

# Efecto del calcio y el ácido giberélico (AG<sub>3</sub>) sobre el crecimiento y la producción de lechuga (*Lactuca sativa* L.) cv. Batavia

Effect of calcium and gibberellic acid (GA<sub>3</sub>) on the growth and yield of lettuce (*Lactuca sativa* L.) cv. Batavia



HELBER ENRIQUE BALAGUERA-LÓPEZ<sup>1, 3</sup>  
JAVIER GIOVANNI ÁLVAREZ-HERRERA<sup>2</sup>  
DEYNNER ALEXANDER APONTE-FONSECA<sup>2</sup>  
WILLIAM ALBERTO BALAGUERA L.<sup>2</sup>

**Respuesta negativa de las aplicaciones de giberelinas en lechuga.**  
Foto: H.E. Balaguera-López

## RESUMEN

La lechuga es una de las hortalizas más cultivadas y consumidas en el país; sin embargo, los rendimientos obtenidos por unidad de área están por debajo de lo esperado. Con la aplicación de calcio y ácido giberélico (AG) es posible aumentar la productividad de este cultivo. El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de diferentes dosis de calcio (30, 60 y 90 kg ha<sup>-1</sup> de CaO) y ácido giberélico (0, 50, 100 y 150 mg L<sup>-1</sup> de AG<sub>3</sub>) sobre el crecimiento y la producción de lechuga cv Batavia, utilizando un diseño completamente al azar. El 50% del calcio se aplicó en presiembra, y el restante, a los 20 días después del trasplante (ddt); en los dos casos la aplicación fue edáfica, y el AG<sub>3</sub> se aplicó vía foliar a los 20 ddt. Las plantas se cosecharon a los 80 ddt y se midieron variables de rendimiento en nueve plantas por tratamiento. Se encontraron diferencias significativas en la altura de plantas, área foliar, masa fresca y seca e índice de área foliar; se obtuvo mayor producción con 90 kg ha<sup>-1</sup> de calcio y 0 mg L<sup>-1</sup> de AG<sub>3</sub>, mientras que las giberelinas aplicadas a los 20 ddt causaron desórdenes en el fenotipo y no aumentaron el rendimiento de la lechuga.



**Palabras clave adicionales:** altura de plantas, productividad, área foliar, elongación.

<sup>1</sup> Facultad de Agronomía, Programa de Maestría en Ciencias Agrarias con énfasis en Fisiología de Cultivos, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá (Colombia).

<sup>2</sup> Facultad de Ciencias Agropecuarias, Grupo de Investigaciones Agrícolas, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja (Colombia).

<sup>3</sup> Autor para correspondencia. enrique\_balaguera@yahoo.com



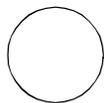
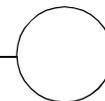
## ABSTRACT

Lettuce is one of the most cultivated and consumed vegetables in Colombia, however, its productivity is lower than expected. With applications of calcium and gibberellic acid, it is possible to increase productivity of this crop. The objective of this study was to evaluate the effect of different levels of calcium (30, 60, and 90 kg ha<sup>-1</sup> CaO) and gibberellic acid (0, 50, 100, and 150 mg L<sup>-1</sup> GA<sub>3</sub>) on the growth and yield of lettuce cv. Batavia, using a completely randomized design. Fifty percent of the calcium was applied before planting and the remaining calcium was applied 20 days after transplantation. At both times, the application was edaphic, and GA<sub>3</sub> was applied via foliar application at day 20. The plants were harvested at day 80, and the growth and yield variables were measured on nine plants per treatment. Significant differences were found for plant height, leaf area, fresh and dry mass, and leaf area index. The highest production was achieved with 90 kg ha<sup>-1</sup> CaO and 0 mg L<sup>-1</sup> GA<sub>3</sub>, while GA<sub>3</sub> applied at day 20 caused disorders in the phenotype and did not enhance the lettuce yield.

**Additional key words:** plant height, yield, leaf area, elongation.

Fecha de recepción: 19-04-2010

Aprobado para publicación: 02-06-2010



## INTRODUCCIÓN

En Colombia, para el 2008, el área total sembrada en lechuga fue de 2.798 ha, con una producción de 54.411 t. Los departamentos que se destacaron por su producción fueron, en su orden, Cundinamarca, Antioquia, Nariño, Norte de Santander y Boyacá; Antioquia, con 26,6 t ha<sup>-1</sup>, fue el productor con el mayor rendimiento, seguido de Boyacá, con 20,4 t ha<sup>-1</sup> (Agronet, 2010).

El calcio actúa principalmente en la estabilización y rigidez de membranas y paredes celulares (Marschner, 2002), pues forma enlaces con los grupos carboxilo de las pectinas presentes en la lámina media de las paredes celulares, lo que contribuye a la adhesión y cohesión célula-célula (Hernández-Muñoz *et al.*, 2008), y con los fosfolípidos y proteínas, mediante los puentes fosfatos y carboxílicos, principalmente en la superficie de la membrana, lo que genera estabilidad a nivel de membranas (Marschner, 2002); también actúa 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). El calcio puede formar complejos con la

calmodulina para regular procesos metabólicos, y su deficiencia se asocia con anomalías en el crecimiento que pueden causar la muerte prematura de zonas meristemáticas (Taiz y Zeiger, 2006). Este elemento influye en el crecimiento radical por su participación en la división y extensión de las células que componen este sistema, por tanto, el déficit o ausencia de calcio en la solución del suelo conduce a un crecimiento lento de las raíces (Díaz *et al.*, 2007), por lo que un buen suplemento de calcio garantiza un buen sistema radicular y, por ende, mayor crecimiento de la parte aérea.

