

EFFECTO DEL CALCIO Y LÁMINAS DE RIEGO EN LA PRODUCCIÓN Y CALIDAD DEL REPOLLO (*Brassica oleracea* L.)

EFFECT OF CALCIUM AND WATER TABLE ON CABBAGE (*Brassica oleracea* L.) YIELD AND QUALITY

Jorge Alberto Amador-Martínez ¹
Javier Giovanni Álvarez-Herrera ²
Helber Enrique Balaguera-López ³

RESUMEN

Con el fin de determinar el efecto del calcio y diferentes láminas de riego en plantas de repollo (*Brassica oleracea*), se sometieron 80 plantas a un diseño completamente al azar, factorial de 3x3, donde el primer factor correspondió a tres niveles de calcio (80, 120 y 160kg·ha⁻¹ de Ca) y el segundo a láminas de riego determinadas por coeficientes (0,8; 1 y 1,2 de la evaporación medida en un evaporímetro construido), más un testigo con una lámina de uno y sin aplicación de calcio, para un total de diez tratamientos. El experimento tuvo una duración de 130 días en invernadero y diez días en laboratorio, para evaluar el comportamiento en poscosecha. Los tratamientos indujeron diferencias significativas para la altura, el área foliar, el peso fresco de hojas, tallo y cabeza, el peso seco de raíz y cabeza, el pH y la pérdida

de peso fresco y, altamente significativas para los sólidos solubles totales y el análisis económico. Con la aplicación de la lámina de 0,8 y 160kg·ha⁻¹ de Ca, se obtuvo mayor peso fresco de cabeza y mayor cantidad de fitomasa fresca por cada peso invertido (33,76g·\$), por tanto, éste tratamiento es recomendable para ser implementado por los productores de repollo. El suministro de lámina de 1 y 160kg·ha⁻¹ de Ca permitió conservar el repollo en mejores condiciones durante la poscosecha.

Palabras clave: Fitomasa, poscosecha, grados brix, evaporación, hortaliza.

SUMMARY

With the purpose of determining the effect of calcium and different water tables in cabbage (*Brassica oleracea*) 80 plants were put under a completely randomized design, factorial of 3x3, where the first factor corresponded to three calcium levels (80, 120 and 160kg·ha⁻¹) and the second one to three water tables, determined by using three evaporation coefficients (0.8; 1 and 1.2 of evaporation, measured with an evaporimeter) and a treatment with a water table of 1, without calcium application, for a total of ten treatments. The research was carried out during 130 days in a greenhouse and during ten days under laboratory conditions, to evaluate the post-harvest behavior. The treatments induced significant differences for height, leaf area, fresh weight of leaves, stem and head, dry weight of roots and head, pH and loss of fresh weight; and highly significant differences in total soluble solids and within the economic analysis.

¹ Ingeniero Agrónomo. Grupo de Investigaciones Agrícolas, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja. e-mail: joamar07@hotmail.com.

² Profesor asistente. Grupo de Investigaciones Agrícolas, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja. e-mail: jgalvarezh@gmail.com.

³ Ingeniero Agrónomo. Grupo de Investigaciones Agrícolas, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja. e-mail: enrique_balaguera@yahoo.com.

With the application of a water table of 0.8 and $160\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ of Ca the greatest fresh weight of heads was obtained and a higher fresh phytomass for each inverted peso ($33.76\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$). Therefore, this treatment is recommended to be implemented by cabbage producers. The water table of 1 and $160\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ of Ca, allowed conserving cabbage in better conditions during post-harvest.

Key words: Phytomass, post-harvest, Brix degree, evaporation, vegetables.

INTRODUCCIÓN

El repollo ocupa un lugar importante dentro de las hortalizas, tanto para el consumo en fresco como para la agroindustria. Se desarrolla entre los 1.600 y 2.500msnm y a temperaturas de 15 a 20°C (Girard & Osorio, 1980).

El desarrollo de la agricultura en el mundo es altamente dependiente del riego y esta dependencia, en conjunto con un recurso hídrico escaso crea la necesidad de desarrollar nuevas tecnologías basadas en una mejora creciente de la eficiencia del uso del agua. Es importante conocer las necesidades de agua de los cultivos, pues esto ayudará a mantener su rendimiento, acorde con los beneficios que se esperan (Grassi, 1987).

Para una cosecha de repollo de $35\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$, se requieren $120\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de N, $45\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de P_2O_5 , $160\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de K_2O , $100\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de Ca y $6\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de MgO (Guerrero, 1998). Es una planta con problemas en su producción y calidad, debido a la presencia de desórdenes fisiológicos, los cuales, han sido asociados con nutrición mineral y en condiciones climáticas (Maroto, 1989).

Respecto a la aplicación de los niveles óptimos de calcio para la producción y calidad del repollo y la cantidad de agua que debe ser aplicada para un mayor rendimiento existen pocos estudios conocidos. Esto implica seguir produciendo de manera tradicional y refleja una serie de falencias en el sistema productivo, que dificulta ser competitivo frente al mercado.

La aplicación de calcio en la producción de repollo es indispensable. Este elemento asegura procesos, tales como la síntesis de paredes celulares, en la lámina media, donde forma pectato de calcio, que confiere estabilidad y mantiene la integridad de éstas (Gordillo *et al.* 2004).

El calcio actúa también en el huso acromático durante la división celular, el cual, se requiere para el normal funcionamiento de las membranas celulares y ha sido implicado como mensajero secundario en respuesta a condiciones ambientales y señales hormonales (Sanders *et al.* 1999). Puede formar complejos con la calmodulina para regular procesos metabólicos. Su deficiencia, se asocia con anomalías en el crecimiento, que pueden causar la muerte prematura de regiones meristemáticas (Taiz & Zeiger, 1998).

