

Efecto del NaCl sobre los parámetros de crecimiento, rendimiento y calidad de la cebolla de bulbo (*Allium cepa* L.) bajo condiciones controladas

NaCl effects on growth, yield and quality parameters in the onion (*Allium cepa* L.) under controlled conditions

ALEJANDRO COCA C.^{1, 5}
CARLOS E. CARRANZA²
DIEGO MIRANDA³
MARLON H. RODRÍGUEZ⁴

Niveles crecientes de NaCl en el agua de riego disminuyen el diámetro del bulbo de cebolla Yellow Granex.

Foto: A. Coca C.



RESUMEN

El experimento se realizó en el primer semestre de 2010 en los invernaderos de la Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, con temperatura y humedad relativa promedio de 21°C y 60%, respectivamente. Se evaluó el efecto de concentraciones crecientes en el agua de riego de 0, 30, 60 y 90 mM de NaCl (conductividad eléctrica de 0, 3, 6 y 9 $\pm 0,2$ dS m⁻¹, respectivamente) sobre parámetros de crecimiento, rendimiento y calidad en cebolla de bulbo, var. Yellow Granex, en un diseño completamente aleatorizado con cuatro repeticiones. Los niveles salinos crecientes generaron un desarrollo precoz, expresado en acumulación rápida de materia seca (MS) en los primeros estados de crecimiento, teniendo implicaciones fisiológicas en el desarrollo del bulbo. Se presentaron diferencias significativas a partir de la etapa de desarrollo del bulbo para las variables altura, número de hojas y diámetro del pseudotallo de la planta. Asimismo, se registraron reducciones respecto al tratamiento control de 31%, 53% y 70% de MS total, 44%, 53% y 71% de MS de la parte aérea, 28%, 49% y 74% de MS del bulbo, 12%, 25% y 43% para el diámetro y 30%, 52% y 78% para el peso fresco del bulbo en los niveles crecientes de 30, 60 y 90 mM de NaCl, respectivamente. Los niveles salinos crecientes se relacionaron directamente con el aumento en los valores de sólidos solubles totales y disminución en el contenido de ácido pirúvico, lo que se tradujo en un sabor más dulce y menos pungente de los bulbos.

¹ Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá (Colombia).

² Facultad de Agronomía, Programa de Maestría en Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá (Colombia).

³ Facultad de Agronomía, Departamento de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá (Colombia).

⁴ Facultad de Ciencias Agrarias y del Medio Ambiente, Universidad Francisco de Paula Santander, Cúcuta (Colombia).

⁵ Autor para correspondencia. acocac@unal.edu.co

Palabras clave adicionales:

salinidad, agua de riego, análisis de crecimiento, pungencia.

ABSTRACT

The experiment was conducted during the first semester of 2010 in the greenhouses of the Agronomy Faculty, Universidad Nacional de Colombia, Bogota, with 21°C and 60% for the average temperature and relative humidity, respectively. The effect of increasing NaCl concentrations in the irrigation water, 0, 30, 60 and 90 mM (electrical conductivity of 0, 3, 6 y 9 ± 0.2 dS m⁻¹, respectively), was evaluated for growth, yield and quality parameters in onion bulbs (var. Yellow Granex) in a completely randomized design with four replications. Increasing levels of NaCl generated earlier development, expressed in rapid accumulation of dry mass (DM) in early stages of growth, with implications for both physiological and commercial development of the bulb. Significant differences were evident from the bulb stage on, for height, leaf number and pseudostem diameter of the plant. Furthermore, there was a reduction, as compared to the control treatment, of 31%, 53% and 70% for total DM; 44%, 53% and 71% for shoot DM; 28%, 49% and 74% for bulb DM; 12%, 25% and 43% for bulb diameter; and 30%, 52% and 78% for bulb fresh mass with the 30, 60 and 90 mM NaCl levels, respectively. Finally, increased levels of NaCl were directly correlated with an increase in total soluble solid values and a decrease in pyruvic acid content, which resulted in bulbs with a sweeter and less pungent taste.

Additional key words: salinity, irrigation water, growth analysis, pungency.

Fecha de recepción: 21-08-2012

Aprobado para publicación: 28-11-2012

INTRODUCCIÓN

La salinidad es uno de los factores más limitantes en el crecimiento y desarrollo de las plantas. Se estima que 800 millones de hectáreas en el planeta están afectadas por sales, de estas, 397 millones lo son por problemas de salinidad y 434 millones asociadas a sodicidad (Munns y Tester, 2008). Varias son las causas vinculadas a estos procesos de salinización, entre las cuales es posible citar un excesivo empleo de fertilizantes, uso de agua de riego de mala calidad por exceso de sales, mal drenaje y tala de vegetación arbórea (Tanwar, 2003).