Adicionalmente, un suministro adecuado de calcio en plantas de lechuga es importante para prevenir el desorden fisiológico conocido como «tipburn» o «quema de los bordes», el cual es causado por una deficiencia localizada de calcio (Collier y Tibbitts, 1982). Beninni *et al.* (2003) demostraron que en plantas de lechuga cv. Vera, sembradas en sistema hidropónico, la aplicación foliar de cloruro de calcio incrementó la masa fresca y seca aérea. Por su parte, con nitrato de calcio en dosis de 200 mg L<sup>-1</sup> se obtuvieron resultados estadísticamente similares y, además, se aumentó el flujo de calcio, especialmente de las hojas exteriores, aunque también se reportan



aumentos de calcio en las hojas interiores de la lechuga (Creswell, 1991). Así mismo, estudios realizados por Borkowski y Szwoonek (1994) mencionan que en cultivares que forman cabeza, como es el caso del cv. Batavia, la aplicación foliar de calcio no es un método recomendable.

Las giberelinas (GA) son fitohormonas que constituyen una familia grande de diterpenos ácidos que cumplen una importante función en la regulación del crecimiento y desarrollo de las plantas en todo el ciclo de vida, incluyendo germinación de la semilla, elongación del hipocótilo, expansión foliar, desarrollo de la raíz, inducción floral y desarrollo del órgano floral (Yamaguchi, 2008; Reid *et al.*, 2004; Sun, 2004). Químicamente, las GA son diterpenos tetracíclicos compuestos de cuatro unidades de isoprenoides que se sintetizan a partir del geranil geranil difosfato por la ruta del ácido mevalónico (Taiz y Zeiger, 2006).

De otra parte, las GA inducen elongación y división celular, procesos que se traducen en mayor área foliar, la cual puede generar mayor eficiencia en la fotosíntesis (Almanza, 2000). Bultynck y Lambers (2004) encontraron que en *Aegilops caudata* y *Aegilops tauschii* la aplicación exógena de GA incrementó el área foliar y la biomasa en hojas, ya que se aumentó el número y el tamaño de estas. Las GA, junto con las auxinas, influyen de forma indirecta en la absorción de agua al aumentar la elasticidad de la pared celular; por tanto, incrementan la cantidad de agua en la célula (Taiz y Zeiger, 2006) y, en consecuencia, la masa fresca.

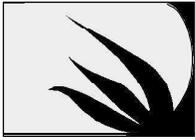
En la actualidad, el mercado de los productos hortícolas en fresco exige calidad, permanencia y regularidad, lo que obliga a tener una oferta permanente; por ello es necesario utilizar técnicas que permitan aumentar la productividad del cultivo de lechuga, pues aunque esta hortaliza es una de las más cultivadas y consumidas en el país, los rendimientos obtenidos están por debajo de lo esperado. Por tanto, el objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de diferentes dosis de calcio y giberelinas sobre el crecimiento y producción de plantas de lechuga cv. Batavia, con el fin de contribuir a aumentar la productividad de esta especie.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en la casa de malla de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, sede central Tunja, la cual está localizada a 5°33'N y 73°24'W y a una altura de 2.690 msnm; la temperatura promedio fue de 16°C, y la humedad relativa, del 80%. Se utilizó un diseño completamente al azar con arreglo factorial de 3x4, donde el primer factor fue la aplicación de tres niveles de calcio (30, 60 y 90 kg ha<sup>-1</sup> de CaO) y el segundo factor correspondió a la aplicación de cuatro concentraciones de ácido giberélico (0, 50, 100 y 150 mg L<sup>-1</sup> de AG<sub>3</sub>); para un total de doce tratamientos con tres repeticiones; cada una de las 36 unidades experimentales estuvo compuesta por tres plantas de lechuga.

Las plántulas de lechuga del cultivar Batavia fueron sembradas en camas de 3,3 m de largo y 0,9 m de ancho, a una distancia de 0,4 m entre surcos y 0,4 m entre plantas. Se utilizó nitrato de calcio (Ca (NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>) (15% N, 26% CaO) y se aplicó urea (46% N) con el fin de llevar a un mismo nivel las dosis de nitrógeno aplicadas con el nitrato de calcio. Se trasplantaron plántulas de lechuga de 20 días de germinadas. Las dosis de calcio se suministraron en dos épocas: el 50% en presembrado, y la cantidad restante 20 días después del trasplante (ddt), en los dos casos la aplicación fue edáfica; mientras que el AG<sub>3</sub> se aplicó al follaje a los 20 ddt; para la aspersión se utilizó un atomizador con capacidad para 250 cm<sup>3</sup>, la fuente aplicada fue ácido giberélico al 10% (Progibb, Bayer CropScience). El experimento tuvo una duración de 80 d hasta cosecha.

Al momento de la cosecha se determinó la altura (cm): medición directa con un flexómetro desde el cuello de la raíz hasta la parte más alta de la planta; masa fresca de la parte aérea (g); masa seca de la parte aérea (g): después de someter las plantas a 75°C durante 48 h; área foliar (cm<sup>2</sup>): mediante medidor portátil de área foliar CI-202 Seedmech; índice de área foliar (IAF): relación entre el área foliar y el área de suelo por debajo del follaje. Se realizó un análisis de varianza (Anova) factorial y se utilizó la prueba de comparación de promedios de Tukey con una confiabilidad del 95% en el programa SAS v. 8.1e (Cary, N.C.).



## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Altura de plantas

Se presentaron diferencias significativas entre tratamientos ( $P \leq 0,01$ ). Las plantas con mayor altura fueron aquellas con una aplicación de 90 kg ha<sup>-1</sup> de CaO y 150 mg L<sup>-1</sup> de AG<sub>3</sub>, y las de menor, las plantas con aplicación de 30 kg ha<sup>-1</sup> de CaO y 0 mg L<sup>-1</sup> de AG<sub>3</sub> (tabla 1). Mediante el análisis factorial se determinó que la altura fue afectada por el calcio y las giberelinas de forma independiente. La altura de las plantas de lechuga aumentó de forma lineal y en función de la concentración de calcio con diferencias estadísticas ( $P \leq 0,01$ ) (figura 1A), el AG<sub>3</sub> ejerció similar influencia con igual tendencia (figura 1B).

Se encontró que algunas plantas respondieron a la aplicación de AG<sub>3</sub> con alturas anormales y modificando su fenotipo, con los entrenudos del tallo más distanciados, hojas más separadas unas de otras y con poca área foliar, pues el ancho de estas fue mínimo, lo que las convierte en plantas no aptas para la comercialización. Así mismo, algunas plantas sufrieron volcamiento y ruptura del tallo, o malformaciones como curvaturas en

el tallo. Este fenómeno fisiológico se debe a que el principal efecto de las giberelinas es la hiperelongación del tallo mediante la activación de la elongación y división celular (Davies, 2004), por lo tanto, la dominancia apical de las plantas es más acentuada (Taiz y Zeiger, 2006). Al respecto, Salisbury y Ross (2000) afirman que la estimulación de la elongación del tallo por acción de las giberelinas (GA) se debe a la interacción de tres eventos: el primero consiste en la estimulación de la división celular en el ápice del tallo; el segundo comprende la promoción del crecimiento celular, ya que incrementan la hidrólisis del almidón, fructanos y sacarosa, originando moléculas de glucosa y fructosa, y en tercer lugar, se aumenta la plasticidad de la pared celular.

Del mismo modo, la elongación celular está basada en que los microtúbulos (MTs) corticales de las plantas presentan propiedades dinámicas; estos se pueden reorientar de una configuración transversal (en relación con el eje axial de la célula) a una longitudinal, lo que se logra por acción de las GA, que inducen la reorientación de los MTs, proceso por medio del cual crece la célula y se elonga (Yuan *et al.*, 1994; Lloyd *et al.*, 1996).

Tabla 1. Efecto del calcio y el ácido giberélico sobre el crecimiento y la producción de lechuga Batavia.

Dosis de CaO (kg ha <sup>-1</sup> )	Dosis de AG <sub>3</sub> (mg L <sup>-1</sup> )	Altura planta (cm)	Área foliar (cm <sup>2</sup> )	IAF	Masa fresca (g)	Masa seca (g)
30	0	18,67 c	3024,33 ab	2,58 a	293,00 abcd	16,20 b
30	50	23,33 c	1431,33 bc	2,52 a	146,67 cde	14,74 b
30	100	31,67 bc	1028,00 bc	1,32 ab	113,67 de	18,66 ab
30	150	30,33 bc	571,00 c	0,79 b	78,00 e	13,77 ab
60	0	21,67 c	2725,67 ab	2,39 ab	282,33 abcde	25,51 ab
60	50	23,33 c	2874,67 ab	2,86 a	269,33 abcde	18,77 ab
60	100	38,67 abc	1707,67 abc	2,40 ab	192,67 bcde	20,70 b
60	150	46,00 ab	1367,33 bc	2,58 a	151,33 cde	14,86 b
90	0	24,33 c	3606,00 a	1,91 ab	444,67 a	17,13 ab
90	50	33,33 bc	2884,67 ab	2,19 ab	409,67 a	28,45 ab
90	100	38,33 abc	2642,33 abc	2,38 ab	329,67 abc	23,58 ab
90	150	58,67 a	2288,00 abc	2,08 ab	367,33 ab	32,00 a

Promedios con letras distintas, en la misma columna, indican diferencia significativa según la prueba de Tukey ( $P \leq 0,05$ ).

Resultados similares fueron encontrados en plantas de tomate provenientes de semillas embebidas en diferentes soluciones de  $AG_3$ ; en este caso, con 36 h de imbibición y  $300 \text{ mg L}^{-1}$  de  $AG_3$  se alcanzó la mayor altura de dichas plantas (Balaguera-López *et al.*, 2009a); también se ha evidenciado que las GA revierten la inhibición de la elongación de los hipocótilos de lechuga, pepino y guisante que produce la luz roja. Adicionalmente, la repuesta de los hipocótilos de lechuga a la acción de las GA es muy rápida y está entre 10 y 15 min después de la aplicación (Azcon-Bieto y Talón, 2000). King *et al.* (2000) reportaron un mayor crecimiento del tallo en *Fuschia hybrida* y *Pharbitis nil*, y Leonel y Pedroso (2005), en maracuyá dulce (*Passiflora alata*, Dryander); al igual que en soya, como respuesta a la elongación celular (El Fouly *et al.*, 1988; Tanimoto, 1990), pues se estimula la extensibilidad de la pared celular (Raven *et al.*, 2000).