Marschner (2002) afirma que las aplicaciones de calcio estabilizan las paredes celulares y regulan la permeabilidad de la membrana. Consecuentemente, es claro que la deficiencia de calcio favorece los procesos de senescencia, que se expresan como pérdida de clorofila y proteínas, incrementando así la degradación de las membranas y la disolución de la lámina media (Starskey & Pedersen, 1997), por la cual, el suministro correcto del calcio puede alargar la vida útil del repollo.

Según Rodríguez-Pérez (2006), el agua actúa como constituyente del protoplasma, asociada en la hidratación de iones, disolviendo sustancias orgánicas y macromoléculas, llenando espacios entre estructuras finas del protoplasma y la pared celular, almacenada en las vacuolas y como agua intersticial, que actúa como medio transportador en los espacios intercelulares y en los tejidos de conducción del xilema y el floema (Larcher, 2003; Zyalalov, 2004). El calcio, se puede unir a las moléculas de agua gracias a la alta densidad de carga neta que presenta en su superficie; esto le permite ser absorbido por la planta como ión hidratado, aunque el transporte a las hojas sea dependiente del proceso de transpiración (Salisbury & Ross, 1994). El 27% de este elemento en el apoplasto, se encuentra unido al agua soluble (Marschner, 2002). En gran medida, la osmorregulación de la célula, se debe a que el calcio se acumula en la vacuola en forma de oxalatos de calcio, lo cual, contribuye a mantener en equilibrio el potencial electroquímico del citoplasma (Kordyum, 2003).

Por consiguiente, se evaluó el efecto de diferentes niveles de calcio y de láminas de riego en la producción y la calidad del repollo, para lograr mayores rendimientos, una alta rentabilidad y una optimización en el manejo del agua, el calcio y otros nutrientes.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación, se realizó en el invernadero de vidrio y el laboratorio de fisiología vegetal de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, en la ciudad de Tunja, a 2782msnm, con coordenadas: longitud 73° 23' Oeste, latitud 5° 32' Norte. La temperatura promedio dentro del invernadero fue de 17°C y la humedad relativa del 65%.

Como material vegetal, se emplearon plántulas de repollo híbrido Glove Master de 10cm de altura (20 días de germinadas), las cuales, se sembraron en dos camas de 3,3m de largo y 0,9m de ancho, a una distancia de 0,45m entre surcos y 0,4m entre plántulas. El suelo utilizado presentó una concentración de calcio de 7,67cmol·kg⁻¹ de suelo y un contenido de materia orgánica de 3,17%. Para medir la evaporación, se utilizó un tanque plástico a escala del tanque tipo A, con un diámetro de 29cm y 6,1cm de altura, el cual, se instaló dentro del invernadero. Los fertilizantes utilizados fueron nitrato de calcio (15% N, 26 % Ca) y úrea (46% N).

El diseño experimental fue completamente al azar, con un factorial de 3x3, donde el primer factor correspondió a los niveles de calcio (80, 120 y 160 kg·ha⁻¹) y el segundo a las láminas de riego (0,8; 1 y 1,2 de la evaporación medida en el evaporímetro), más un testigo con una lámina de uno y sin aplicación de calcio, para un total de diez tratamientos, con ocho repeticiones y, consecuentemente, 80 unidades experimentales (UE). Cada UE estuvo compuesta por una planta de repollo. En el primer riego, se llevó el suelo a capacidad de campo y se instaló el evaporímetro, para que tres días después y con esta misma frecuencia, se llevara a cabo la aplicación de las láminas durante todo el ciclo del cultivo (130 días), utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{Lámina} = \frac{\text{Etp} * \text{C} * \text{A}}{\eta_r}$$

En donde, Etp = evapotranspiración en mm medida en el tanque evaporímetro; C = coeficiente multiplicador de la evaporación medida en el tanque evaporímetro; A = área de sombrero de la planta; η_r = eficiencia del riego (0,9). El calcio, se fraccionó en dos aplicaciones: la primera, tres semanas después del trasplante (sdt)

y, la segunda, ocho sdt. Se aplicó urea, para llevar a un mismo nivel las dosis de nitrógeno aplicadas con el nitrato de calcio.

Las variables medidas fueron: área foliar, mediante el analizador Li-Cor® 3000A; fitomasa fresca y seca de raíz, tallo, cabeza y hojas; curva de crecimiento, tomando alturas semanalmente y análisis de costos, calculado con base en la relación fitomasa fresca de la cabeza / costo de tratamiento.

En poscosecha, a cuatro repollos por tratamiento, se les extrajo 5mL de jugo cada cinco días, con el fin de determinar del pH con un potenciómetro digital (Metrohm 692) y los sólidos solubles totales (SST), mediante un refractómetro marca Atago N-1EBX. A los restantes cuatro repollos, se les midió el peso fresco cada dos días, para determinar la pérdida de peso (%).

Se realizó un análisis de varianza (Anova) y se utilizó la prueba de Tukey con una confiabilidad del 95%, en el programa SAS v. 8.1e (Cary, N.C).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Altura de las plantas: Se presentaron diferencias altamente significativas hasta la semana siete y significativas en la semana ocho. La mayor respuesta en altura a lo largo de la investigación, se obtuvo con la lámina de 1,2 y 120kg·ha⁻¹ de Ca, frente a la lámina de 1 y 80kg·ha⁻¹ de Ca, que originó plantas con menor altura. Después de la semana ocho, se formó la cabeza y el crecimiento en altura se detuvo (Figura 1A).

