

LA RELACIÓN K^+/Ca^{2+} DE LA SOLUCIÓN NUTRITIVA AFECTA EL CRECIMIENTO Y CALIDAD POSTCOSECHA DEL TULIPÁN

K^+/Ca^{2+} RATIO OF THE NUTRIENT SOLUTION AFFECTS GROWTH AND POSTHARVEST QUALITY TULIP

Maribel Ramírez Martínez¹, Libia I. Trejo-Téllez^{1*}, Fernando C. Gómez Merino²
y Prometeo Sánchez García¹

¹Campus Montecillo, Colegio de Postgraduados. Carr. México-Texcoco km. 36.5 56230, Montecillo, México. Tel y Fax 01 (595) 95 101 98. ²Campus Córdoba, Colegio de Postgraduados. Carr. Federal Córdoba-Ver. km 348 C.P. 94946, Córdoba, Veracruz.

* Autor para correspondencia (tlibia@colpos.mx)

RESUMEN

El tulipán (*Tulipa gesneriana* L.) es una especie de importancia ornamental, así como para las industrias de cosméticos y farmacéutica. Para su cultivo se requieren condiciones edafoclimáticas especiales y se conoce poco sobre los requerimientos nutrimentales para su óptima producción, en especial de las proporciones potasio/calcio (K^+/Ca^{2+}) utilizables bajo producción en hidroponía. En esta investigación se evaluó el efecto de nueve relaciones K^+/Ca^{2+} (5.5/7.5, 5.5/9.0, 5.5/10.5, 7.0/7.5, 7.0/9.0, 7.0/10.5, 8.5/7.5, 8.5/9.0 y 8.5/9.0 mol m^{-3}) de la solución nutritiva preparada mediante el método propuesto por Steiner, sobre indicadores de crecimiento y calidad postcosecha del tulipán cv. 'Ile de France'. Este cultivar de tulipán mostró respuestas diferenciales a la relación K^+/Ca^{2+} en la solución nutritiva. La mejor respuesta correspondió a la relación K^+/Ca^{2+} 8.5/9.0, donde registró la mayor altura de tallos florales, firmeza, contenido de clorofilas al final de la vida de florero, azúcares totales y vida de florero. En cuanto a la partición de K^+ y Ca^{2+} en la planta, se observó que para K^+ no se encontró una tendencia de acumulación definida que pudiera ser atribuida a los tratamientos. El Ca^{2+} sí afectó la calidad y vida de florero. En plantas con la relación 8.5/9.0 se encontró la menor relación de acumulación de Ca bulbo/vástago y la menor relación de acumulación de Ca^{2+} tallo/hoja, lo que implica mayor acumulación de Ca^{2+} en vástago que en bulbo, y hubo mayor acumulación de Ca^{2+} en hojas que en tallo, lo cual se refleja en una mejor respuesta de crecimiento y de calidad postcosecha.

Palabras clave: *Tulipa gesneriana*, carbohidratos, clorofila, calcio, potasio.

SUMMARY

Tulip (*Tulipa gesneriana* L.) is a plant species of importance for floriculture, and for the industries of cosmetics and pharmaceuticals. For its production, this species needs particular soil and weather conditions and little is known about its nutritional requirements for optimal production, particularly the potassium/calcium ratios in hydroponics. In this study we evaluated the effect of nine ratios of K^+/Ca^{2+} (5.5/7.5; 5.5/9.0; 5.5/10.5; 7.0/7.5; 7.0/9.0; 7.0/10.5; 8.5/7.5; 8.5/9.0; y 8.5/9.0 mol m^{-3}) in Steiner's universal nutrimental solution, by measuring growth indicators and posthar-

vest quality of tulip cv. 'Ile de France'. This cultivar showed differential responses K^+/Ca^{2+} ratios in the nutrient solution. The best response was produced by K^+/Ca^{2+} of 8.5/9.0 mol m^{-3} , in which the highest and strongest flower stem, highest levels of total chlorophylls in leaves and sugars in petals, and the longest postharvest life were registered. As for K and Ca partitioning in the plant, we observed that K^+ did not accumulate in a particular trend related to treatments, whereas, Ca^{2+} affected flower quality and postharvest life. Plants in the 8.5/9.0 ratio showed the lowest Ca^{2+} accumulation ratios both in bulb/stem and in stem/leaf, and Ca^{2+} accumulated higher in leaves than in stems, thus improving growth responses and postharvest quality.

Index words: *Tulipa gesneriana*, carbohydrates, chlorophylls, calcium, potassium.

INTRODUCCIÓN

El tulipán (*Tulipa gesneriana* L.) es el cultivo ornamental de bulbo más importante en el mundo. Sus pigmentos son utilizados en la industria de cosméticos y sus extractos en la industria farmacéutica. A escala global se cultivan aproximadamente 20 000 ha, y Holanda es el principal país productor, con una superficie sembrada de 11 000 ha (van Tuyl y van Creijl, 2003). A pesar de su importancia social y económica, en México sólo se siembran 4000 ha de esta especie, debido a que es un cultivo que requiere condiciones edafoclimáticas especiales y se conoce poco sobre los requerimientos nutrimentales de la planta.