En la figura 1A también se observa que a medida que se aumentó la dosis de Ca se incrementó la altura de las plantas, esto se da porque, según Castellano *et al.* (2006), el Ca participa como activador de enzimas y actúa en el proceso de división celular estimulando el crecimiento (Rodríguez, 1992). Resultados similares se encontraron en repollo por Amador-Martínez *et al.* (2008), quienes establecieron que la mayor concentración de calcio ( $160 \text{ kg ha}^{-1}$ ) produjo mayor altura de planta, lo cual también coincide

con lo reportado por Navarro *et al.* (2002) en la leguminosa forrajera *Cratylia argentea*.

### Área foliar

Se presentaron diferencias estadísticas entre tratamientos ( $P \leq 0,01$ ). La mayor área foliar se obtuvo con la aplicación de  $90 \text{ kg ha}^{-1}$  de CaO y  $0 \text{ mg L}^{-1}$  de  $AG_3$ , y la menor, con  $30 \text{ kg ha}^{-1}$  de CaO y  $150 \text{ mg L}^{-1}$  de  $AG_3$  (tabla 1). Del mismo modo, se presentaron diferencias significativas ( $P \leq 0,01$ ) entre las dosis de calcio, pero no entre las dosis de  $AG_3$ ; no obstante, a medida que aumentó la concentración de  $AG_3$  disminuyó el área foliar (figura 2B), contrario a las dosis de calcio, que al aumentar, incrementaron el área foliar (figura 2A).

El área foliar de las plantas de lechuga se vio afectada negativamente por el  $AG_3$ ; parece ser que las dosis de  $AG_3$  fueron muy altas o el estado fenológico en el que se encontraba la planta no era el más apropiado para la aplicación de giberelinas; además, las hojas se formaron angostas y erectas, muy separadas entre sí por la hiperelongación del tallo, situación que impidió el cúmulo del follaje necesario para que se formara la cabeza, característica relevante de la variedad sembrada; del mismo modo, aquellas que lograron formar cabeza lo hicieron en el ápice, y esto provocó que las plantas se volcaran. Por ello, la aplicación de esta hormona a los 20 ddt y en las dosis evaluadas no es aconsejable

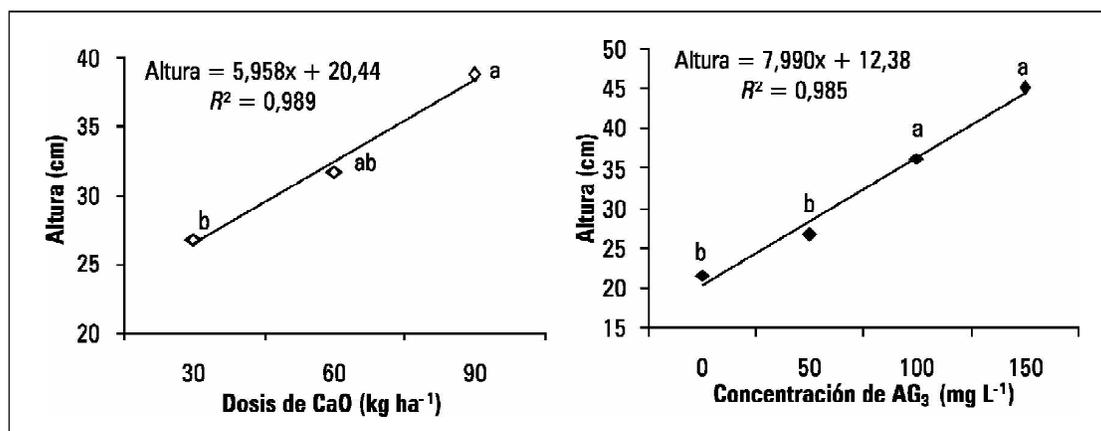


Figura 1. Altura de plantas de lechuga bajo el efecto de diferentes dosis de calcio (izquierda) y ácido giberélico (derecha). Promedios con letras distintas indican diferencia significativa según la prueba de Tukey ( $P \leq 0,05$ ).

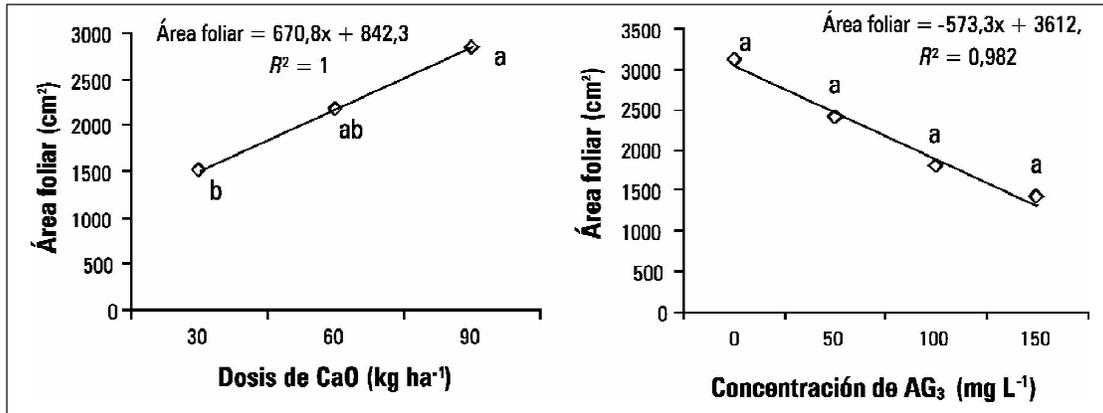


Figura 2. Área foliar de plantas de lechuga bajo el efecto de diferentes dosis de calcio (izquierda) y ácido giberélico (derecha). Promedios con letras distintas indican diferencia significativa según la prueba de Tukey ( $P \leq 0,05$ ).

para aumentar la producción de lechuga; en concordancia, Balaguera-López *et al.* (2009a) reportaron que el área foliar de plántulas de tomate fue menor con la aplicación de giberelinas.