En las primeras tres sdt la altura de las plantas para todos los tratamientos aumentó lentamente, debido al proceso de división celular más que al de elongación. Castellano *et al.* (2006) afirman que el Ca participa como activador de enzimas y estimula el desarrollo de raíces, hojas y la absorción de nitratos (Rodríguez, 1992). Luego, se presentó un crecimiento acelerado que coincidió con la primera aplicación del Ca, crecimiento que se da principalmente por elongación de la células. En repollo esta elongación se presentó posiblemente, porque las auxinas liberan el calcio que está unido a las pectinas del apoplasto, de tal manera, que el calcio libre activa los canales en la membrana permitiendo la entrada de solutos y el aumento de la extensión celular (Sanders *et al.* 1999).

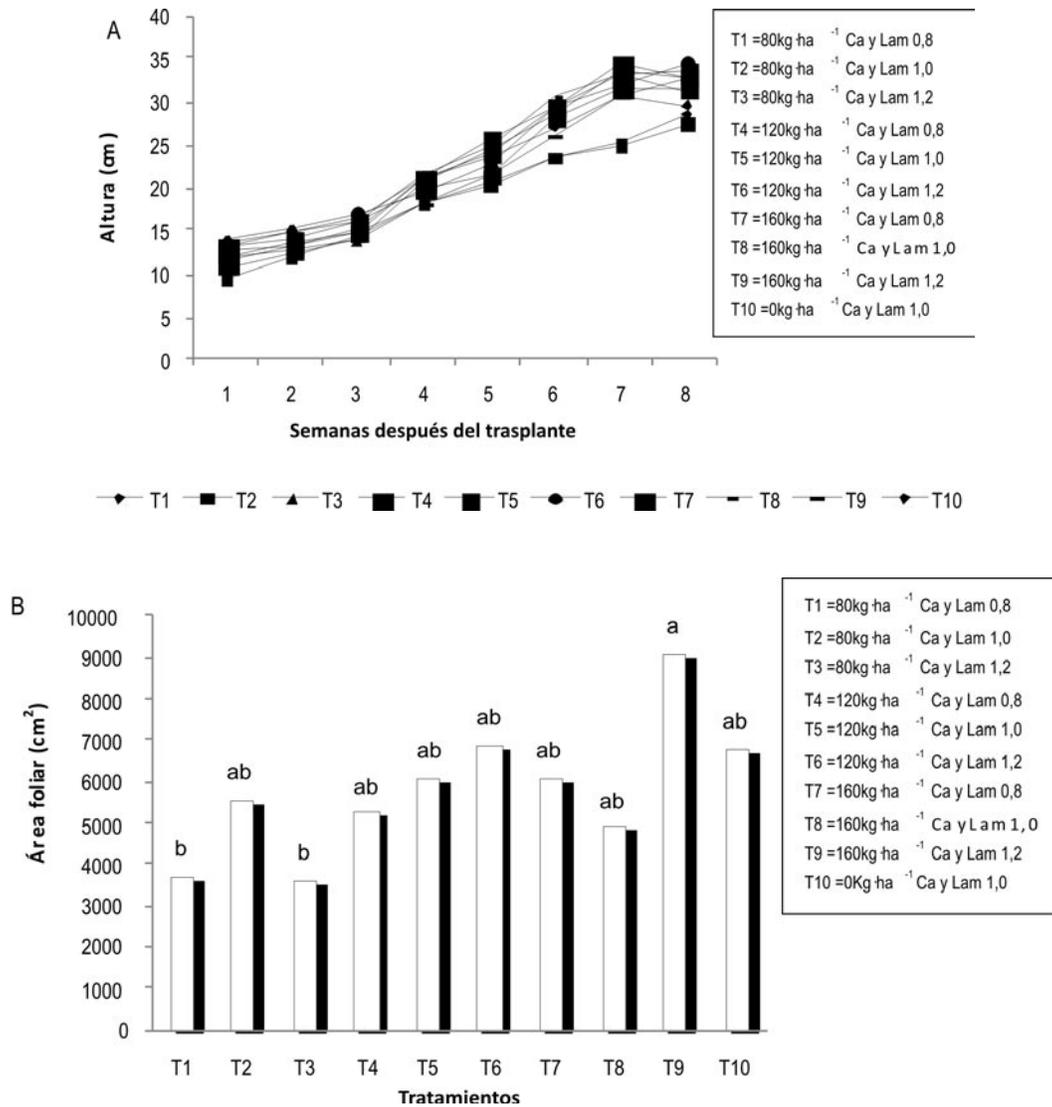


Figura 1. A. Altura B. Área foliar en plantas de repollo bajo diferentes niveles de Ca y láminas de riego. Tratamientos con letras iguales no presentan diferencias estadísticas, según la prueba de Tukey (0,05%).

En la semana ocho, la altura se detuvo hasta la cosecha, ya que en este momento, se inició la formación de cabeza. Una mayor altura correspondió a superiores niveles de calcio. Comportamiento similar, se observó en la leguminosa forrajera *Cratylia argentea*, en donde la altura fue favorecida, significativamente, con la aplicación de 500kg·ha⁻¹ de Ca, respecto a dosis menores (Navarro *et al.* 2002).