Una óptima nutrición del tulipán, particularmente con potasio (K) y calcio (Ca), es determinante para el crecimiento de la planta y para la calidad de los tallos florales y vida postcosecha de la flor. Nelson y Niedziela Jr. (1998) observaron que el suministro de Ca^{2+} incrementa la altura de la planta y peso de materia seca. La deficiencia de este nutrimento produce tallos frágiles,

aborto de yemas florales, pigmentación púrpura y áreas agrietadas en las hojas (Nelson *et al.*, 2003). Según Vidale (2001), la deficiencia de Ca en tulipán puede provocar una alteración fisiológica conocida como “aceite”, la cual consiste en el rompimiento de la flor. El “vuelco del tulipán” es descrito como un síntoma de deficiencia de Ca, caracterizado por el doblamiento de pedúnculos a la altura del cuello de la planta, al formarse la flor (Miller, 2008).

En rosa (*Rosa hybrida* L.), la aplicación de Ca²⁺ promueve el crecimiento de la planta y permite mantener la integridad de las membranas en los pétalos, reduce la producción de etileno, facilita el transporte de solutos y en tallos aumenta la firmeza (Torre *et al.*, 1999). En plantas de tulipán el K favorece la rigidez de los tallos, mejora la síntesis y migración de glúcidos hacia el bulbo y en la flor incrementa la coloración y vida postcosecha (Armstrong, 2002). Ante una deficiencia de potasio ocurre una marcada reducción de la longitud en el tercio basal de las plantas, que en ocasiones puede ir acompañada de necrosis; este síntoma es especialmente notorio en clavel (*Dianthus caryophyllus*), rosa y pompón (*Dendranthema glandiflorum*). En zinnia (*Zinnia elegans*) cv. ‘Blue Point’, la fertilización con potasio incrementó el tamaño de la flor y la duración de la vida de florero (Abbasi *et al.*, 2004).

Se han detectado deficiencias de Ca especialmente cuando su absorción es afectada por altos niveles de K (Bar-Tal y Pressman, 1996). En frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) se reportó que la absorción de calcio y magnesio se relacionan de manera positiva con la relación Ca²⁺/K⁺ de la solución nutritiva (Peñalosa *et al.*, 1995). En rosa, una alta concentración de K⁺ inhibe la absorción de Ca²⁺ (Baas *et al.*, 1998). Dada la influencia del K⁺ en la absorción de Ca²⁺ y la escasa investigación acerca de las óptimas concentraciones K⁺/Ca²⁺ para el cultivo hidro-

pónico de tulipán, el objetivo de esta investigación fue estudiar el efecto de variar la relación K⁺/Ca²⁺ en el crecimiento de la planta, en la calidad y en la vida de florero, así como en la acumulación de K⁺ y Ca²⁺ en el tulipán.

MATERIALES Y MÉTODOS

Condiciones experimentales y material vegetal

La investigación se hizo en condiciones de invernadero tipo cenital de estructura metálica cubierto con plástico blanco lechoso (calibre 720). Durante la fase experimental las temperaturas máxima y mínima durante el día fueron de 26.2 y 14.3 °C, respectivamente, y por la noche fueron de 11.7 y 2.2 °C, respectivamente. La humedad relativa registrada durante el día fue en promedio de 58.7 %, mientras que la nocturna de 72.1 %. El máximo flujo luminoso durante el día dentro del invernadero en esta investigación fue de 1471 lumens cm⁻² y el mínimo de 6 lumens cm⁻².

Se utilizaron bulbos de tulipán cv. ‘Ile de France’ de 12 cm de diámetro, cuyo ciclo de crecimiento es precoz (de 70 a 90 d) y la planta alcanza una altura promedio de 45 cm.

Tratamientos y diseño experimental

Se evaluaron varias relaciones de K⁺/Ca²⁺ en la solución nutritiva de Steiner (Steiner, 1984), derivadas de tres niveles de cada elemento y cuyas combinaciones dieron origen a nueve tratamientos (Cuadro 1); como referencia se usó la relación K⁺/Ca²⁺ de la solución nutritiva de Steiner (7/9 mol_e m⁻³). El diseño experimental fue completamente al azar con arreglo factorial 3², con 10 repeticiones. Las unidades experimentales fueron macetas de plástico de 2 L de capacidad, cada una con una planta.

Cuadro 1. Composición (mol_e m⁻³) de las soluciones nutritivas evaluadas y sus relaciones K⁺/Ca²⁺.

Relación K ⁺ /Ca ²⁺	NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻²	SO ₄ ⁻	K ⁺ †	Ca ^{+2†}	Mg ⁺²
5.5/7.5	12.107	1.009	7.062	6.528	8.902	4.748
5.5/9.0	12.215	1.018	7.126	6.053	9.904	4.402
5.5/10.5	12.308	1.025	7.178	5.641	10.768	4.102
7.0/7.5	11.887	0.991	6.934	7.496	8.032	4.284
7.0/9.0	12.000	1.000	7.000	7.000	9.000	4.000
7.0/10.5	12.098	1.008	7.058	6.565	9.848	3.751
8.5/7.5	11.707	0.976	6.830	8.293	7.318	3.902
8.5/9.0	11.821	0.985	6.896	7.789	8.248	3.665
8.5/10.5	11.922	0.994	6.954	7.342	9.072	3.456

†Los valores de K⁺ y Ca²⁺ difieren de las relaciones propuestas en la primera columna, debido a que se modificaron al realizar el ajuste en el potencial osmótico a un valor de - 0.072 MPa.