Los mecanismos por los cuales la salinidad induce a la inhibición del crecimiento son comple-

jos y controversiales (Kozłowski, 1997). Según Flórez *et al.* (2006), los efectos de las sales en general son: efecto osmótico (estrés hídrico), causados por la disminución del potencial hídrico del suelo, lo que impide la absorción de agua por las raíces y reduce la expansión celular en el ápice de las raíces al igual que en hojas jóvenes, disminuyendo el área foliar y las tasas de crecimiento (Boyer, 1985; Munns y Tester, 2008); y los efectos tóxicos por la toma de iones Na⁺ y Cl⁻; reducción de la toma de nutrientes (K⁺ y Ca⁺⁺), debido a efectos antagonicos. El estrés por sales afecta la mayoría de los procesos como: crecimiento, desarrollo, fotosíntesis, síntesis de proteínas y metabolismo de lípidos (Parida y Das, 2005).

La cebolla es una planta glicófita por tanto su tolerancia a la salinidad es baja. Se ha reportado que el crecimiento y rendimiento de cebolla se ve afectado cuando la salinidad del agua de riego excede los 3 dS m^{-1} (Gupta y Yadav, 1986). Otras investigaciones reportan que altos niveles de salinidad reducen el crecimiento vegetativo, rendimiento y calidad de la cebolla (Al-Islali *et al.*, 1994; Lima y Bull, 2007). En adición, la sensibilidad a las condiciones de estrés salino es variable de acuerdo con la variedad de la especie y a la etapa fenológica del cultivo (Lima y Bull, 2007). No solo los aspectos de crecimiento y desarrollo de la cebolla pueden verse afectados por la salinidad, Chang y Randle (2005) registran interferencias en el desarrollo de los precursores del sabor y pungencia por niveles altos de salinidad.

En Colombia, desde el punto de vista del valor de la producción anual, la cebolla de bulbo es quizás la segunda hortaliza de mayor importancia, después del tomate (López, 2006). Según datos de Agronet del 2010, el departamento de Boyacá es el principal productor de cebolla de bulbo representando el 43,85% del área nacional cultivada, el 48,76 % de la producción y con un rendimiento de $24,5 \text{ t ha}^{-1}$, el mayor del país, frente a un $22,0 \text{ t ha}^{-1}$ de valor promedio nacional. Estas cifras superiores, además de ser consecuencia de condiciones agroecológicas ideales, lo son también por la disponibilidad del distrito de Riego del Alto Chicamocha, el cual favorece la expansión agrícola, oferta y rendimiento de este cultivo (Saavedra, 2010). De acuerdo con lo anterior, el conocimiento y evaluación de la calidad de agua de riego es determinante para la sustentabilidad de los sistemas de producción de la cebolla de bulbo de esta y otras zonas de menor importancia.

Aunque se han realizado estudios referentes a los efectos de la salinidad en aspectos de creci-

miento y desarrollo en cebolla de bulbo, la mayoría han sido desarrollados en condiciones del subtropical (Al-Islali *et al.*, 1994; Wannamaker y Pike, 1987; Mangal y Lal, 1988; Mansour, 1998; Al-Harbi *et al.*, 2002; Kadayifci y Tuylu, 2004; Chang y Randle, 2005), siendo escasos los reportados bajo condiciones del trópico (Lima y Bull, 2007), así como bajo las características del clima nacional (Puentes y Torres, 2006).

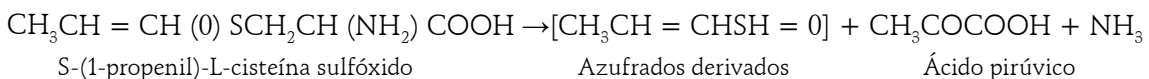
La pungencia y la cantidad de azúcares totales han sido dos parámetros bioquímicos acogidos en la evaluación del masal para el procesamiento industrial de las cebollas así como para su comercialización en fresco, por ejemplo, cebollas dulces (Arbolea, 2005).

En el caso de la cebolla el principal precursor es el S-(1-propenil)-L-cisteína sulfóxido, de acuerdo con la reacción (Arbolea, 2005) (ver fórmula parte inferior de la página).

La reacción produce ácido pirúvico (APT), amoníaco y muchos compuestos azufrados derivados que le dan a la cebolla las características de sabor y olor (Chang y Randle, 2005).

Por otra parte, se ha determinado que el nivel máximo de sabor y pungencia en cebollas, además de ser controlado genéticamente, puede ser determinado principalmente por las condiciones de cultivo (temperatura, humedad relativa, horas de luz solar, condiciones de riego y fertilización, almacenamiento, prácticas culturales, entre otros) (Arbolea, 2005).

