

Absorción de nutrientes en *Zantedeschia elliottiana* variedad Cristal Blush y su relación con la producción de biomasa en condiciones de la zona cafetera de Colombia

Nutrients uptake in *Zantedeschia elliottiana* Crystal Blush and its relationship with biomass production in the Colombian coffee-growing conditions

Susana Gómez¹, Carmen Rosa Bonilla Correa², Juan Carlos Menjivar Flores³

¹Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Pereira, Colombia.

²Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá,

³Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia sede Palmira, Valle del Cauca, Colombia.

Autor para correspondencia: crbonillac@unal.edu.co

Recibido: 10-06-2010 Aceptado: 06-11-2010

Resumen

En un cultivo comercial del municipio de Pereira, Risaralda, se evaluó la extracción de nutrientes de *Zantedeschia elliottiana* variedad Cristal Blush y su relación con la acumulación de materia seca y la producción de tallos florales y bulbos durante el primer ciclo de producción. Se utilizó un diseño bloques completos al azar con cuatro tratamientos correspondientes a diferentes niveles de fertilización y tres repeticiones. Se caracterizaron los cambios en la concentración de nutrientes en bulbos y parte aérea de la planta en cada etapa de desarrollo mediante muestreo destructivo de tejidos a 28, 49, 63, 77, 98 y 140 días después de la siembra. Las concentraciones de N, Ca, Mg y B en bulbo y las concentraciones foliares de N, Mg y Cu en la época de floración inciden directamente sobre el número de tallos comerciales, mientras que los contenidos a nivel foliar de Ca, Mg y S durante las semanas 7 a 10 inciden directamente sobre el porcentaje de tuberización. Para obtener una producción de 160 tallos comerciales/m² y 21.7 t/ha de bulbos, es necesario aplicar (kg/ha): 248(N), 42(P), 305(K), 103(Ca), 21(Mg) y 33(S).

Palabras clave: Fertilización, requerimientos nutricionales, extracción de nutrientes, producción de bulbos, *Zantedeschia elliottiana*.

Abstract

In a commercial crop in the municipality of Pereira, Risaralda, Colombia, the nutrient extraction of *Zantedeschia elliottiana* "Crystal Blush" and its relation to dry matter accumulation and production of flower stalks and bulbs during the first production cycle was assessed. We used a randomized complete block design (RCBD) with 4 treatments corresponding to different levels of fertilization and three replications, characterizing changes in the concentration of nutrients in bulbs and aerial part of the plant at each stage of development, through destructive sampling of tissue at 28, 49, 63, 77, 98 and 140 days after sowing. Concentrations of N, Ca, Mg and B in the bulb and foliar concentrations of N, Mg and Cu in the flowering season, directly influence the number of commercial shoots while the leaf-level contents of Ca, Mg and S for weeks 7 to 10, have a direct impact on the percentage of tuberization; to obtain commercial production of 160 stems per square meter and 21.7 ton/ha of bulbs, it is necessary the input of 248 kg/ha N, 42 kg/ha P, 305 kg/ha K, 103 kg/ha Ca, 21 kg/ha Mg and 33 kg/ha of S.

Key words: Fertilization, nutritional requirements, nutrients extraction, bulbs production, *Zantedeschia elliottiana*.

Introducción

Zantedeschia elliottiana Engler, es una especie bulbosa perteneciente a la familia *Araceae* cuyo cultivo mundial es relativamente reciente (Funnell, 1994). Entre los factores que limitan el incremento de las áreas sembradas en Colombia y otros países se encuentran la falta de información sobre el manejo agronómico, los altos costos de material vegetal y la susceptibilidad de los bulbos al ataque de *Erwinia carotovora*, relacionada con altos niveles de humedad en el suelo y excesos de fertilizantes, en especial nitrogenados y fosfóricos (Bloomz, 2004; Gracia *et al.*, 2006). No obstante, las condiciones ecológicas de zonas de Colombia como Rionegro (oriente de Antioquia) y el eje cafetero permiten obtener óptimas producciones, lo que unido al alto precio de las flores cortadas en el mercado internacional, hacen esta especie promisoría dentro de los cultivos no tradicionales de flor de corte en el país.

La fertilización es un factor determinante no solo de la producción sino también de la sanidad de las plantas (Marschner, 1995; Graham 1983; Wright, 2005; Phytion Corporation. 2004), por tanto ésta debe ser eficiente y fraccionada para satisfacer las necesidades durante los periodos críticos de desarrollo determinados por la fenología del cultivo (Funnell, 1998; Fageria, 2006), la cual varía de acuerdo con las condiciones ambientales. En consecuencia, es importante contar con información precisa, no sólo de requerimientos nutricionales sino de las respuestas fisiológicas de la planta en diferentes condiciones agroecológicas (Scagel y Schreiner, 2006; Wright, 2005). Clark *et al.* (1991) caracterizaron la acumulación de materia seca y los cambios estacionales en la concentración de nutrientes en raíces, bulbos, peciolo, hojas y tallos florales en plantas sembradas a partir de bulbos de la variedad amarilla de tercer ciclo en Nueva Zelanda. Describieron tres fases de desarrollo, así: la primera a partir de la siembra y hasta la semana 7 correspondiente al desarrollo vegetativo de la planta en donde aproximadamente el 20% de N y K⁺ y el 40% de P requeridos para el desarrollo son exportados de las reservas del bulbo que pierden cerca del 50% de su peso