Sustratos y soluciones nutritivas

La siembra de bulbos se hizo en un sustrato correspondiente a una mezcla 70/30 (v/v) de tezontle de 3 mm (grava volcánica, pH de 7.3 y CE de 0.15 dS m⁻¹) y el sustrato comercial Promix® (combinación de helecho Sphagnum, perlita y vermiculita, pH de 4.7, y CE de 1.4 dS m⁻¹). La determinación de pH y CE se realizó en el extracto de saturación del tezontle, obtenido con agua destilada (relación agua:tezontle de 1:0.4). La aplicación de los tratamientos (riego con soluciones nutritivas, Cuadro 1) inició 15 d después de la siembra de bulbos (dds), con dosis de 50 mL/maceta de los 15 a 30 dds (riego cada 3 d), 75 mL/maceta de los 31 a 45 dds (riego cada 3 d); y 100 mL/maceta, de 46 a 60 dds (riego diario). En las soluciones nutritivas se adicionó una mezcla de micronutrientes, en las siguientes concentraciones (mg L⁻¹): 1.6 Mn, 0.11 Cu, 0.865 B y 0.023 Zn. El hierro fue abastecido como Fe-EDTA a una concentración de 5 mg L⁻¹ a partir de una solución concentrada preparada según el método descrito por Steiner y van Winden (1970). El pH de la solución nutritiva se ajustó a 5.5 mediante HCl 1 N, y el potencial osmótico se mantuvo en -0.072 MPa.

Variables de respuesta

Altura del tallo floral. Al momento del corte se midió desde la base del tallo (nivel del sustrato) hasta el capullo.

Contenido de azúcares solubles totales. Se cuantificó por el método de Southgate (1976), que emplea antrona, ácido sulfúrico y alcohol al 80 %. La absorbancia se determinó en espectrofotómetro (Bausch & Lomb®, modelo Spectronic 20; Rochester, N. Y., USA) a una longitud de onda de 620 nm, y se utilizó glucosa para elaborar la curva estándar. Las muestras fueron colectadas en dos periodos: al corte de tallos florales para establecimiento en florero (60 dds) y 10 d después del corte (fin de la vida de florero, determinada por una disminución de 60 % en la apertura floral).

Contenido de clorofilas a, b y total. El contenido de clorofilas (clorofila a, b y total), se determinó por el método de Harborne (1973), analizadas en espectrofotómetro marca Bausch & Lomb®, modelo Spectronic 20 (Rochester, New York, USA) a 663 y 645 nm. Las muestras fueron colectadas en dos etapas: al momento del corte (etapa inicial de la vida de florero) y 10 d después del corte (etapa final de la vida de florero).

Firmeza del tallo floral. Se estimó al momento del corte en la parte basal, media y apical, con un texturómetro marca Force Five®, modelo FDV-30 (Greenwich,

Connecticut, USA), provisto con puntal de 1.2 cm de diámetro tipo cincel.

Vida de florero. Para determinarla se registraron las fechas de aparición de síntomas de senescencia, cambios en coloración, excreción de agua, necrosis del perianto, marchitamiento de la corola, caída de pétalos y pérdida diaria de peso, con renovación del agua y cortes de 1 cm de la base del tallo floral cada tercer día.

Partición de K⁺ y Ca²⁺ en la planta. Se estimó con las concentraciones de estos nutrientes y el peso de la materia seca, en cada órgano. Las concentraciones nutricionales en tejido fueron determinadas mediante digestión húmeda del material seco con una mezcla de los ácidos perclórico y nítrico (Alcántar y Sandoval, 1999). La lectura de los extractos obtenidos después de la digestión y filtrado se hicieron por espectroscopia de emisión atómica de inducción por plasma (ICP-AES VARIAN® modelo Liberty II; Mulgrave, Australia).

Análisis estadístico

Se hizo con ayuda del programa SAS. Las medias obtenidas se compararon mediante la Prueba de Tukey, con 5 % de probabilidad de error.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Altura del tallo floral. El valor medio más alto ($P \leq 0.05$) para esta variable (49.9 cm) se registró en la relación K⁺/Ca²⁺ de 5.5:7.5 molc m⁻³, mientras que la menor altura (39.2 cm) ocurrió en la relación K⁺/Ca²⁺ 8.5/7.5 (Cuadro 2). Estos resultados indican que altas concentraciones de K en la solución nutritiva inhiben la absorción de Ca, nutriente requerido para la elongación y división celular (Ammann y Blatt, 2009).

Cuadro 2. Altura de planta de tulipán cv. 'Ile de France' al corte nutrido con soluciones con distintas relaciones K⁺/Ca²⁺.