El objetivo de la investigación fue evaluar el efecto del NaCl sobre los parámetros de crecimiento, desarrollo, rendimiento y calidad de la cebolla de bulbo Yellow Granex bajo condiciones controladas.



MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación y condiciones del ensayo

El ensayo se realizó en los invernaderos de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, ubicados a 2.556 msnm, con una temperatura y humedad relativa promedio interna de 21°C y 60%, respectivamente.

Plántulas de cebolla (*Allium cepa* L.) variedad Yellow Granex, de 88 d después de siembra (dds), fueron trasplantadas a materas de 2 L con sustrato mezcla (1:1) de turba (Klasmann-Deilmann GmbH, Geeste, Alemania), sin presencia de minerales y arena de río. La fertilización se realizó posterior a los 23 d después de transplante (ddt), aplicando una vez por semana un fertilizante (Master®, Bogotá, Colombia) con fórmula NPK 13-40-13 y una dosis de 2 g L⁻¹ hasta el día de cosecha (87 ddt). Asimismo, se controló eficazmente la población de trips con una aplicación, a los 30 ddt, de Lambdacialotrina presente en el insecticida Karate Zeon CS (Syngenta®, Berlin) con una dosis de 0,5 mL L⁻¹.

Se utilizó un diseño completamente aleatorizado con cuatro tratamientos (niveles crecientes de salinidad en el agua de riego 0, 30, 60 y 90 mM de NaCl (conductividad eléctrica de 0, 3, 6 y 9 ±0,2 dS m⁻¹, respectivamente) y cuatro repeticiones. El inicio de la aplicación de cada solución se dio a partir de los 17 ddt, realizando dos apli-

caciones de cada tratamiento por semana intercaladas con una aplicación de fertilizante.

Variables de crecimiento y desarrollo

Se evaluaron, mediante muestreos destructivos, las variables altura, número total de hojas (emergidas y secas), diámetro del bulbo y pseudotallo, y área foliar (Licor Inc® 3100, Lincoln, NE), a los 23, 36, 50, 64, 76 y 87 ddt. Asimismo se registraron datos de peso seco total (bulbo, pseudotallo, raíz, parte foliar) utilizando secado en horno de convección forzada (Binder® FD-53, Tuttlingen, Alemania) a 60°C durante 72 h.

Como parte del análisis de los datos registrados, fueron determinados los parámetros de crecimiento por cada tratamiento desde un enfoque bayesiano (Kéry, 2010). De esta manera se evaluó el ajuste de cuatro modelos matemáticos no lineales (tabla 1). Posterior a la selección del modelo de mayor ajuste, se calcularon algunos índices de crecimiento (tabla 2), indicadores de los efectos de la salinidad en la eficiencia fisiológica de las plantas (Carranza *et al.*, 2009).

Variables de rendimiento y calidad

En primera instancia, se evaluó el peso fresco del bulbo a los 87 ddt (día de cosecha). Posteriormente, el mismo material se dispuso bajo refrigeración (-5°C) hasta a los 105 ddt, época en la cual se evaluaron los sólidos solubles totales y el

Tabla 1. Modelos de crecimiento evaluados para determinar los índices de crecimiento a partir de la estimación de los parámetros área foliar y peso seco total (Seber y Wild, 1989).

Modelo	Derivada	Ecuación o función
Monomolecular (exponencial)	$dW/dt = k(\alpha - W)$	$Y = \alpha(1 - e^{-k(t-\gamma)})$
Gompertz	$dW/dt = k Y(\log \alpha - \log W)$	$Y = \alpha e^{-e^{-k(t-\gamma)}}$
Logístico	$dW/dt = (k/\alpha) Y(\alpha - W)$	$Y = \alpha/(1 + e^{-k(t-\gamma)})$
Richards	$dW/dt = (k/1-m)W((W/a)^{m-1}-1)$	$Y = \alpha/(1 + (\delta-1)e^{-k(t-\gamma)})^{1/(1-m)}$

Y = valor estimado de una variable en un determinado tiempo; t = tiempo en el que se estima la variable; α , k, γ , δ = parámetros del modelo; e = base de los logaritmos naturales.

Tabla 2. Componentes de los parámetros de crecimiento determinados en el ensayo (Flórez *et al.*, 2006).