inicial, siendo alta la absorción de Ca⁺⁺, K⁺ y Na⁺ en esta etapa. La segunda fase, entre las semanas 6 y 16 después de la siembra, donde ocurre la máxima absorción de nutrientes, el índice de área foliar llega a su máximo, aparece la producción floral y los bulbos se multiplican. La última fase corresponde a la senescencia de las hojas y el peso fresco del bulbo decrece lentamente hasta su entrada en dormancia. Estos autores encontraron que para satisfacer los requerimientos de producción del cultivo era necesario aplicar 300 kg N, 45 kg P y 400 kg K por hectárea. MacKay *et al.* (1987) citados por Clemens *et al.* (1998) revelaron que la aplicación de las dosis bajas de fertilizantes líquidos disminuyen el tiempo entre la siembra de bulbos y el inicio de la floración. Clemens *et al.* (1998) evaluaron el efecto de la nutrición mineral sobre la incidencia de *Erwinia carotovora* y la producción de bulbos y tallos florales en dos ciclos seguidos de siembra, cosecha, almacenamiento y resiembra de bulbos de *Zantedeschia albomaculata* y hallaron un incremento de las pérdidas por bacteriosis con niveles altos de fertilización potásica (1.2 kg/m²) y fosfórica (0.32 kg/m²) y una mayor producción de bulbos con niveles moderados de N (0.6 kg/m³). Además, una relación inversa entre los contenidos foliares de N y P y el incremento en las dosis de fertilización de calcio y magnesio, a la vez que la producción de tallos florales fue mayor en bulbos que habían sido fertilizados durante el ciclo anterior con dosis bajas de N (0.3 kg/m²), altas de fósforo (0.32 kg/m²) y moderadas de potasio (0.6 kg/m²).

En condiciones tropicales no hay resultados claros de los requerimientos nutritivos de *Z. elliottiana*, lo que dificulta el establecimiento de programas de fertilización. Por lo anterior se llevó a cabo esta investigación con el objetivo de evaluar la absorción diferencial de nutrientes y su relación con las variables productivas: acumulación de materia seca, número de tallos comerciales/planta y porcentaje de tuberización en la variedad Cristal Blush, y establecer las dosis de fertilización más adecuadas para el cultivo en condiciones del eje cafetero colombiano.

Materiales y métodos

El ensayo se estableció en un invernadero de la empresa Crystal Flowers Ltda. en Pereira, Risaralda, Colombia, a 1.650 m.s.n.m., con temperatura promedio de 20 °C y precipitación promedio anual de 2.000 mm. Las coordenadas geográficas son 04° 44' 46.9" N y 75° 36' 04.9" O. Se utilizaron camas con sustrato compuesto por suelo de capote, arena y cascarilla de arroz, previamente desinfectadas con Basamid®, donde se sembraron bulbos de la variedad Cristal Blush con peso entre 32.1 y 58.8 g, provenientes de California (E.U.). Se utilizó un diseño de bloques completos al azar, con cuatro tratamientos correspondientes a diferentes dosis de fertilización (Cuadro 1), tres repeticiones y seis muestreos escalonados. La unidad experimental fue de 1.36 m² con una población de 15 plantas. El tratamiento testigo consistió en la dosis de fertilización recomendada por los proveedores de bulbos y que corresponde a las obtenidos por Clark *et al*, (1991). El resto de tratamientos se determinó modificando las concentraciones del testigo para los elementos mayores (Cuadro 1). Los elementos menores fueron iguales en todos los tratamientos y correspondieron a la composición de la solución de Hogland modificada para micronutrientes (Furlani, 2003). Como fuentes fertilizantes se utilizaron NH₄NO₃, H₂PO₄, K₂SO₄, Ca (NO₃)₂, MgSO₄. Los elementos menores fueron adicionados con el fertilizante compuesto Minor - mix 1®. Para todos los tratamientos, el 30% de las dosis de N, K, Mg y B se aplicaron como precarga antes de la siembra. El resto se suministró en forma líquida durante el ciclo de cultivo. Con base en las etapas fenológicas descritas por Clark *et al* (1991) para la especie y a la observación in situ de las mismas, se realizaron muestreos destructivos de una

planta/tratamiento y por repetición a los 28, 49, 63, 77, 98 y 140 días después de la siembra (dds) para determinar la acumulación de materia seca, la concentración de nutrientes en parte aérea y bulbos por separado, y las relaciones de nutrientes asociadas con las variables productivas. La absorción de nutrientes se determinó mediante análisis de tejidos así: Semimicro-Kjeldhal para N, colorimétrico (molibdovanadato de amonio) para P, espectrofotometría de absorción atómica para K, Ca, Na, Fe, Mn, Zn, Cu, colorimétrico azometina H para B y turbidimétrico para S. La cantidad de nutrientes absorbidos por la planta en cada etapa fenológica se calculó a partir de la relación entre el peso seco de cada uno de los tejidos con sus respectivos contenidos de nutrientes. A partir del peso seco promedio y el contenido promedio de cada nutriente en bulbos, hojas y tallos florales de las plantas muestreadas, se calculó la cantidad de biomasa acumulada y la cantidad extraída de cada nutriente por el cultivo en gramos por planta.