Relación K ⁺ /Ca ²⁺ (molc m ⁻³)	Altura de planta (cm)
5.5/7.5	49.93 a [†]
5.5/9.0	42.30 ab
5.5/10.5	46.40 ab
7.0/7.5	46.10 ab
7.0/9.0	41.73 ab
7.0/10.5	46.57 ab
8.5/7.5	39.17 b
8.5/9.0	48.57 ab
8.5/10.5	47.73 ab

[†] Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05).

Contenido de azúcares solubles totales. La ausencia de carbohidratos en las plantas altera los procesos metabólicos y disminuye la actividad enzimática relacionada con

el metabolismo de azúcares y respiración (Journet *et al.*, 1986; Brouquisse *et al.*, 1992). Una situación similar ocurre en tejidos u órganos de las plantas durante la senescencia o en postcosecha. En este estudio se encontró que el contenido de azúcares solubles totales disminuyó ($P \leq 0.05$) durante el periodo de vida en florero, conforme ocurría la apertura floral en todos los tratamientos (Figura 1). La disminución del contenido de azúcares entre el inicio y fin de la vida de florero fue de 52, 48, 58, 61, 74, 64, 57 y 58 % para las relaciones K⁺/Ca²⁺ de 5.5/7.5, 5.5/9.0, 5.5/10.5, 7.0/7.5, 7.0/9.0, 7.0/10.5, 8.5/7.5, 8.5/9.0 y 8.5/10.5, respectivamente. Según Paulin (1986), los carbohidratos se traslocan de las hojas a las flores. En algunas flores, los niveles de azúcares solubles en pétalos son elevados al momento en que se marchita la flor, lo que indica que las células conservan una cantidad suficiente de reservas en esta etapa (van Doorn, 2001).

Al corte de los tallos florales las diferencias estadísticas ($P \leq 0.05$) encontradas fueron causadas por K, Ca y por su interacción (K x Ca), mientras que al final de vida de florero las diferencias se debieron exclusivamente al Ca. Al corte, los contenidos de azúcares en tallos florales fueron más altos en las relaciones K⁺/Ca²⁺ de 8.5/9.0 y 7.0/10.5, mientras que los menores contenidos se registraron en las relaciones de 5.5/10.0 y 7.0/7.5 (Figura 1A).

Al final de vida de florero, los contenidos de azúcares en pétalos disminuyeron en más de 50 % (Figura 1B). Las relaciones K⁺/Ca²⁺ de 5.5/10.0 y 7.0/7.5 mostraron los menores valores, al igual que en la determinación realizada al corte de tallos florales.

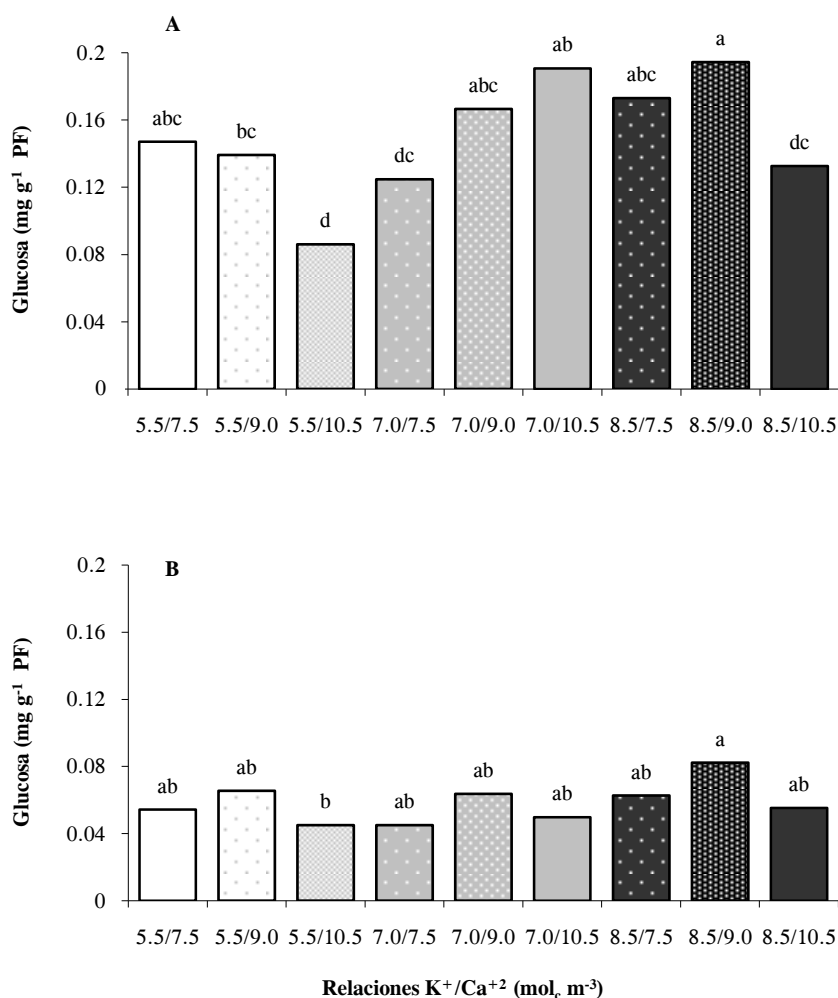


Figura 1. Contenido de glucosa en pétalos de tulipán cv. 'Ile de France' al corte de los tallos florales (60 d después de siembra) (A) y al final de la vida de florero (B), regado con soluciones nutritivas con diversas proporciones K⁺/Ca²⁺. Barras con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05).