Schmidt *et al.* (2003) mencionan que la acción de un regulador de crecimiento depende de factores ambientales, número y periodo de aplicación, concentración utilizada, estadio de crecimiento y especie o cultivar evaluado. Al respecto, Paroussi *et al.* (2002) determinaron que la aplicación de 200 mg L<sup>-1</sup> de AG<sub>3</sub> en fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.) aumentó el área foliar, pero causó un excesivo incremento de la longitud del peciolo y de las inflorescencias, lo cual redujo la producción de frutos; no obstante, estos mismos autores reportan que con 50 mg L<sup>-1</sup> de AG<sub>3</sub> se incrementó en un 71% el área foliar con respecto al testigo, sin afectar negativamente el desarrollo de la planta y la producción.

En soya también se obtuvo mayor área foliar con la aplicación foliar de GA<sub>3</sub>, lo cual se atribuyó a la elongación celular (Leite *et al.*, 2003); no obstante, en *Citrangé carrizo* la aplicación de 10 mg L<sup>-1</sup> de GA no aumentó el área foliar respecto al testigo (Dutra, 2000), pero en este caso se piensa que no hubo efecto porque las GA, cuando son aplicadas durante el crecimiento activo, pueden ser metabolizadas, originando productos o conjugados inactivos (Salisbury y Ross, 2000). De igual manera, Oliveira *et al.* (2005) encontraron que la aplicación de giberelinas (25,

50, 75 y 100 mg L<sup>-1</sup>) no aumentó el número de hojas en plantas de maracuyá (*Passiflora edulis* var. *flavicarpa*).

La dosis de 90 kg ha<sup>-1</sup> de CaO generó mayor cantidad de área foliar, presentando plantas más exuberantes, robustas, de mejor apariencia y calidad para su comercialización. Es posible que el Ca aumente el área foliar, al tener como función la división y extensión celular (Marschner, 2002), que en conjunto pueden ser responsables del aumento del tejido foliar, tal como se encontró en repollo con la aplicación de 160 kg ha<sup>-1</sup> de calcio junto con un suministro adecuado de agua (Amador-Martínez *et al.*, 2008).

### Índice de área foliar

El mayor índice de área foliar (IAF), con diferencias significativas ( $P \leq 0,05$ ), se logró con 60 kg ha<sup>-1</sup> de CaO y 50 mg L<sup>-1</sup> de AG<sub>3</sub>, con un valor de 2,86, lo que indica que son las plantas que interceptaron más cantidad de luz y realizaron mayor conversión de energía en biomasa (Kadaja y Tooming, 2004); por el contrario, 30 kg ha<sup>-1</sup> de CaO y 150 mg L<sup>-1</sup> de AG<sub>3</sub> fueron responsables del menor valor de IAF (tabla 1). Así mismo, se presentaron diferencias significativas en el efecto del CaO (figura 3A); el mayor IAF correspondió a la aplicación de 60 kg ha<sup>-1</sup>, mientras que el AG<sub>3</sub> no afectó significativamente el IAF de la lechuga (figura 3B). Aunque la dosis de 90 kg ha<sup>-1</sup> de CaO produjo

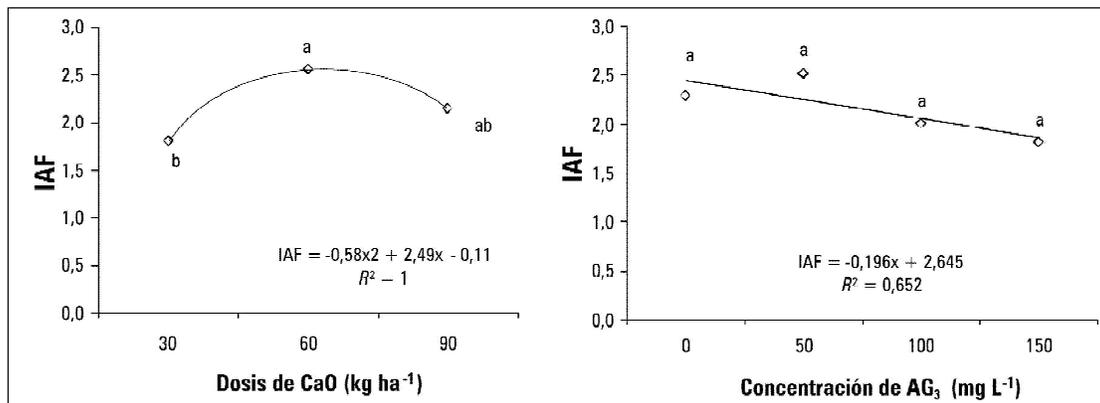


Figura 3. Índice de área foliar (IAF) de plantas de lechuga bajo el efecto de diferentes dosis de calcio (izquierda) y ácido giberélico (derecha). Promedios con letras distintas indican diferencia significativa según la prueba de Tukey ( $P \leq 0,05$ ).

mayor cantidad de área foliar, necesitó de mayor espacio, por lo tanto, no fue la más eficiente en la producción de biomasa.