Teniendo en cuenta la densidad de siembra para el cultivo (11 bulbos/m) se extrapolaron los resultados para calcular la extracción de cada nutriente y la acumulación de materia seca en kg/ha.

Durante la época de floración se cuantificó la longitud y el número total de tallos florales. El porcentaje de tuberización se determinó al comparar el peso de bulbos a la siembra y el peso final al momento del levante.

Para el análisis de datos se utilizó el programa estadístico SPSS V.17.0. Se realizó un análisis de varianza, prueba de comparación de medias de Duncan, análisis de correlación múltiple de Pearson y análisis de regresión por el método Steepwise para las variables cuando la correlación fue significativa y altamente significativa.

Cuadro 1. Niveles de fertilización (en kg/ha) totales para el ciclo de cultivo.

Tratamiento	Elementos mayores (kg/ha)					
	N	P	K	Ca	Mg	S
T0 Testigo	300	85	400	160	70	60
T1 Dosis alta	400	113	530	210	90	80
T2 Dosis media	200	57	260	105	45	30
T3 Dosis baja	130	38	176	70	30	20
	Elementos menores (ppm)					
	B	Cu	Fe	Mn	Mo	Zn
	0.53	0.018	1.0	0.614	0.006	0.132

Resultados y discusión

Acumulación de materia seca

El análisis estadístico mostró diferencias ($P < 0.01$) para la acumulación de materia seca entre épocas de desarrollo. En bulbos la acumulación de MS disminuyó progresivamente durante las primeras semanas llegando a su punto más bajo a los 63 dds, luego ocurre un incremento significativo durante el proceso de tuberización (77 y 140 dds) cuando los bulbos ganan entre un 69 y 80% de peso seco en relación con el peso seco inicial. En hojas, la acumulación de materia seca se incrementa desde la semana 4 después de la siembra hasta la semana 11, para luego disminuir gradualmente durante la etapa de senescencia. La acumulación máxima de materia seca en bulbos al final del ciclo fue de 5931 kg/ha; y en hojas, fue de 1885 kg/ha. En el Cuadro 2 aparecen los valores de la máxima acumulación de materia seca en cada etapa de desarrollo.

Producción de tallos florales

El número y la longitud de flores comerciales variaron ($P < 0.01$) por efecto de los tratamien-

tos en las determinaciones realizadas en las semanas 7 y 8, siendo más altos en el tratamiento T2, con 7.3 flores comerciales/planta y una longitud promedio de 50.3 cm (Cuadro 3). Entre las semanas 8 y 13 no hubo diferencias estadísticas entre los tratamientos; no obstante, en el tratamiento T1 se encontró el menor número de flores comerciales/planta. Con el tratamiento de dosis baja de fertilización (T3) se obtuvo el mayor número total de flores y el menor porcentaje de tuberización. Con el tratamiento T2 se alcanzó el mayor número de flores comerciales y el porcentaje más alto de tuberización.

Relaciones entre variables de producción

Se encontró una correlación positiva y significativa ($P < 0.05$) entre materia seca en hojas y el número de tallos florales totales por bulbo. El valor máximo de MS en hojas 63 dds se encontró para el T3, que correspondió al tratamiento con mayor cantidad de tallos florales comerciales, mientras que el valor mínimo se obtuvo con el T0. Con los tratamientos de dosis bajas de fertilización (T2 y T3) ocurrieron incrementos de materia seca en hojas de 5 y 6 g/planta, respectivamen-

Cuadro 2. Acumulación diferencial de materia seca (kg/ha) en *Zantedeschia elliotiana* var. Cristal Blush^a

Parte de la planta	Días después de la siembra						R ²	Pr > F por fuente de variación	
	28	49	63	77	98	140		Trat.	Época
Bulbo	1299.100	1264.24	874.84	1385.94	3318.94	5931.44	0.886	0.38	<0.001
Hoja	295.166	941.99	1270.13	3373.63	2411.13		0.965	0.27	<0.001
Flor	—	138.20	885.10	—	—	—	0.958	0.91	<0.001
MS Total	1594.266	2344.436	3030.07	4759.57	5730.07	5931.44	0.933	0.16	<0.001

a. Densidad de siembra equivalente = 110,000 plantas/ha.
 Peso seco inicial de bulbos 11.2 g (44.84 g peso fresco)
 Peso seco final de bulbos 53.92 g (197.9 g peso fresco)

Cuadro 3. Variables productivas para *Zantedeschia elliotiana* var. Cristal Blush y su relación con diferentes dosis de fertilización.

Tratamiento	MS hojas (g/planta) 63 dds	Tallos florales (no./planta)	Tallos comerciales (no./planta)	Tallos comerciales (%)	Longitud de tallo (cm)	Tuberización (%)
T0	10.93	25.60	13.42	52.42	42.8- 46.2	64.35
T1	10.93	22.09	13.41	60.70	46 - 47	71.45
T2	14.81	24.01	17.77	74.00	46- 50	74.48
T3	16.27	26.28	17.56	66.81	47.1 - 52.8	61.90

te, entre el comienzo de máxima floración; mientras que con la dosis estándar (T0), no se observó este tipo de incremento. El porcentaje más alto de tuberización correspondió al T2 y el menor al T3, lo que permite evidenciar que aunque sea posible obtener una producción de tallos florales aceptable con las dosis más bajas de fertilización, ésta ocurre a expensas de las reservas del bulbo, lo que afectará la productividad durante los ciclos posteriores de replante. Se encontraron relaciones significativas ($P < 0.001$) entre peso inicial de bulbo y número total de flores y entre peso inicial de bulbo y número de flores comerciales ($P < 0.05$) (Cuadro 4).