Contenido de clorofilas. El tulipán cv. 'Ile de France', mostró diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre tratamientos en las concentraciones de clorofila a (Figura 2A), pero sólo al momento del corte de los tallos florales (60 dds). Dichas diferencias fueron debidas al efecto de Ca, pero no de K ni de la interacción K x Ca. Se observó una disminución en el contenido de clorofila al final de vida de florero (70 dds) con respecto a las concentraciones registradas al corte de los tallos florales (60 dds), excepto en las relaciones 8.5/7.5 y 8.5/9.0, en las que hubo incrementos de 18 y 12 %, respectivamente.

En cambio, para la clorofila b, al momento del corte de tallos florales no hubo diferencias ($P > 0.05$) entre tratamientos. Al final de la vida de florero (70 dds) (Figura 2B) se encontraron diferencias entre tratamientos ($P \leq 0.05$) originadas por el factor K, donde destaca la relación 8.5/9.0 con 6.03 mg de clorofila b por gramo de biomasa fresca. La menor concentración ocurrió en la relación 5.5/9.0 (3.12 mg g⁻¹ de biomasa fresca). Al igual que en la clorofila a al momento del corte de tallos florales, las relaciones 5.5/10.5 y 7.0/7.5 presentaron los valores más altos de clorofila b (7.0 y 6.5 mg g⁻¹ de peso fresco, respectivamente). Al igual que en la determinación de clorofila a, en las relaciones 8.5/7.5 y 8.5/9.0 se observaron incrementos en la concentración de clorofila b al final de la vida de florero (Figura 2B).

Los contenidos totales de clorofila al corte de tallos florales y al final de la vida de florero (60 y 70 dds, respectivamente) también fueron mayores al final de la vida en florero que al momento del corte en las relaciones 8.5/7.5 y 8.5/9.0 (Figura 2C).

Firmeza de tallo. Los tratamientos no afectaron la firmeza del tallo ($P > 0.05$) en ninguna de las mediciones realizadas (tallo basal, medio y superior). Sin embargo, las plantas que estuvieron sometidas a la relación 8.5/9.0 tendieron a mostrar más firmeza en las partes basal y media, en tanto que la relación 7.0/9.0 tendió a ocasionar las menores medias (datos no mostrados). A pesar de que en esta investigación no se tuvieron efectos significativos de los factores de estudio sobre la firmeza, se ha demostrado que el Ca es un nutrimento relacionado con firmeza de frutos y de tallos florales. Por ejemplo, en gerbera (*Gerbera jamesonii* H. Bolus ex Hook. f.) la aplicación de calcio como CaCl₂ además de mantener la integridad de las membranas, de reducir la producción de etileno y de promover el transporte de solutos, aumentó la firmeza del tallo (Albino-Garduño *et al.*, 2008); en manzano (*Malus domestica* Borkh.) se reportó correlación positiva entre el contenido de Ca en fruto y la firmeza de los mismos. Asimismo, en manzano se reportó una

correlación negativa entre firmeza del fruto y la relación K⁺/Ca⁺² (Dilmaghani *et al.*, 2005).

Vida en florero. Como indicador final de vida de florero se consideró la presencia de 71 a 90 % de marchitez total del sépalo, turgencia casi nula, enrollamiento invertido de sépalos, y cambio total a color rojo oscuro opaco. Esta variable mostró diferencias entre tratamientos, y el periodo máximo en florero (mejor respuesta postcosecha) ocurrió en tallos florales de las relaciones 8.5/9.0 y 7.0/9.0, con 9 y 10 d después del corte, respectivamente. Las menores duraciones correspondieron a las relaciones 5.5/9.0, 5.5/10.5 y 7.0/7.5, con valores que fluctuaron entre 5 y 6 d después del corte. Esta variable está determinada generalmente por el tiempo de abscisión de pétalos que se mantienen turgentes o por el tiempo en que éstos se marchitan. En muchas especies la vida de florero es regulada por la presencia de etileno. Cuando entran a su etapa de senescencia, la mayoría de los pétalos adquieren una apariencia traslúcida en el margen, seguido de la pérdida de turgencia y después una ligera desecación (van Doorn, 2001).

En plantas a las que se les suministró solución nutritiva de Steiner a 50 % (relación K⁺/Ca²⁺ de 7.0/9.0), el periodo de vida en florero se mantuvo en 11.3 d/planta, que corresponde a la mayor vida de florero aquí encontrada; la relación K⁺/Ca²⁺ fue de aproximadamente 0.78, que no tuvo la mayor concentración de Ca evaluada. Es evidente entonces que las relaciones entre estos nutrimentos tienen mayor influencia en la vida de florero del tulipán 'Ile de France' que las concentraciones absolutas de los mismos. En rosa de corte se han reportado resultados similares, ya que altas relaciones K⁺/Ca²⁺ disminuyen la calidad decorativa de las flores y la longitud de los tallos; por el contrario, relaciones medias (1:1 K⁺:Ca²⁺), retrasan la senescencia (Mortensen *et al.*, 2001).