Área Foliar: Hubo diferencias significativas. El suministro de la lámina de 1,2 y 160kg·ha⁻¹ de Ca generaron la mayor área foliar y la menor respuesta, se presentó

con la lámina de 1,2 y 80kg·ha⁻¹ de Ca (Figura 1B). Franco (1989) reporta que la glicina es un metabolito fundamental utilizado para la formación de las hojas, siendo el primer eslabón de la ruta biosintética de la clorofila, permitiendo una mayor eficiencia fotosintética y, por tanto, una mayor expresión del área foliar. Este proceso en repollo se vio favorecido más por las dosis de calcio que por las láminas de riego que se aplicaron.

Fitomasa fresca de hojas, tallo, raíz y cabeza: En la masa fresca de hojas no se presentaron diferencias estadísticas. Fueron significativas para tallos y cabeza

y altamente significativas en raíz. $160\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de Ca y la lámina de 1,2 generaron mayor masa fresca de hojas (891,6g), la menor respuesta se obtuvo con $80\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de Ca y la lámina de 1,2 (545,7g). Las mayores dosis de agua y de calcio presentaron un mayor peso fresco de hojas. Esto, debido a que el proceso de transpiración y contenidos altos de agua en el suelo favorecen el flujo de masa y, a su vez, la movilidad de Ca (Anzorena, 1994). Así mismo, Sam (2000) afirma que a mayor cantidad de Ca, la fotosíntesis aumenta y la planta absorbe cantidades mayores de dióxido de carbono del aire, lo que genera un aumento en los componentes orgánicos básicos.

La lámina de 0,8 y $120\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de Ca produjo tallos más pesados frente a los más livianos obtenidos con la lámina de 1,2 y $80\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de Ca (Figura 2). Con dosis altas de Ca, las cantidades de este elemento que no logran

entrar al citosol quedan en la pared celular, situación que genera células más pesadas (Taiz & Zeiger, 1998; Marschner, 2002); esto, probablemente es lo que ocurre en los tallos del repollo.

El suministro de $120\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de Ca y la lámina de 0,8 presentó la mayor respuesta en masa fresca de raíz, frente a la aplicación de $160\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de Ca y la lámina de 1,0 que mostró menor (Figura 2), situación, posiblemente, porque la raíz con un suministro adecuado de agua y de nutrientes encuentra condiciones óptimas de desarrollo que no le exigen un mayor crecimiento para la toma de los mismos. Del mismo modo, la cabeza del repollo al ser un órgano vertedero, en la partición de fotoasimilados adquiere una mayor masa fresca, disminuyendo la ganancia de masa de la raíz.

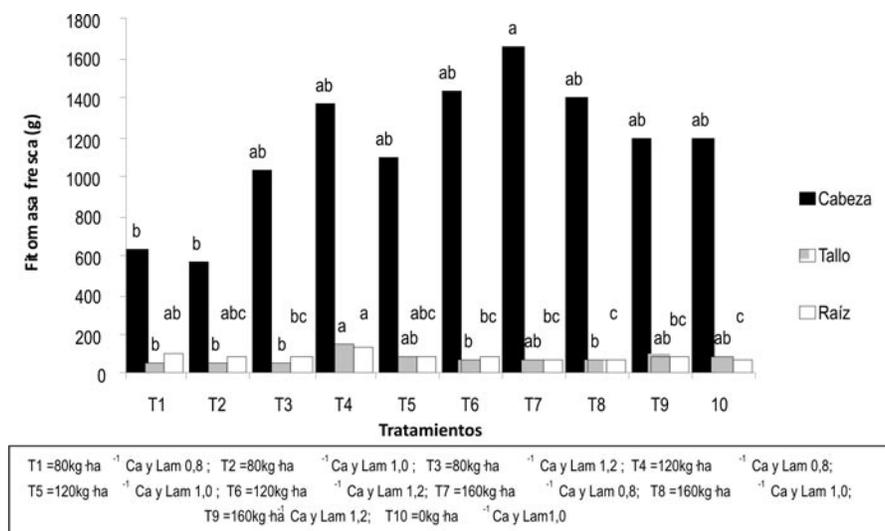


Figura 2. Fitomasa fresca de plantas de repollo bajo diferentes niveles de Ca y láminas de riego. Medias con letras iguales en la misma serie no presentan diferencias estadísticas, según la prueba de Tukey (0,05%).

Consecuentemente, el mayor peso fresco de cabeza, se logró con la lámina de 0,8 y $160\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de Ca (Figura 2). Teniendo en cuenta que la cabeza es la parte comercial de la planta, el resultado obtenido le permite al productor decidirse por este tratamiento, que le garantiza mayores rendimientos respecto a la menor respuesta obtenida con la lámina de 1 y $80\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de Ca.

Fitomasa seca de hojas, tallo, raíz y cabeza: No se presentaron diferencias estadísticas en la masa seca de hojas y tallos, pero sí en la de raíz y cabeza. Con

$120\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de Ca y la lámina de 1,2, se presentó la mayor respuesta en masa seca de hojas (242,86g) respecto a $80\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de Ca y la lámina de 1,2, que mostraron la menor respuesta (105,82g). Por otro lado, $80\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de Ca y la lámina de 0,8 generaron la menor masa seca de cabeza y la mayor en raíz (Figura 3). No obstante, la mayor masa seca de cabeza, se logró con $160\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de Ca y la lámina de 0,8 y la más baja en raíz fue debido al $160\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de Ca y la lámina de 1. Para el caso del tallo la aplicación $120\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de Ca y la lámina de 0,8 presentaron la mayor masa seca (18,22g) y, la menor,