Absorción diferencial de nutrientes y distribución en tejidos de la planta

A continuación se describen la tendencia y los cambios en las concentraciones de nutrientes en las diferentes partes de la planta.

Nitrógeno. Los mayores contenidos de N en bulbo y hojas ocurrieron entre 28 y 49 dds, que coinciden con la época de mayor demanda de nutrientes para soportar el desarrollo vegetativo de la planta. La concentración de N en bulbos fue diferente entre tratamientos, siendo mayor para el T0. Según Clark *et al.* (1991) las reservas en el bulbo pueden suplir hasta 56% de los requerimientos de N de la planta en la primera etapa de crecimiento, lo que podría explicar la falta de diferencias significativas entre tratamientos en este caso. Los valores más altos de concentración de N en bulbos y hojas estuvieron relacionados con los valores más bajos de acumulación de MS y producción de tallos comerciales, resultados que concuerdan con los encontrados por Clemens *et al.* (1998) en *Z. albomaculata*. Burge *et al.*, citados por Clemens *et al.* (1998) consideran normales contenidos de N entre

3 y 4.5% en hoja, los cuales decrecen a medida que avanza el ciclo de cultivo. Para esta variedad y en las condiciones del ensayo, los rangos óptimos de concentración de N se encuentran entre 2 y 3.5% para bulbos y entre 3.5 y 5% para hojas.

Fósforo. Las concentraciones de este nutriente en bulbos y hojas presentaron sus valores máximos al comienzo del ciclo, a partir del cual decrecen gradualmente para mostrar finalmente un leve incremento en la última fase durante la senescencia, momento en que los asimilados son trasladados hacia los órganos de reserva.

La concentración de fósforo en bulbos varió entre 0.37 y 0.08% y en hojas entre 0.16 y 0.48%; mientras que las concentraciones de P en bulbo y flores fueron similares, mostrando que, aproximadamente, 65% del P acumulado en bulbos durante los primeros 49 días es trasladado hacia la parte aérea durante la floración. Clark *et al.* (1991) encontraron concentraciones de P en todos los tejidos entre 0.2 y 0.5% para variedad Amarilla. Para la variedad Cristal Blush estas concentraciones solamente se obtuvieron con el T1 entre 28 y 63 dds.

Potasio. La concentración de este nutriente en bulbos y hojas mostró diferencias ($P < 0.01$) entre tratamientos y épocas. En el T0, la concentración más alta de potasio en bulbos (3.9%) se presentó 49 dds y la mínima (1.2%) 98 dds. En el T2, las concentraciones más altas en hojas se observaron a 49, 77 y 98 dds; mientras que en T1 ocurrieron a 28 y 63 dds. Estas oscilaron entre 4.1 y 7.2%.

Calcio. Se encontraron diferencias ($P < 0.01$) entre épocas de muestreo, pero no entre tratamientos. Las mayores concentraciones de este nutriente se observaron en todos los tejidos de la planta con la aplicación de dosis

Cuadro 4. Relaciones significativas entre variables productivas de *Zantedeschia elliptiana*

Variable	r	Significancia
MS hojas 49 dds/N° total flores	0.631	*
MS hojas 63 dd/ N° flores comerciales	0.641	*
MS bulbo/MS hojas	-0.362	**
MS bulbo/MS flores	-0.335	**
Peso inicial bulbo/MS hojas 63 dds	0.699	*
Peso inicial de bulbo/ N° flores comerciales	0.619	*
Peso inicial de bulbo/ N° total de flores	0.807	**

* Significativo ($P < 0.05$). ** Altamente significativo ($P < 0.01$). r= Coeficiente de correlación.

baja de fertilización que correspondieron al T3. En los bulbos, la concentración máxima (2.83%) se presentó 49 dds y la mínima (0.42%) a 140dds, lo que muestra que la traslocación de calcio desde los tejidos aéreos hacia los bulbos es mínima durante la fase de senescencia. La concentración en hojas incrementa de forma gradual entre 28 y 63 dds, disminuye durante la época floración y aumenta alcanzando un máximo a 98dds, periodo en que se disminuye el riego y las plantas inician el proceso de senescencia. La mayor concentración (1.55%) se encontró 98 dds y la mínima (0.67%) 28 dds. Estos resultados coinciden con los niveles de suficiencia de Ca^{++} a nivel foliar y la dinámica de absorción del elemento reportados por Clemens *et al.* (1998) para *Z. albomaculata*.