Partición de K⁺ y Ca²⁺ en planta. En el Cuadro 3 se muestra la acumulación de K y Ca en los distintos órganos del tulipán. Hubo diferencias entre tratamientos ($P \leq 0.05$) sólo en la acumulación de Ca en tallos y en hojas, pero no en la acumulación de K ($P > 0.05$). La mayor acumulación de ambos cationes se observó en el bulbo, resultado esperado por ser éste un órgano de reserva nutrimental; incluso nutrimentos como nitrógeno incrementan su concentración en el bulbo de tulipán a la cosecha (Artacho-Vargas y Pinochet-Tejos, 2008). Después de los bulbos, la segunda mayor acumulación nutrimental de ambos cationes ($P \leq 0.05$) fue en hojas, que superaron al tallo ($P \leq 0.05$).

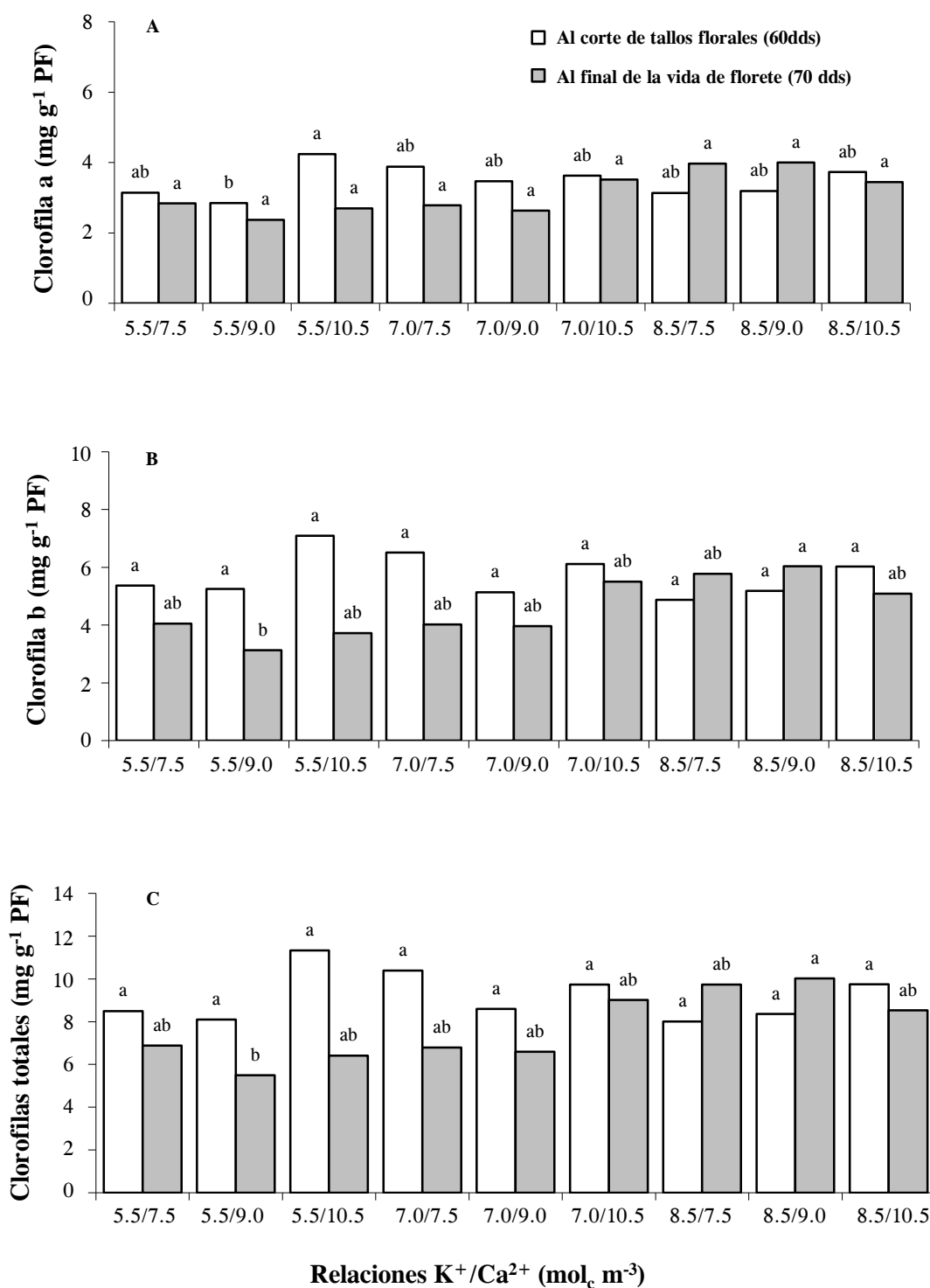


Figura 2. Contenido de clorofilas a (A), b (B) y totales (C) en hojas de tulipán cv. 'Ile de France' al momento del corte de tallos florales (60 d después de la siembra) y después de 10 d en florero (final de la vida de florero), regado con soluciones nutritivas con distintas proporciones K^+/Ca^{2+} . Barras con letras iguales en cada determinación no son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05).