### Masa fresca

En la parte aérea se encontraron diferencias estadísticas ( $P \leq 0,01$ ). La aplicación de  $90 \text{ kg ha}^{-1}$  de CaO y  $0 \text{ mg L}^{-1}$  de GA mostró el mayor peso, mientras que  $30 \text{ kg ha}^{-1}$  de CaO y  $150 \text{ mg L}^{-1}$  de GA lograron la respuesta menos favorable (tabla 1). De otro lado, se presentaron diferencias altamente significativas en el efecto de las GA, pero la masa fresca disminuyó a medida que la concentración de esta hormona aumentó (figura 5). El Ca también presentó diferencias significativas, sin embargo, la biomasa aérea aumentó en función de la dosis de este compuesto (figura 4).

Con la mayor dosis de calcio y sin la aplicación de GA, se produjo mayor cantidad de masa fresca aérea, lo que indica que este tratamiento presenta los mejores rendimientos. Mengel y Kirby (1987) indican que la absorción de calcio es ante todo el resultado de altas concentraciones del elemento en el suelo, más que de la eficiencia en la absorción por parte de la planta.

De otra parte, se esperaba que el  $AG_3$  incrementara el peso fresco por aumento en el volumen de las células y la entrada de agua a estas (Almanza, 2000), pues se sabe que producen

modificaciones sensibles en la extensibilidad de las paredes celulares (Azcón-Bieto y Talón, 2000); no obstante, esto no se dio, debido a que la masa fresca estuvo determinada por el follaje, no por el tallo, y fue el Ca el que favoreció la formación de hojas, y las GA, el desarrollo de tallos. Por el contrario, se ha encontrado que la aplicación de GA incrementó la masa fresca de plántulas de tomate (Balaguera-López *et al.*, 2009b).

El equilibrio iónico y la osmorregulación también son controlados por el Ca. Cuando se aumentan los niveles de Ca en el citoplasma, muchos aniones se precipitan hacia la vacuola en forma de oxalatos de calcio, permitiendo mantener una osmorregulación de la célula (Kordyum, 2003). Los activadores de la hiperpolarización permiten la entrada de Ca en las células de la raíz, para activar la división y elongación de las células de este sistema (Evans *et al.*, 2001; White, 2000). Los canales mecano-sensitivos permiten la regulación del turgor de las células y determinan la alometría, expansión celular y morfogénesis (White, 2000), lo que podría generar mayor masa fresca de las plantas de lechuga. Resultados favorables en el crecimiento de plantas de lechuga con aplicaciones de calcio también fueron encontrados por Beninni *et al.* (2003), y en repollo, por Amador-Martínez *et al.* (2008); estos autores determinaron que con  $160 \text{ kg ha}^{-1}$  las plantas de repollo produjeron mayor cantidad de masa fresca de hojas, tallo y cabeza; en el mismo sentido, Sam (2000) afirma que a mayor cantidad de Ca, la fotosíntesis aumenta y la planta absorbe

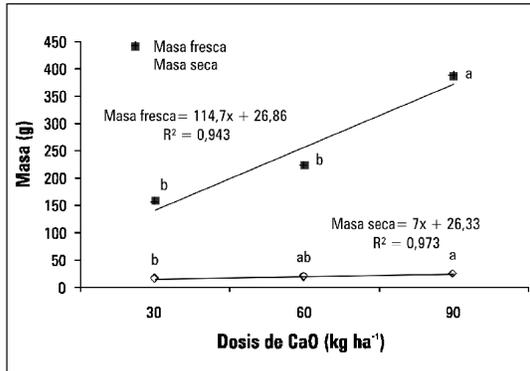


Figura 4. Efecto del calcio sobre la masa fresca y seca de plantas de lechuga. Promedios con letras distintas indican diferencia significativa según la prueba de Tukey ( $P \leq 0,05$ ).

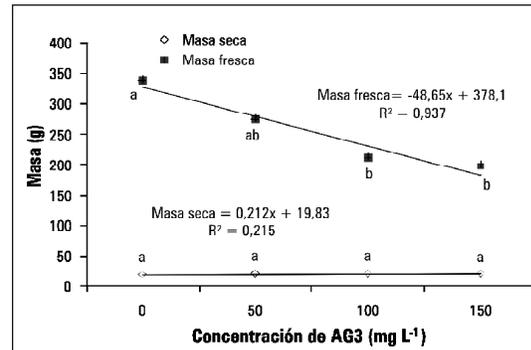


Figura 5. Efecto del ácido giberélico sobre la masa fresca y seca de plantas de lechuga. Promedios con letras distintas indican diferencia significativa según la prueba de Tukey ( $P \leq 0,05$ ).

cantidades mayores de dióxido de carbono del aire, lo que genera un aumento en los componentes orgánicos básicos.

### Masa seca

Se presentaron diferencias estadísticas entre tratamientos ( $P \leq 0,05$ ). La mayor respuesta se logró con 90 kg ha<sup>-1</sup> de CaO y 150 mg L<sup>-1</sup> de GA, y la menor, con 30 kg ha<sup>-1</sup> de CaO y 150 mg L<sup>-1</sup> de GA (tabla 1). Esta respuesta está influenciada significativamente solo por las dosis de calcio ( $P \leq 0,05$ ), pues las concentraciones de GA no presentaron diferencias estadísticas (figura 5). La masa seca aérea aumentó linealmente en función de las dosis de calcio (figura 4).

Debido a que el movimiento del Ca en la planta se da exclusivamente por la corriente xilemática desde las raíces hacia órganos como las hojas y frutos, las hojas presentan una mayor tasa de transpiración y, por tanto, la llegada de Ca<sup>2+</sup> es mayor en dichos tejidos y menor en los frutos (Marschner, 2002).