Magnesio. Se encontraron diferencias ($P < 0.01$) entre épocas de muestreo para la concentración de este nutriente en bulbos y hojas. Los contenidos de magnesio en bulbo fueron más altos entre 28 y 63 dds, lo que coincide con las etapas de mayor consumo de agua y mayor crecimiento. A partir de esta última edad el magnesio disminuye de manera gradual hasta el final del ciclo vegetativo. Las concentraciones en bulbo variaron entre un máximo (0.68%) a 49 dds y un mínimo (0.12%) a 140dds. En hojas, las concentraciones del elemento disminuyeron gradualmente hasta la semana 7 y luego se incrementan nuevamente entre las semanas 8 y 14. La máxima concentración (0.28%) ocurrió 28 dds y la mínima (0.17%) a 77 dds. Según Clemens *et al.* (1998) las concentraciones óptimas de magnesio a nivel foliar para *Z. albomaculata* varían entre 0.13 y 0.2%. En el presente estudio, las concentraciones tanto en bulbos como en hojas, en todos los tratamientos y épocas de muestreo, fueron superiores a estos valores.

Azufre. En los bulbos hubo diferencias ($P < 0.01$) para la concentración de este nutriente entre épocas de muestreo. El valor máximo (0.68%) se presentó 49dds y el mínimo (0.18%) a 140dds. En hojas no se hallaron diferencias estadísticas por efecto de tratamientos ni de épocas de muestreo. El azufre es un elemento importante y su deficiencia ocasiona una disminución en la tasa de crecimiento de las raíces

de las plantas, reduce la conductividad hidráulica, afecta la apertura estomática y por tanto, la tasa fotosintética. *Zantedeschia elliotiana* es muy susceptible al estrés por sequía, por ello la baja absorción de este elemento podría ocasionar una menor capacidad para regular la economía del agua y afectar la absorción de los demás elementos, en especial calcio.

Hierro. Las concentraciones de este elemento fueron altas en bulbos durante 49 dds, para luego disminuir gradualmente hasta el final del ciclo. La concentración del elemento en hojas mostró diferencias ($P < 0.01$) entre tratamientos y épocas y aumentó hasta 98 dds. Las dosis bajas de fertilización estuvieron asociadas con una mayor concentración del elemento en bulbos y en los órganos aéreos. En los primeros, el valor máximo fue de 705.9 mg/kg a 49dds y el mínimo de 123.3 mg/kg a 140dds. En hojas, los contenidos de hierro decrecieron entre la siembra y la floración a partir de la cual incrementan rápidamente hasta la entrada en la etapa de senescencia. La mayor concentración (208 mg/kg) se encontró en el T3 a 98dds, coincidiendo con las concentraciones más altas de P y Ca. La menor concentración (48.66 mg/kg) se encontró en T0 a 77dds.

Manganeso. La concentración más alta en bulbos ocurrió 49 dds, mientras que en hojas se presentaron dos picos de máxima concentración, uno entre 49 y 63 dds y el otro a 98 dds. La máxima concentración de este elemento tanto en bulbos como en hojas estuvo asociada con las dosis altas de fertilización correspondientes a T0 y T1. En bulbos, la concentración máxima (205 mg/kg) fue de 205 a 98dds y la mínima ocurrió a 49dds. En hojas se encontraron diferencias ($P < 0.01$) entre tratamientos y entre épocas. Las concentraciones más altas (789 y 1029 mg/kg) se obtuvieron con el tratamiento T0 a 63 y 98 dds, respectivamente. La concentración mínima (285 mg/kg) ocurrió con el tratamiento T1 a 28dds. A pesar de los altos contenidos de este elemento en las hojas, no se observaron síntomas de toxicidad debido a que las especies bulbosas presentan toxicidad a concentraciones mucho más elevadas y a que la baja luminosidad en la zona no la favorece (Domínguez, 1989).

Zinc. En los bulbos se presentó un nivel máximo a 49 dds para luego decrecer hasta un mínimo a 140dds. Los valores extremos de concentración de zinc fueron de 481.66 mg/kg a 49 dds y 90.33 mg/kg a 140dds. Por el contrario, en hojas las concentraciones incrementaron durante las primeras semanas, decrecieron a los 77dds e incrementaron hasta un máximo a los 98 dds. Los valores extremos fueron de 241 mg/kg a 140dds y 83 mg/kg a 28dds.

Cobre. Las concentraciones en bulbo mostraron diferencias ($P < 0.01$) entre tratamientos y entre épocas, siendo más altas en el tratamiento T3. El valor máximo fue de 213 mg/kg a 49 dds y el mínimo (10 mg/kg) se presentó en el tratamiento T1 a 140 dds. Durante las primeras 7 semanas, en las fases de crecimiento activo y la ventana de floración, se observó una reducción drástica de este elemento en los bulbos. En las hojas la máxima concentración ocurrió a 98 dds, al inicio de la etapa de senescencia. Los valores extremos en láminas foliares variaron entre 13 mg/kg a 28dds y 2.66 mg/kg a 63dds, ambos en el T3. En este ensayo los contenidos iniciales de cobre en bulbo fueron de 86.75 mg/kg y fueron mayores que los encontrados por Clark *et al.* (1991) de 2.28 mg/kg.

Boro. En los bulbos la concentración máxima de este elemento fue de 41 mg/kg a 49 dds y la mínima de 8.66 mg/kg a 140dds. En las hojas se presentaron puntos máximos de absorción, entre 49 y 63 dds durante la floración y al final del ciclo, y durante la etapa de senescencia a 98 dds. Las concentraciones variaron entre 15.33 mg/kg a 28 dds y 42 mg/kg a 98 dds.