Cuadro 3. Acumulación de K y Ca en órganos de tulipán nutrido con soluciones con distintas relaciones K^+/Ca^{2+} .

Relación K^+/Ca^{2+} (molc m ⁻³)	Acumulación nutrimental en tejido, mg órgano ⁻¹					
	Tallo		Hojas		Bulbo	
	Ca	K	Ca	K	Ca	K
5.5/7.5	4.7 ab [†]	1.8 a	9.0 ab	3.0 a	11.5 a	61.4 a
5.5/9.0	4.5 ab	1.7 a	4.5 ab	2.0 a	10.8 a	60.0 a
5.5/10.5	5.0 a	2.3 a	5.0 a	2.5 a	8.1 a	51.5 a
7.0/7.5	2.6 b	1.6 a	6.0 b	3.0 a	11.6 a	63.6 a
7.0/9.0	4.5 ab	2.2 a	8.5 ab	3.0 a	14.7 a	66.4 a
7.0/10.5	4.2 ab	2.1 a	10.5 ab	4.0 a	12.4 a	59.0 a
8.5/7.5	3.2 ab	1.6 a	8.0 ab	3.0 a	11.1 a	63.6 a
8.5/9.0	3.7 ab	1.9 a	9.0 ab	3.5 a	9.1 a	67.1 a
8.5/10.5	3.6 ab	1.7 a	7.5 ab	3.5 a	10.1 a	79.5 a

[†] Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05).

En tallos la acumulación de Ca fue mayor que la de K, en proporciones que oscilaron entre 38.5 y 61 %, valores registrados en las relaciones 5.5/9.0 y 7.0/7.5, respectivamente. La tendencia de acumulación en hojas fue similar a la registrada en tallos, porque también tuvieron mayor contenido de Ca que de K y con relaciones de acumulación K^+/Ca^{2+} del orden de 0.33 a 0.50.

Al comparar las relaciones de acumulación de los nutrientes entre los órganos, la menor relación bulbo/vástago (incluyendo éste último tanto hojas como tallo) de Ca se presentó en la relación 8.5/9.0 (0.71), lo que indica que el vástago tuvo más Ca que el bulbo. Las menores relaciones de acumulación de Ca en tallo/hoja (0.40 a 0.41) se encontró en flores de las plantas sometidas a las proporciones 7.0/10.5, 8.5/7.5 y 8.5/9.0, que indica que existió mayor contenido de Ca en hojas que en tallo. En contraste, los valores más altos para relaciones de Ca tallo/hoja (alrededor de 1) fueron registradas en las relaciones K^+/Ca^{2+} de 5.5/9.0 y 5.5/10.5.

La acumulación de K en tallo y en hojas de tulipán representó sólo 3 y 4.8 % respectivamente, del contenido de este nutrimento en bulbo. Las relaciones bulbo/vástago no mostraron tendencia alguna que pueda ser atribuida a los tratamientos evaluados; éstas fueron las siguientes: 12.14, 17.04, 10.98, 14.20, 12.96, 10.10, 13.61, 12.47 y 15.76, para las relaciones K^+/Ca^{2+} de 5.5/7.5, 5.5/9.0, 5.5/10.5, 7.0/7.5, 7.0/9.0, 7.0/10.5, 8.5/7.5, 8.5/9.0 y 8.5/10.5, respectivamente. La mayor relación de acumulación de K tallo/hojas fue registrada en los tratamientos con las menores concentraciones de K (5.5/7.5, 5.5/9.0 y 5.5/10.5) que tuvieron el menor suministro de K; en contraste, la menor relación fue registrada en los tratamientos con mayor suministro de K.

CONCLUSIONES

El cultivo de tulipán mostró respuestas diferenciales a las distintas proporciones K^+/Ca^{2+} en la solución nutritiva, lo cual indicó que los contenidos nutrimentales del

bulbo no fueron suficientes para abastecer el cultivo. La mejor respuesta en calidad postcosecha se registró en la relación K^+/Ca^{2+} de 8.5/9.0 molc m⁻³, en la que se observaron las mayores concentraciones de azúcares al momento del corte y al final de la vida de florero, clorofila b final y clorofilas totales finales; como consecuencia tuvieron mayor vida de florero. La segunda mejor relación K^+/Ca^{2+} fue 7.0/9.0. Las relaciones K^+/Ca^{2+} de 5.5/9.0, 5.5/10.5, 7.0/7.5 produjeron flores de menor calidad y menor vida de florero. En la relación 8.5/9.0 se encontró la menor relación de acumulación de Ca bulbo/vástago y la menor relación de acumulación de Ca tallo/hoja, lo que implica mayor acumulación de Ca en vástago que en bulbo, y mayor acumulación de Ca en hojas que en tallo. Estos resultados evidencian que no existió una relación directa entre calidad y acumulación nutrimental, y que tienen mayor importancia las relaciones de acumulación de nutrientes entre órganos sobre variables de calidad al corte.

