla. *Agron. Mesoam.* 26(1):111-117. doi 10.15517/am.v26i1.16934.
- Fernández, E., Palomar, S. y Puertas, M. 1998.** Ensayo de fertilización AMECsystem en calabacín. *Horticultura.* 17(4), 61-64.
- Fournier, J., Roldán, A., Sánchez, C., Alexandre G. y Benlloch, M. 2005.** K⁺ starvation increases water uptake in whole sunflower plants. *Plant Sci.* 168(3): 823-829.
- Gómez, M. 2006.** Manual técnico de fertilización de cultivos. Microfertisa S.A. Produmedios, Bogotá.
- Gutiérrez, L., Rodríguez, L. y Bermúdez, L. 2013.** Factibilidad de una comercializadora hortícola de economía solidaria en el Distrito de Riego del Alto Chicamocha. *rev.colomb.cienc.hortic.* 7(1): 62-74.
- Hendriksen, K. and Hansen, S. 1997.** Increasing the dry matter production in bulb onions (*Allium cepa* L.). *Acta Hort.* (ISHS) 555:147-152.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM) 2014.** Sistema de Información Ambiental. Estacion Surbata-Bonza. Consultado: 24/03/2014
- Iman, H., Mohammad, K. and Hamidreza, K. 2013.** Effect of different levels of nitrogen, phosphorus and Potassium nutrient elements on yield, yield components and of persian shallot (*allium altissimum*). *International Journal of Agriculture: Research and Review.* 3 (3): 516-522.
- Karaye, A. and Yakubu, A. 2006.** Influence of intra-row spacing and mulching on leed growth and bulb yield of garlic (*Allium sativum* L.) in Sokoto, Nigeria. *Afr. J. Biotechnol.* 5 (3): 260-264.
- Konijnemur, A. 2009.** "Cebolla: propiedades, actualidad, variedades y claves productivas", *Fruticultura & Diversificación.* 15(59): 8-13.
- Marschner, P. 2012.** Mineral Nutrition of Higher Plants. 3rd. Edition. Elsevier. Oxford, UK. 645 p.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural –MADR-. 2013.** Anuario estadístico de frutas y hortalizas 2013. Disponible desde internet en: <http://www.agronet.gov.co/www/htm3b/public/Anuario/anuario%20estadistico%20de%20frutas%20y%20hortalizas%202013.pdf> [20 Julio 2016].
- Mondino, M. y Araujo, L. 2011.** Fertilización foliar con nitrato de potasio para mejorar la cantidad y calidad de fibra del algodón en surcos estrechos a 0,52 m. 8° Congresso Brasileiro De Algodão & I Cotton Expo 2011, São Paulo, p 1863.
- Montano, R., Zuaznabar, R., García, A., Viñals, M. y Villar, J. 2007.** Fitomas E: Bionutriente derivado de la industria azucarera ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar, Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar. 41(3): 14-21.
- Mujica, H. 2012.** Crecimiento, desarrollo, producción y calidad del ajo (*Allium sativum* L.) en respuesta a la densidad de siembra y la nutrición potásica. Tesis Doctoral. Universidad Central de Venezuela. Maracaibo.
- Norio, S., Benkeblia, N. and Onodera, S. 2005.** The metabolism of the fructooligosaccharides in onion bulbs: A comprehensive Review. *The Japanese Society of Applied Glycoscience.* 52(2): 121-127.

- Norma Técnica Colombiana (NTC). 1994.** NTC 1221, frutas y hortalizas frescas. Cebolla cabezona. Editada por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). Segunda actualización. <https://es.scribd.com/document/58308740/NTC-1221-Cebolla-Cabezona>. [20 Julio 2016]
- Oddo, E., Inzerillo, S., La Bella, F., Grisafi, F., Salleo, S. y Nardini, A. 2011.** Short-term effects of potassium fertilization on the hydraulic conductance of *Laurus nobilis* L. *Tree Physiol.* 31: 131–138.
- Olarte-Ortiz, O., Almaguer-Vargas, G. y Espinoza-Espinoza, J. 2001.** Efecto de la fertilización foliar en el estado nutricional, la fotosíntesis, la concentración de carbohidratos y el rendimiento en naranjo 'Valencia Late'. *18(4): 339-347.*
- Quijada, O. 1999.** Efecto de la aplicación de tres dosis de nitrato de potasio y el número de aplicaciones sobre la floración del mango Haden en la planicie de Maracaibo. *Revista Facultad Agronomía.* 16(4): 414-424.
- Quintero, E. 2003.** Investigaciones para el desarrollo de la poscosecha de cebolla de bulbo (*Allium cepa* L.) en el distrito de riego del alto Chicamocha Boyacá. Foro regional andino para el dialogo y la integración de la educación agropecuaria y rural.
- Ramos, G. 1999.** Determinación de funciones de producción y comportamiento del cultivo de cebolla bajo diferentes láminas de riego y dosis de fertilización fosforada en San Juan de Lagunillas, Mérida, Venezuela. *Rev. Fac. Agron.* 16(1): 38-51.
- Saleem, J. 2004.** Studies on the management strategies for bulb and seed production of different cultivars of onion (*Allium cepa* L.). A dissertation submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor Philosophy in Agriculture (Horticulture). Gomal University, Pakistán.
- Seversike, T., Purcell, L., Gbur, E., Chen, P. and Scott, R. 2009.** Radiation interception and yield response to increased leaflet number in early-maturing soybean genotypes. *Crop Science* 49(1): 281-289.
- Sharma, R., Datt, N. and Sharma, P. 2003.** Combined application of nitrogen, phosphorus and potassium and farmyard manure in onion (*Allium cepa* L.) under high hills, dry temperature conditions of north-western Himalayas. *Indian J. Agr. Sci.* 73: 225-227.
- Taiz, L. and Zeiger, E. 2006.** *Plant Physiology.* Tercera edición. 672pp.
- Viloria, A., Ortega, L., Díaz, L. y Delgado, D. 2003.** Efecto de la fertilización con N-P-K y la distancia de siembra sobre el rendimiento de la cebolla (*Allium cepa* L.). *Revista Bioagro.* 15(2): 129-133.
- Yumar, J., Montano, R. y Villar, J. 2010.** Efectos del Fitomas - E en el cultivo de cebolla. ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar, Instituto Cubano de Investigaciones de los derivados de la Caña de Azúcar. 44: 21-25.
- Westerveld, S., McKeown, M., Scout-Dupree W. and McDonald, M. 2004.** Assessment of Chlorophyll and nitrate meters as Field Tissue Nitrogen Test for Cabbage, Onions and Carrots. *Revista: HorTechnology.* 14(2):179-188.