Tendencias de la absorción de nutrientes

En el Cuadro 5 se observa la dinámica de absorción de nutrientes durante el ciclo de cultivo. Las tasas de absorción de N, P y Cu siguen una tendencia similar, con una reducción gradual en bulbos y en la parte aérea a través del ciclo del cultivo. Las tasas de absorción de K, S, Ca, Mg, Mn, Zn y B siguen una tendencia similar con picos de máxima absorción en bulbo al inicio de la floración y una disminución drástica de la concentración a nivel foliar 77 dds, coincidiendo con el final

de la floración, para finalmente aumentar nuevamente hasta la entrada en senescencia. La absorción de P no sólo fue limitada por el pH del sustrato que se reduce durante el ciclo de cultivo por el efecto acidificante de las fuentes fertilizantes, sino también por la alta absorción de Zn, Mn y Cu. Con pH próximo a 6 se puede esperar una menor disponibilidad y absorción de elementos menores y por tanto, mayor disponibilidad y absorción de P, sin ser afectada por antagonismos con microelementos. Las concentraciones de macronutrientes foliares presentaron el orden siguiente: $K > N > Ca > S > Mg > P$. En los bulbos, siguieron la tendencia siguiente: $N > K > Ca > S > Mg > P$. Las concentraciones de micronutrientes a nivel foliar se presentaron en el orden: $Mn > Fe > Cu > Zn > B$.

Asociación entre concentración de nutrientes y variables productivas

El análisis de varianza de la regresión entre producción de tallos florales comerciales y los contenidos foliares de N, Mg, Cu y B, 49 dds fue altamente significativo ($P < 0.001$, $R^2 = 0.9$). Se encontró una relación directa entre el número de tallos comerciales y los contenidos foliares de Mg y B e inversa con los contenidos de Cu y N (Cuadro 6). El modelo que mejor explica la producción de tallos comerciales en función de los contenidos de Mg, Cu, B y N 49 dds es el siguiente:

$$\begin{aligned} \text{No. tallos comerciales} &= 16.14 + 101.771 \\ &\text{Mg} - 1.268\text{Cu} + 0.5 \text{B} - 7.935 \text{N} \end{aligned}$$

El análisis de regresión entre el porcentaje de tuberización y los contenidos foliares de Mg y B, 63 dds, fue altamente significativo ($P < 0.001$, $R^2 = 0.797$) y significativo ($P < 0.05$, $R^2 = 0.73$) para contenidos de Ca, Mg y S, 77 dds (Cuadro 7). El modelo que mejor explica el porcentaje de tuberización en función de los contenidos de Mg y B, 63 dds, es el siguiente:

$$\text{Tuberización (\%)} = 191 - 421.53\text{Mg} - 0.824\text{B}$$

El modelo que mejor explica el porcentaje de tuberización en función de los contenidos de Ca, Mg y S, 77 dds, es el siguiente:

$$\text{Tuberización (\%)} = -31.39 + 53.35\text{Ca} + 221.9\text{Mg} + 34.59\text{S}$$

Cuadro 5. Absorción diferencial de nutrientes en *Zantedeschia elliotiana* variedad Cristal Blush.

Nutriente/ parte planta	Bulbos A.S. ^a	Época de desarrollo, días después de siembra						Pr>F por fuente de variación		
		28	49	63	77	98	140	R ²	Trat.	Época
N bulbo	20.47	34.8	34.9	39.9	29	22.63	23.56	0.739	<0.001	<0.001
hoja		52.2	43.8	41.8	35.1	34.8	—	0.894	0.43	<0.001
flor		—	47	36.4	—	—	—	0.813	0.39	<0.001
P bulbo	3.9	4.46	3.5	1.93	1.06	1.16	1.7	0.793	0.19	<0.001
hoja		4.8	2.46	1.9	1.7	1.4	—	0.963	0.78	<0.001
flor		—	4.6	2.16	—	—	—	0.878	0.67	<0.001
K bulbo	6.54	23.56	31.7	29.6	23.56	14.4	13.93	0.827	0.04	<0.001
hoja		53.3	61.3	71	61.6	62	—	0.813	<0.001	<0.001
flor		—	50.63	51.66	—	—	—	0.136	0.67	0.32
Ca bulbo	5.95	13.85	28.3	17	9.9	5.8	4.5	0.883	0.15	<0.001
hoja		8.5	9.7	11.6	8.2	15.6	—	0.90	0.23	<0.001
flor		—	6.5	5.1	—	—	—	0.511	0.91	<0.001
Mg bulbo	1.92	4.9	5.7	4	2.7	0.47	1.44	0.868	0.11	<0.001
hoja		2.8	2.6	2.4	2	2.6	—	0.75	0.34	<0.001
flor		—	2.6	1.6	—	—	—	0.862	0.246	<0.001
S bulbo	2	5.8	6.8	6.4	3.7	2.7	1.88	0.83	0.06	<0.001
hoja		4.5	6.1	4.46	4.7	5.9	—	0.60	0.47	<0.001
flor		—	4.6	3.1	—	—	—	0.731	0.011	<0.001
Fe bulbo	205.75	611.6	785.66	603	252.66	274	100.33	0.655	0.89	<0.001
hoja		104.33	85.6	64.6	62.66	207	—	0.742	0.04	<0.001
flor		—	130	41.66	—	—	—	0.464	0.53	0.003
Mn bulbo	207	828.5	1178	703	565	298	326	0.566	0.87	<0.001
hoja		344.66	603	692	655	804	—	0.808	0.03	<0.001
flor		—	380	245	—	—	—	0.668	0.228	<0.001
Zn bulbo	148	258	481.66	317.6	222	129	121	0.755	0.12	<0.001
hoja		108	149	170	157	227	—	0.78	0.20	<0.001
flor		—	143.6	118	—	—	—	0.175	0.609	<0.001
Cu bulbo	86.75	139	213	129	45	31.3	18	0.76	0.04	<0.001
hoja		13	4.6	5.3	5	5	—	0.784	0.28	<0.001
flor		—	7	4	—	—	—	0.565	0.088	0.001
B bulbo	8.5	33.5	41	23	15.3	13.6	8.6	0.919	0.76	<0.001
hoja		21.33	25	27.3	20.3	37.3	—	0.522	0.72	<0.001
flor		—	24.66	13.66	—	—	—	0.331	0.584	0.014