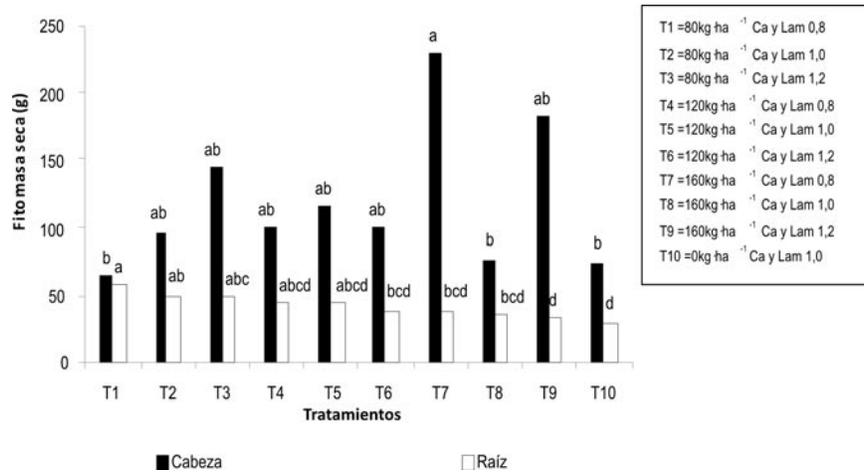


Figura 3. Fitomasa seca de plantas de repollo bajo diferentes niveles de Ca y láminas de riego. Medias con letras iguales en la misma serie no presentan diferencias estadísticas, según la prueba de Tukey (0,05%).

con la lámina de 1,2 y 120kg·ha⁻¹ de Ca (9,19g). Este fenómeno de mayor masa seca con altas dosis de calcio puede ser debido a que el calcio se acumula en la pared celular, lo que incrementa la masa seca en los tejidos (Marschner, 2002)

La dosis de 120kg·ha⁻¹ de Ca es suficiente para lograr la acumulación necesaria de Ca en las paredes del tallo; el calcio al formar parte importante de la constitución de la membrana de las células y también al acumularse entre la pared celular y lámina media, interacciona con el ácido péctico para formar pectato de calcio, el cual, confiere estabilidad e integridad a la membrana (Gordillo *et al.* 2004) y produce tallos más fuertes, capaces de sostener el peso de la cabeza.

Las auxinas activan “los canales de calcio” en la membrana plasmática y su salida de la vacuola; el efecto auxinas-calcio es sinérgico (Amberger, 1995). Así mismo, la cantidad de calcio que absorbe la planta está directamente relacionada con la concentración de auxinas interna (Karl-Heinz & Evans, 1986), por tanto, es probable que dosis superiores a 120kg·ha⁻¹ de Ca no presenten un incremento en los valores de masa seca. Además, las plantas, genéticamente, vienen programadas para absorber cantidades limitadas de calcio para evitar la formación de oxalatos cálcicos que taponen los haces vasculares (Marschner, 2002).

Sin embargo, es evidente que la fitomasa seca de tallos, hojas y cabeza es favorecida directamente por las dosis

de calcio, contrario al proceso a nivel radicular. Para el crecimiento radicular, se necesitan dosis mínimas de calcio (Burstrom, 1952), pero un aumento de este elemento, a nivel radicular, disminuye la velocidad de elongación de la raíz (Karl-Heinz & Evans, 1986).

En experimentos realizados con diferentes niveles de calcio (100, 300 y 500 kg·ha⁻¹), se encontró que el rendimiento en materia seca de *Cratylia argentea*, se vio favorecida por las dosis más altas de este elemento (Navarro *et al.* 2002) y concuerda con el mayor peso de cabeza de repollo obtenido también con la mayor dosis de calcio (160kg·ha⁻¹).

Por otro lado, las láminas no tuvieron un efecto significativo en la acumulación de materia seca, como sí lo tuvo el calcio. No obstante, la lamina de 0,8 fue suficiente para que el calcio fuera transportado vía xilema a la parte aérea de las plantas de repollo.

Sólidos solubles (SST): Tuvieron una tendencia de disminución hacia los cinco días después de la cosecha (ddc) y volvieron a aumentar a los diez ddc para la mayoría de los tratamientos; sin embargo, la variación de este parámetro no fue superior a 0,7.

A lo largo de la poscosecha, la aplicación del 80kg·ha⁻¹ de Ca y una lámina de 0,8 mostró los valores más altos de SST con diferencias altamente significativas (Figura 4A), por lo tanto, a mayor calcio y agua, el contenido de azúcares y otros sólidos solubles es menor. Un buen