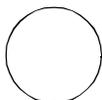
El calcio se encuentra en las plantas en concentraciones cercanas a 0,5 mg L<sup>-1</sup>, lo cual promueve la absorción activa de otros nutrientes minerales y metabolitos orgánicos a través de las bombas de transporte activo de Ca en las membranas biológicas (Marschner, 2002); esto

hace que a mayor acumulación de calcio, mayor sea el aporte en biomasa seca, lo que concuerda con lo encontrado para la biomasa seca en lechuga, pues el calcio también se encarga del crecimiento de meristemas y, particularmente, del crecimiento y funcionamiento apropiado de los ápices (Vásquez *et al.*, 2006).

Es posible que la velocidad de síntesis de la pared celular esté precedida por las GA, que permiten un incremento en la tasa de expansión celular (McComb, 1966), lo que indica que la masa seca de las plantas de lechuga debería afectarse; sin embargo, Salisbury y Ross (2000) sostienen que las GA afectan el peso fresco, pero no el peso seco, lo que coincide con lo encontrado en este experimento para la biomasa seca. En remolacha, la aplicación exógena de GA incrementó su biomasa seca, y la aplicación en un solo pecíolo incrementó significativamente la masa en raíces y follaje (Garrod, 1974).

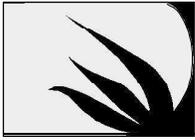
### CONCLUSIONES

La dosis de 90 kg ha<sup>-1</sup> de CaO favoreció la producción de lechuga. Las mayores dosis de calcio aumentaron el área foliar y la acumulación de masa fresca y seca, mientras que la aplicación de giberelinas no tuvo un efecto favorable en el crecimiento y la producción de las plantas de lechuga cv. Batavia.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agronet. 2010. Área cosechada, producción y rendimiento de la lechuga. Disponible en: <http://www.agronet.gov.co/agronetweb/AnalisisEstadisticas/tabid/73/Default.aspx>; consulta: mayo de 2010.
- Almanza, P. 2000. Fisiología vegetal. Instituto Universitario Juan de Castellanos. Tunja, Colombia.
- Amador-Martínez, J.A.; J.G. Álvarez-Herrera y H.E. Balaguera-López. 2008. Efecto del calcio y láminas de riego en la producción y calidad del repollo (*Brassica oleraceae* L.). Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica 11(2), 153-162.
- Azcón-Bieto, J. y M. Talón. 2000. Fisiología y bioquímica de plantas. McGraw-Hill Interamericana, Madrid.
- Balaguera-López, H.E.; Y.A. Deaquiz y J.G. Álvarez-Herrera. 2009a. Plántulas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) provenientes de semillas embebidas en diferentes soluciones de giberelinas ( $GA_3$ ). Agron. Colomb. 27(1), 57-64.
- Balaguera-López, H.E.; J.F. Cárdenas-Hernández y J.G. Álvarez-Herrera. 2009b. Effect of gibberellic acid ( $GA_3$ ) on seed germination and growth of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) Acta Hort. 821, 141-148.
- Beninni, E.R. Y.; H.W. Takahashi y C.S. V.J. Neves. 2003. Manejo do cálcio em alface de cultivo hidropônico. Hort. Bras. 21(4), 605-610.
- Borkowski, J. y E. Szwonek. 1994. The effect of temperature on chinese cabbage tipburn and its control by calcium nitrate or citric acid. Acta Hort. 371, 363-369.
- Bultynck, L. y H. Lambers. 2004. Effects of applied gibberellic acid and paclobutrazol on leaf expansion and biomass allocation in two *Aegilops* species with contrasting leaf elongation rates. Physiol. Plant. 122(1), 143-151.
- Castellano, G.; O. Quijada; R. Ramírez y E. Sayago. 2006. Efecto de la fertilización con calcio y el estado de madurez sobre la calidad de la fruta de guayaba (*Psidium guajava* L.). 7(2), 109-113.
- Collier, G.F. y T.W. Tibbitts. 1982. Tipburn of lettuce. Hort. Rev. 4, 49-65.
- Creswell, G.C. 1991. Effect of lowering nutrient solution concentration at night on leaf calcium levels and the incidence of tipburn in lettuce (var. Gloria). J. Plant Nutr. 14(9), 913-924.
- Davies, P. 2004. Plant hormones. Kluwer Academic Publ., Dordrecht, The Netherlands.
- Díaz, A; G. Cayón y J. J. Mira. 2007. Metabolismo del calcio y su relación con la «mancha de madurez» del fruto de banano. Una revisión. Agron. Colomb. 25(2), 280-287.
- Dutra, P.V. 2000. Interação entre micorrizas arbusculares e ácido giberélico no desenvolvimento vegetativo de plantas de *Citrangecarrizo*. Ciência Rural 30(5), 783-787.
- El Fouly, M.M.; R. Sakr; M.K. Fouad; A.M. Zahery y A.F.A. Fawzi. 1988. Effect of GA, CCC and B-9 on morphophysiological characters and yield of kidney beans (*Phaseolus vulgaris* L.) J. Agron. Crop Sci. 160, 94-101.
- Evans, N. H.; M.R. Mcainsh y A.M. Hetherington. 2001. Calcium oscillations in higher plants. Curr. Opin. Plant Biol. 4, 415-420.
- Garrod, J. 1974. The role of gibberellins in early growth and development of sugar beet. Plant Cell Physiol. 25(5), 945-954.
- Hernández-Muñoz, P.; E. Almenar; V. Del Valle; D. Vélez y R. Gavara. 2008. Effect of chitosan coating combined with postharvest calcium treatment on strawberry (*Fragaria x ananassa*) quality during refrigerated storage. Food Chem. 110, 428-435.
- Kadaja, J. y H. Tooming. 2004. Potato production model based on principle of maximum plant productivity. Agric. For. Meteorol. 127, 17-33.
- King, R.W.; H. Seto y R.M. Sachs. 2000. Response to gibberellin structural variants shows that ability to inhibit flowering correlates with effectiveness for promoting stem elongation of some plant species. Plant Growth Regul. 19, 8-14.
- Kordyum, E.L. 2003. Calcium signaling in plant cell in altered gravity. Institute of Botany of the National Academy of Sciences of Ukraine 32(8), 1621-1630.
- Leite, V.M; C. A. Rosolem y J.D. Rodrigues. 2003. Gibberellin and cytokinin effects on soybean growth. Sci. Agric. 60(3), 537-541.