AGRADECIMIENTOS

A la Línea Prioritaria de Investigación 5 *Biología Microbiana, Vegetal y Animal* del Colegio de Postgraduados, por las facilidades brindadas para la realización de esta investigación.

BIBLIOGRAFÍA

- Abbasi N A, S Zahoor, K Nazir (2004) Effect of preharvest phosphorus and potassium fertilizers and postharvest AgNO₃ pulsing on the postharvest quality and shelf life of zinnia (*Zinnia elegans* cv. Blue Point) cut flowers. *Int. J. Agric. Biol.* 6:129-131.
- Albino-Garduño R, H A Zavaleta-Mancera, L M Ruiz-Posadas, M Sandoval-Villa, A. Castillo-Morales (2008) Response of Gerbera to Calcium in Hydroponics. *J. Plant Nutr.* 31:91-101.
- Alcántar G G, M Sandoval V (1999) Manual de Análisis Químico de Tejido Vegetal. Publicación Especial No. 10. SMCS. Chapingo, México. 150 p.
- Amtmann A, M R Blatt (2009) Regulation of macronutrient transport. *New Phytol.* 181:35-52.
- Armstrong H (2002) Hydroponic tulips at second attempt. *FlowerTECH* 5:8-9.

- Artacho-Vargas O, D Pinochet-Tejos (2008)** Producción de materia seca y absorción de nitrógeno del cultivo del tulipán (*Tulipa gesneriana* L.). *Agrociencia* 42:37-45.
- Baas R, N Marissen, A Dick (1998)** Cut rose quality as affected by Ca and translocation. *Acta Hort.* 518:45-54.
- Bar-Tal A, E Pressman (1996)** Root restriction and potassium and calcium solution concentrations affect dry-matter production, cation uptake and mineral nutrition. *J. Hort. Sci.* 121:649-655.
- Brouquisse R, F James, A Pradet, P Raymond (1992)** Asparagine metabolism and nitrogen distribution during protein degradation in sugar-starved maize root tips. *Planta* 188:384-395.
- Dilmaghani M R, M J Malakouti, G H Neilsen, E Fallahi (2005)** Interactive Effects of Potassium and Calcium on K/Ca Ratio and Its Consequences on Apple Fruit Quality in Calcareous Soils of Iran. *J. Plant Nutr.* 27:1149-1162.
- Harborne J B (1973)** Chlorophyll extraction. *In: Phytochemical Methods. Recommended Technique.* J B Harborne (ed). Chapman and Hall. London, UK. pp:205-207.
- Journet E P, R Bligny, R Douce (1986)** Biochemical changes during sucrose deprivation in higher plant cells. *J. Biol. Chem.* 261:3193-3199.
- Miller W B (2008)** Boron deficiency in tulip. *Research Newsletter* 15:1-4.
- Mortensen L V, C O Ottosen, H R Gislerod (2001)** Effects of air humidity and K:Ca ratio on growth, morphology, flowering and keeping quality of pot roses. *Sci. Hort.* 90:131-141.
- Nelson P V, C E Niedziela Jr (1998)** Effects of calcium source and temperature regime on calcium deficiency during hydroponic forcing of tulip. *Sci. Hort.* 73:137-150.
- Nelson P V, W Kowalczyk, C E Niedziela Jr, N C Mingis, W H Swallow (2003)** Effects of relative humidity, calcium supply and forcing season on tulip calcium status during hydroponic forcing. *Sci. Hort.* 98:409-422.
- Paulin A (1986)** Influence of exogenous sugars on the evolution of some senescence parameters in plants. *Acta Hort.* 181:183-193.
- Peñalosa J M, M C Cáceres, M J Sarro (1995)** Nutrition of bean plants in sand culture: Influence of calcium/potassium ratio in the nutrient solution. *J. Plant Nutr.* 18:2023-2032.
- Southgate D A (1976)** Determination of Food Carbohydrates. Applied Science Publishers. LTD. London. 105 p.
- Steiner A (1984)** The universal nutrient solution. *In: Proc. 6th International Congress on Soilless Culture.* International Society of Soilless Culture. Lunteren Wageningen, The Netherlands. pp:633-650.
- Steiner A, H van Winden (1970)** Recipe for ferric salts of ethylenediaminetetraacetic acid. *Plant Physiol.* 46:862-863.
- Torre S, A Barochov, A Halevy (1999)** Calcium regulation of senescence in rose petals. *Physiol. Plant.* 107:214-219.
- van Doorn W G (2001)** Categories of petal senescence and abscission: a re-evaluation. *Ann. Bot.* 87:447-456.
- van Tuyl J M, G M van Creijl (2003)** *Tulipa gesneriana* and *Tulipa* hybrids. *Plant Sci.* 30:101-111.
- Vidale H (2001)** Producción de Flores y Plantas Ornamentales. Mundi-Prensa. Madrid. 310 p.