A.S. = Contenidos en bulbo Antes de siembra. N, P, K, Ca, Mg, S en g/kg. Fe Mn, Zn, Cu, B en mg/kg Significativo (P< 0.05) Altamente significativo (P < 0.001).

Cuadro 6. Significancia de variables que influyen sobre la producción de tallos comerciales en *Zantedeschia elliotiana*

Variables	Coeficientes No estandarizados		Coeficientes estandarizados	Estadístico de prueba	Significancia
	B ¹	Error estándar	Beta ²	T ³	Pr > F
Intercepto	16.4	14.999	—	1.093	0.310
Magnesio	101.771	25.419	0.496	4.004	0.005
Cobre	-1.268	0.363	-0.419	-3.495	0.0100
Boro	0.500	0.152	0.425	3.292	0.0130
Nitrógeno	-7.935	2.779	-0.357	-2.855	0.0250

¹B: coeficiente de regresión no estandarizado. ²Beta: coeficiente de regresión estandarizado. ³t: estadístico de prueba para contraste de hipótesis.

Cuadro 7. Significancia de variables que influyen sobre el porcentaje de tuberización en *Zantedeschia elliotiana*.

Variable dependiente	Variables	B ¹	Error estándar	Beta ²	T ³	Pr>F
Porcentaje de tuberización	Intercepto	191.001	24.971		7.649	0.000
	Magnesio 63 dds	-421.535	107.218	-0.613	-3.932	0.003
	Boro 63 dds	-824	.253	-0.507	-3.255	0.010
	Intercepto	-31.398	23.089		-1.360	0.211
	Calcio 77 dds	53.367	25.390	0.460	2.102	0.069
	Magnesio 77 dds	221.944	124.550	0.371	1.782	0.113
	Azufre 77 dds	34.598	31.897	0.239	1.085	0.310

¹B: coeficiente de regresión no estandarizado. ²Beta: coeficiente de regresión estandarizado. ³t: estadístico de prueba para contraste de hipótesis.

Estos resultados muestran cómo las cantidades de elementos y las relaciones entre ellos varían a través del ciclo e influyen sobre los parámetros productivos de interés comercial como la productividad de tallos florales y la cantidad y calidad de bulbos cosechados.

Con base en los patrones de absorción de nutrientes, a la extracción total en cada etapa de desarrollo en el tratamiento con mejor comportamiento de variables productivas, a la distribución de la cosecha y la eficiencia en la absorción de nutrientes, se establecieron los requerimientos de fertilización y el fraccionamiento de las dosis durante el ciclo de cultivo, como se observa en el Cuadro 8. Estos requerimientos fueron calculados para una producción de 160 tallos comerciales/m² equivalente a 12.7 t/ha, y 21.7 t/ha de bulbos,

obtenidas a partir de bulbos de primer ciclo de siembra con peso inicial promedio de 47 g.

Conclusiones

- Una absorción de nutrientes balanceados, requiere que el pH del sustrato de siembra sea superior a 5.5. Con valores inferiores se restringe la absorción de P, Ca y S, se incrementa la absorción de microelementos y se crean desbalances en las relaciones de nutrientes, lo cual afecta la producción del cultivo, como se evidenció con un pH final de 4.5.
- Las dosis altas de fertilización se relacionan con una mayor acumulación de materia seca en bulbos y una menor producción de tallos florales durante el primer ciclo de siembra.

Cuadro 8. Porcentajes de extracción y requerimientos (kg/ha) de elementos nutritivos de *Zantedeschia elliotiana* establecida con bulbos de primer ciclo.

Nutrimento	Intervalos (semanas)				Total
	1 - 5	6 - 8	9 - 11	12 - 15	
Nitrógeno					
Porcentaje de extracción	0.27	0.18	0.31	0.24	1
Requerimiento	67	44	77	60	248
Fósforo					
Porcentaje de extracción	0.24	0.26	0.26	0.24	1
Requerimiento	10.00	11.00	11.00	10	42
Potasio					
Porcentaje de extracción	0.2	0.23	0.34	0.23	1
Requerimiento	60.00	70.00	105.00	70.00	305.00
Calcio					
Porcentaje de extracción	0.23	0.27	0.35	0.15	1
Requerimiento ¹	24.00	28.00	36.00	15.00	103
Magnesio					
Porcentaje de extracción	0.33	0.24	0.24	0.19	1
Requerimiento	7.00	5.00	5.00	4.00	21
Azufre					
Porcentaje de extracción	0.21	0.27	0.37	0.15	1
Requerimiento	7.00	9.00	12.50	5.00	33.5
Hierro					
Porcentaje de extracción	0.22	0.43	0.29	0.06	1
Requerimiento	0.35	0.70	0.48	0.10	1.63
Manganeso					
Porcentaje de extracción	0.32	0.31	0.25	0.12	1
Requerimiento	0.95	0.91	0.75	0.35	2.96
Zinc					
Porcentaje de extracción	0.21	0.26	0.18	0.35	1
Requerimiento	0.24	0.30	0.20	0.40	1.14
Cobre					
Porcentaje de extracción	0.27	0.23	0.30	0.20	1
Requerimiento	0.03	0.02	0.03	0.0200	0.1
Boro					
Porcentaje de extracción	0.24	0.31	0.22	0.23	1
Requerimiento	0.040	0.050	0.037	0.037	0.16