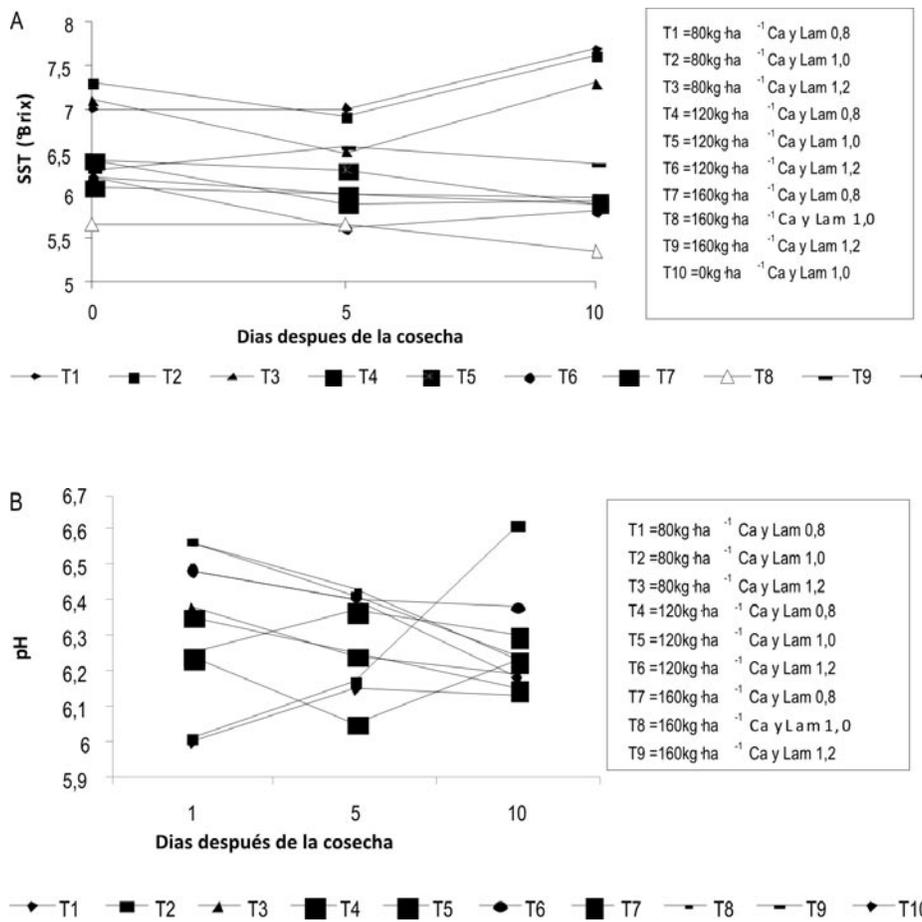


Figura 4. A. Sólidos solubles totales B. pH a los 0, 5 y 10 días después de la cosecha en plantas de repollo, bajo diferentes niveles de Ca y láminas de riego.

suministro de agua y de calcio disminuye la síntesis de azúcares y, en consecuencia, la vida poscosecha, pues parece ser que un aumento considerable en los SST da lugar a una mayor intensidad respiratoria (Contreras *et al.* 2007). Por el contrario, una mayor concentración de SST es también el resultado de menor cantidad de agua en los tejidos. A su vez, esto hace que aunque el repollo se degrade más rápido presente un sabor más agradable.

Valor del pH: Al momento de la cosecha, las diferencias fueron altamente significativas; el mayor valor se obtuvo con $160\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de Ca y una lámina de 1,2, mientras que el menor pH, se logró con la lámina de 0,8 y $160\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de Ca. A los cinco ddc, el mayor pH se observó con $160\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de Ca y lámina de 1 y la lámina de 0,8 y $120\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de Ca fueron responsables del pH más bajo, con diferencias significativas, al igual que a los diez ddc.

En este momento, $80\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de Ca y una lámina de 1 generó el pH más alto y $800\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de Ca y lámina de 0,8 presentaron el pH más bajo (Figura 4B).

Según Téllez *et al.* (2007), en los tejidos más del 90% del volumen celular es ocupado por la vacuola que, generalmente, es muy ácida, con pH alrededor a cinco (Nanos & Kader, 1993), razón por la cual, el pH de los vegetales, incluyendo el repollo, tiende a la acidez. Se evidenció una disminución del pH a lo largo de la poscosecha, indicando degradación de ácidos (Marschner, 2002). Este comportamiento, se observó solo con la aplicación de la lámina de 1 y $80\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de Ca. En este caso, la duración poscosecha del repollo fue menor; en los demás tratamientos, el calcio se acumuló extracelularmente para inhibir la senescencia (Ferguson, 1984; Leshem, 1992).

Porcentaje acumulado de pérdida de peso fresco: La pérdida de peso mostró un comportamiento ascendente, como consecuencia de la transpiración y la respiración (Wills *et al.* 1998), con un mayor aumento entre ocho y diez ddc. Al final de la poscosecha, se presentaron diferencias significativas. El suministro de 80kg·ha⁻¹ de Ca y una lámina de 1,2 ocasionó la mayor pérdida de peso durante toda la poscosecha, mientras que la lámina de 1 y 160kg·ha⁻¹ de Ca fueron responsable de mantener una mayor humedad en las cabezas (Figura 5).

Una pérdida de peso del 5% determina la marchitez de numerosos productos hortícolas y el deterioro de la calidad, con la consecuente reducción de su valor en el mercado (Wills *et al.* 1998). De esta manera, la aplicación de la lámina de 1 y 120kg·ha⁻¹ de Ca, lámina de 1,2 y 160kg·ha⁻¹ de Ca y lámina de 1 y 160kg·ha⁻¹ de Ca fueron los tratamientos que mantuvieron calidad comercial durante los diez días de poscosecha. Por lo anterior, el calcio tiene gran importancia, ya que inhibe la acción de poligalacturonasas, que degradan las pectinas y ablandan los tejidos.

El movimiento del Ca en la planta depende de un buen nivel interno de agua y temperaturas adecuadas con una transpiración normal (Western Vegetable Newsletter, 2004); por esta razón, las altas cantidades de calcio estuvieron acompañadas de las mayores láminas para

que el calcio se transportara a los tejidos de forma más eficiente y permitiera menor pérdida de agua. En hortalizas, como la lechuga, el marchitamiento inducido por la baja humedad está relacionado con la pérdida de ácido ascórbico (Toivonen, 2003).