- Leonel, S. y C.J. Pedroso. 2005. Produção de mudas de maracujazeiro-doce com o uso de biorregulador. *Rev. Bras. Frutic.* 27(1), 107-109.
- Lloyd, C.W.; P.J. Shaw; R.M. Warn y M.Yuan. 1996. Gibberellic-acid induced reorientation of cortical microtubules in living plant cells. *J. Microsc.* 181, 140-144.
- McComb, A. 1966. The stimulation by gibberellic acid of cell wall synthesis in the dwarf pea plant. *Ann. Bot.* 30, 155-163.
- Marschner, H. 2002. Mineral nutrition of higher plants. 2th ed. Academic Press, London.
- Mengel, K. y E. A Kirby. 1987. Principles of plant nutrition. International Potash Institute. 4<sup>th</sup> ed. Bern, Switzerland. pp. 455-480.
- Navarro, L.; T. Rodríguez e I. Rodríguez. 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. *Revista Científica Suplemento* 12, 534-538.
- Oliveira, A. de; G. Ferreira; J.D. Rodrigues; T.B. Ferrari; V.L. Kunz; M.A. Primo y L.D. Poletti. 2005. Efeito de reguladores vegetais no desenvolvimento de mudas de *Passiflora alata* Curtis. *Rev. Bras. Frutic.* 27(1), 9-13.
- Paroussi, G.; D.G. Voyiatzis; E. Paroussi y P.D. Drogour. 2002. Growth, flowering and yield responses to GA<sub>3</sub> of strawberry grown under different environmental conditions. *Scientia Hort.* 9, 103-113.
- Raven, H.P.; F.R. Evert y E.S. Eichhorn. 2000. *Biología vegetal*. 6 ed. Guanabara Koogan, Rio de Janeiro.
- Reid, J.B.; G.M. Symons y J.J. Ross. 2004. Regulation of gibberellin and brassinosteroid biosynthesis by genetic, environmental and hormonal factors. pp. 179-203. En: Davies P.J. (ed.). *Plant Hormones: Biosynthesis, Signal Transduction, Action*. Kluwer Academic Publ., Dordrecht, The Netherlands.
- Rodríguez, S. 1992. Fertilizantes, nutrición vegetal. AGT Editores. México, DF.
- Salisbury, F.B. y C.W. Ross. 2000. *Fisiología de las plantas. Desarrollo de las plantas y fisiología ambiental*. Thompson Ediciones, Madrid.
- Sam, E. 2000. El uso del calcio soluble para estimular el crecimiento vegetal. *Comunicaciones Agrícolas. El Sistema Universitario Texas A&M*. 4 p. En: [http://www.tcebookstore.org/publications\\_getfile.cfm?getfile=pdf&whichpublication=112](http://www.tcebookstore.org/publications_getfile.cfm?getfile=pdf&whichpublication=112); consulta: agosto de 2008.
- Sanders, D.; C. Brownlee y J. Harper. 1999. Communicating with calcium. *Plant Cell* 11, 691-706.
- Schmidt, C.M.; R.A. Bellé; C. Nardi y K.A. Toledo. 2003. Ácido giberélico (GA3) no crisantemo (*Dedranthema grandiflora* Tzvelev.) de corte viking; cultivo de verão. *Ciência Rural* 33(2), 267-274.
- Sun, T. P. 2004. Gibberellin signal transduction in stem elongation and leaf growth. pp. 304-320. En: Davies, P. J. (ed.). *Plant Hormones: Biosynthesis, Signal Transduction, Action!* Kluwer Academic Publ., Dordrecht, The Netherlands.
- Taiz, L. y E. Zeiger. 2006. *Plant physiology*. 4<sup>th</sup> ed. Sinauer Associates Inc. Publ., Sunderland, MA.
- Tanimoto, E. 1990. Gibberellin requirement for the normal growth of roots. pp. 229-240. En: Takahashi, N.; B.O. Phinney y J. MacMillan (eds.). *Gibberellins*. Springer-Verlag, New York, NY.
- Vásquez, O.; M. Gómez; H. Segura y R. Rosales. 2006. Efectos de campos magnéticos en material orgánico. *Revista Colombiana de Física* 38(3), 1307-1310.
- White, P. J. 2000. Calcium channels in higher plants. *Biochem. Biophys. Acta* 1465, 171-189.
- Yamaguchi, S. 2008. Gibberellin metabolism and its regulation. *Annu. Rev. Plant Biol.* 59, 225-251.
- Yuan, M.; P.J. Shaw; R.M. Warn y C.W. Lloyd. 1994. Dynamic reorientation of cortical microtubules, from transverse to longitudinal, in living plant cells. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 91, 6050-6053.