- El peso inicial de bulbo, el peso seco de hojas, las concentraciones de N, Ca, Mg y B en bulbo y las concentraciones foliares de N, Mg y Cu al comienzo de la época de floración, inciden directamente sobre el número de tallos comerciales, mientras que los contenidos foliares de Ca, Mg y S durante las semanas 7 a 10, inciden directamente sobre el porcentaje de tuberculización.
- Los requerimientos de nutrientes para una producción de 160 tallos comerciales/m² y 21.7 t/ha de bulbos se pueden satisfacer con (kg/ha): 248(N), 42(P), 305(K), 103(Ca), 21(Mg) y 33(S), cuando se siembran bulbos de primer ciclo con peso promedio de 47 g. Para el cálculo de estas cantidades se

tuvo en cuenta la extracción total por los tejidos de la planta.

Agradecimientos

A la Universidad Nacional de Colombia y a la Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD, por la financiación del proyecto, a la empresa Crystal Flowers Ltda., por el apoyo logístico para la puesta en marcha del ensayo de campo. Al Grupo de Investigación en Uso y Manejo de Suelos y Aguas con énfasis en degradación de suelos de la UNAL. A la doctora Beatriz Mejía, Jefe del Departamento de Análisis de Tejidos de Cenicafé por el análisis químico de las muestras.

Referencias

- Bloomz. 2004. Guidelines for pot growers. Technical bulletin series C001/00.2004. *Zantedeschia* (Calla Lily) production. Nueva Zelanda. Callafornia Callas.
- Clemens, J.; Dennis, D.; Butler, R.; Thomas, M.; Ingle, A.; Welsh, T. 1998. Mineral nutrition of *Zantedeschia* plants affects plant survival, tuber yield and flowering upon replanting. *J. Hort. Sci. Biot.* 73(6):755 - 762.8.
- Clark, C. J.; Bolding, H. L. 1991. Biomass and mineral nutrient partitioning in relation to seasonal growth of *Zantedeschia*. *Sci. Hort.* 47:125 - 135 p.
- Dominguez, V. A. 1989. Tratado de fertilización. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. España. 601 p.
- Fageria, N. K.; Baligar, V. C.; Clark, R. B. 2006. Physiology of crop production. Haworth Press. 345 p.
- Funnell, K. A.; Hewett, E.; Warrington, I.; Pummer, J. 1998. Leaf mass partitioning as a determinant of dry matter accumulation in *Zantedeschia*. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 123 (6):973 - 979.
- Furlani, P. R. 2003. Nutrición mineral de plantas en sistemas hidropónicos. Instituto Agronómico de Campinas. Sao Paulo, Brasil. Red Hidroponía . Bol. Inf. no. 21. (Disponible en: <http://www.lamolina.edu.pe/hidroponia/boletin21/default.htm> /12-08-2006)
- Funnell, K. A. 1994. The genus *Zantedeschia*: Botanical classification and morphology. Calla Growers' Handbook . Massey University. Palmerston North. Disponible en: http://www.callacouncil.org.nz/e_books.asp?id=list&bID=1/12/08/2006)
- Gracia-Garza, J. A.; Blom, T. J.; Brown, W.; Roberts, D. P.; Schneider, K.; Freisen, M.; y Gombert, D. 2006. Increased incidence of erwinia soft-rot on Calla Lilies in the presence of phosphorous. *Europ. J. Plant Pathol.* 110(3).
- Graham, R. D. 1983. Effects of nutrient stress on susceptibility of plants to disease with particular reference to de trace elements. En: H. W. Woolhouse (ed.). *Adv. Bot. Res.* 10:221-276.
- Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. 2nd edition. Academic Press. Londres.
- Phyton Corporation. 2004. Calla Lily. Technical bulletin. Savvy Growers Rely On Phyton -27. (Disponible en <http://www.phyton27.com/guidelines/App-guidelines04/Calla.pdf>/ Fecha de acceso: 03-06-2006).
- Scagel, C. F.; Schreiner, R. P. 2006. Phosphorus supply alters tuber composition, flower production and mycorrhizal responsiveness of container-grown hybrid *Zantedeschia*. *Plant Soil* 283:323-337.
- Wright, P. J.; Triggs, C. M.; Burge, G. K. 2005. Control of bacterial soft rot of calla (*Zantedeschia* spp.) by pathogen exclusion, elimination and removal. *N.Z. J. Crop Hort. Sci.* 33:117 - 123.