Análisis económico: El costo de los tratamientos, se obtuvo de la relación entre la masa fresca de la cabeza sobre la sumatoria del costo de la plántula, calcio y agua (Figura 6), durante el ciclo productivo. El valor del calcio correspondió a 1 \$·g⁻¹, mientras que el agua tuvo un costo de 70 \$·m⁻³. La relación, se expresó en gramos producidos por cada peso invertido. Los costos de mano de obra, infraestructura y demás insumos no se tuvieron en cuenta, por ser iguales para todos los tratamientos.

Se presentaron diferencias altamente significativas; la producción de cabezas de repollo más económica se logró con 80kg·ha⁻¹ de Ca y una lámina de 0,8, con un promedio 33,76g·\$⁻¹. La lámina de 1 y 80kg·ha⁻¹ de Ca resultó menos eficiente desde el punto de vista económico, con 9,56 g·\$⁻¹. Por tanto, la aplicación de la lámina de agua con un coeficiente de 0,8 de la evaporación y 160kg·ha⁻¹ de Ca resulta ser la recomendación que más beneficiará al agricultor, por obtener mayor productividad.

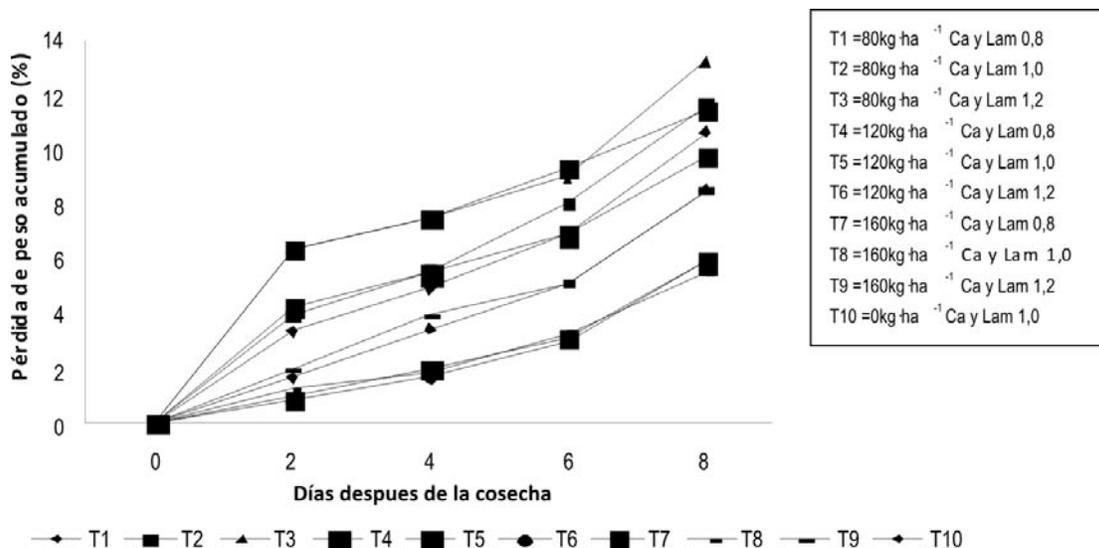


Figura 5. Porcentaje acumulado de pérdida de peso fresco en plantas de repollo, bajo diferentes niveles de Ca y láminas de riego.

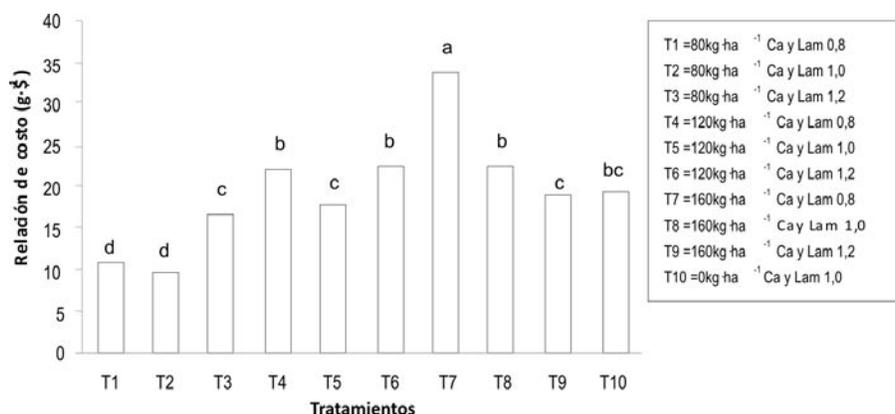


Figura 6. Análisis económico de plantas de repollo bajo diferentes niveles de Ca y láminas de riego. Medias con letras iguales no presentan diferencias estadísticas según la prueba de Tukey (0,05%).

CONCLUSIONES

El calcio se convirtió en el factor más decisivo en el crecimiento, el desarrollo y la poscosecha del repollo frente a las dosis de agua evaluadas, por tanto, la aplicación de este elemento es esencial para la obtención de cosechas óptimas; el mismo modo, la mayor dosis de calcio es la más recomendable para lograr un mayor peso de cabeza.

Con los resultados obtenidos, se evidencia que un adecuado suministro de agua y calcio permite conservar el repollo en buenas condiciones durante la poscosecha, al conseguir menores pérdidas de peso, menor pH y SST.

BIBLIOGRAFÍA

- AMBERGER, A. 1995. Pflanzenernährung. Stuttgart, Alemania: Verlag Ulmer. 4ª ed. 319p.
- ANZORENA, J. 1994. Sustratos. Propiedades y caracterización. España: Mundi-Prensa. 172p.
- BURSTROM, H. 1952 Studies on growth and metabolism of roots. VIII. Calcium as a growth factor. *Physiol. Plant.* 5:391-402
- CASTELLANO, G.; QUIJADA, O.; RAMÍREZ, R.; SAYAGO, E. 2006. Efecto de la fertilización con calcio y el estado de madurez sobre la calidad de la fruta de guayaba (*Psidium guajava* L.). *Rev. Iberoam. Tecn. Postcosecha.* 7(2):109-113.
- CONTRERAS, J.; GAMBA, H.; FISCHER, G. 2007. Características fisicoquímicas y organolépticas de frutos de tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav) a dos temperaturas de almacenamiento y tipos de cera. *Ciencia y Agricultura.* 5(2):39-49.
- FERGUSON, I.B. 1984. Calcium in plant senescence and fruit ripening. *Plant Cell Environ.* 7:477-489.
- FRANCO, J. 1989. Utilización de hidrolizados proteicos en horticultura. *Horticultura.* 52:60-64.
- GIRARD, E.; OSORIO, J. 1980. Generalidades de la producción de repollo en Colombia. *Hortalizas. Manual de Asistencia Técnica.* No. 28 ICA Bogotá. 25p.
- GORDILLO, O.; FISCHER, G.; GUERRERO, R. 2004. Efecto del riego y de la fertilización sobre la incidencia del rajado en frutos de uchuva (*Physalis peruviana* L.) en la zona de Sylvania (Cundinamarca). *Agron. Col.* 22(1):53-62.
- GRASSI, C. 1987. Diseño y operación del riego por superficie. CIDIAT. Mérida, Venezuela. 394p.
- GUERRERO, R. 1998. Fertilización de Cultivos de Clima Frío. Sáenz y Cia Ltda. Santafé de Bogotá, 425p.
- KARL-HEINZ, H.; M. L. EVANS. 1986. Calcium dependence of rapid auxin action in maize roots. *Plant Physiol.* 81:439-443.

- KORDYUM, E.L. 2003. Calcium signals en plan cell en altered gravity. Inst. of Botany of National Academy of Sciences of Ukraine 32(8):1621-1630.
- LARCHER, W. 2003. Physiological plant ecology. 4th ed. Springer, Germany. 231p.
- LESHEM, Y.Y. 1992. Plant membrane: A biophysical approach to structure, development and senescence. Kluwer Acad. Publ., Dordrecht.
- MAROTO, B. 1989. Horticultura herbácea especial. 2ª Ed. Mundiprensa. Madrid. p.251-257.
- MARSCHNER, H. 2002. Mineral nutrition of higher plants. 2nd ed. Academic Press London. 889p.
- NANOS, G.; KADER, A. 1993. Low O₂-induced changes in pH and energy charge in pear fruit tissue. Postharvest Biol. Technol. 3:285-291.
- NAVARRO, L.; RODRÍGUEZ, T.; RODRÍGUEZ, I. 2002. Influencia del calcio, nitrógeno y del magnesio, sobre la producción de (*Cratylia argentea*) en las sabanas bien drenadas de los llanos orientales de Venezuela. Rev. Científica. Suplemento. 12:534-538.
- RODRÍGUEZ, S. 1992. Fertilizantes, nutrición vegetal. AGT editor. Segunda reimpresión. México, D.F. 177p.
- RODRÍGUEZ-PÉREZ, L. 2006. Implicaciones fisiológicas de la osmorregulación en plantas. Agron. Col. 24(1):28-37.
- SAM, E. 2000. El uso del calcio soluble para estimular el crecimiento vegetal. Comunicaciones Agrícolas. El Sistema Universitario Texas A&M. 4p. Disponible desde Internet en: http://www.tcebookstore.org/publications_getfile.cfm?getfile=pdf&whichpublication=1121 (con acceso 15/01/08).
- SALISBURY, F.; ROSS, C. 1994. Fisiología vegetal. Grupo editorial Iberoamérica S.A. México, D.F. 4ª ed. 759p.
- SANDERS, D.; BROWNLEE, C.; HARPER J. 1999. Communicating with calcium. Plant Cell. 11:691-706.
- STARSKEY, K.R.; PEDERSEN, A.R. 1997. Increased levels of calcium in the nutrient solution improves the postharvest life of potted roses. J. Am. Soc. Hort. Science. 122(6):863-868.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. 1998. Plant physiology, 2nd edition. Sinauer Associates Inc. Publishers, Sunderland. 792p.
- TÉLLEZ, C.P.; FISCHER, G.; QUINTERO, O. 2007. Comportamiento fisiológico y fisicoquímico de frutos de curuba (*Passiflora mollissima* Bailey) encerrados y almacenados a dos temperaturas. Rev. Col. Cienc. Hort. 1(1):67-80.
- TOIVONEN, P. 2003. Effects of storage conditions and postharvest procedures on oxidative stress in fruits and vegetables. En: Mark-Hodgesm, D. (ed.). Postharvest oxidative stress in horticultural crops. Food Products Press. p.69-90.
- WESTERN VEGETABLE NEWSLETTER. 2004. WEST-VEG NEWS. The University of Arizona-Cooperative Extension. 2(3):4. Disponible desde Internet en: <http://cals.arizona.edu/crop/vegetables/quality/spanish/newsletter/2004/westvegspan0504.pdf> (con acceso 15/01/08).
- WILLS, R.; MCGLASSON, B.; GRAHAM, D.; JOYCE, D. 1998. Postharvest: an introduction to the physiology and handling. CAB International, Wallingford (UK). 262p.
- ZYALALOV, A. 2004. Water flows in higher plants: physiology, evolution, and system analysis. Russian J. Plant Physiol. 51(4):547-555.

Recibido: Febrero 14 de 2008

Aceptado: Septiembre 30 de 2008