Índice	Descripción	Fórmula	Unidades
TAC	Tasa absoluta de crecimiento	dW/dt	$g\ d^{-1}$
TRC	Tasa relativa de crecimiento	$(1/W)(dW/dt)$	$g\ g^{-1}\ d^{-1}$
TAN	Tasa de asimilación neta	$(1/L_A)(dW/dt)$	$g\ cm^{-2}\ d^{-1}$
AFE	Área foliar específica	L_A/W	$cm^2\ g^{-1}$
RPF	Relación de peso foliar	L_w/W	$g\ g^{-1}$

W = materia seca total (g); L_w = materia seca foliar (g); L_A = área foliar (cm^2); dW/dt = variación de la materia seca en función del tiempo.

contenido de ácido pirúvico de los bulbos según los métodos descritos por Pozzo *et al.* (2005) y Gordon y Barret (2003), respectivamente.

Así, previo a iniciar las pruebas, cada bulbo, referente a la repetición por tratamiento, fue cortado en su plano ecuatorial, removiendo las capas externas y así, como la parte basal y superior. En seguida, el material vegetal fue homogenizado licuándolo con agua en proporción 1:1 (1 g de bulbo de cebolla; 1 mL de agua), durante 5 min. Se utilizó una alícuota de 0,5 mL del sobrenadante y se llevó a 2 mL con agua destilada, y en seguida se midió la absorbancia con un refractómetro de mesa digital (Atago® Master, Tokio), donde se registraron los sólidos solubles totales (SST), expresados en grados Brix.

Por su parte, para el análisis de ácido pirúvico, se tomó una muestra filtrada de 25 μ L del licuado restante depositándola en tubos de ensayo con 1 mL de agua. A esta solución se le adicionó 1 mL de una solución mezcla de 0,025% de 2,4-dinitrofenilhidrazina (DNHP) con 1 N HCl. Cada tubo se dispuso en un agitador (Fisher Scientific® Vortex Genie, Waltham, MA) en condiciones ambiente por 1 min y a 2.500 rpm, y posteriormente se dispuso en horno (Binder® FD-53, Tuttlingen, Alemania) a 37 °C por 10 min. Cumplido el tiempo, se retiró el tubo de ensayo con la solución (licuado cebolla+agua+DNHP+HCl) y se le adicionó 1 mL de 1,5 N de NaOH. La muestra fue inmediatamente dispuesta en el espectrofotómetro (Shimadzu® 160A, Columbia, MD) a 515 nm, registrando el valor de transmitancia.

Para estandarizar el valor de piruvato por muestra, se construyó una curva de calibración, estableciendo una ecuación de regresión lineal entre una concentración madre de 10 mM de piruvato de sodio (Sigma®) y concentraciones de 0,02; 0,05; 0,10; 0,15 y 0,20 mM generadas a partir de la muestra madre. Los resultados se expresaron en unidades de μ M g^{-1} de piruvato por muestra.

Análisis estadístico

El análisis de las variables fue dividido bajo dos enfoques, el frecuentista y el bayesiano. De esta manera, por el primer método fueron evaluadas las variables peso fresco del bulbo, sólidos solubles totales, contenido de ácido pirúvico, altura, diámetro del pseudotallo y del bulbo, número de hojas (emergidas y secas) y área foliar. Se realizó un análisis de varianza (Anova) y para las diferencias de medias se utilizó la prueba de Duncan ($P \leq 0,05$) en el *software* estadístico SAS® v.9.1.

El método bayesiano fue usado para la estimación de los parámetros de los modelos estadísticos (tabla 1), usando el *software* Winbugs 1,4 (BUGS Project®, Cambridge, UK) se evaluó el comportamiento de cada modelo para las variables peso seco (bulbo, parte aérea y total) y área foliar.

En el caso de análisis bayesiano, para limitar el valor de los parámetros y de la varianza se les asignó a priori una distribución uniforme por modelo (Press, 1989; Guzmán, 2005). Los modelos fueron ejecutados de acuerdo al procedimiento de Monte Carlo (MCMC) (Abellan *et al.*,

2004), automatizando mediante un *script* la evaluación de 3 cadenas de Markov por parámetro con 100.000 y 20.000 iteraciones o *burnins* iniciales y posteriores, respectivamente. La selección del modelo de mejor ajuste por variable se realizó con base al valor de DIC (criterio de información de devianza), el cual es una medida de bondad de ajuste en el modelo, siendo considerado como mejor modelo aquel de menor valor de este parámetro (Spiegelhalter *et al.*, 2002).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Altura y diámetro del pseudotallo de la planta

El diámetro del pseudotallo y la altura de la planta en la etapa final del experimento (87 ddt) fueron inhibidos con el aumento proporcional de sales en el agua de riego. A partir de los 50 ddt, se observaron diferencias significativas de altura entre los tratamientos control y 90 mM de NaCl, siendo siempre las plantas control las que mayor altura presentaron (figura 1A). La disminución del diámetro del pseudotallo fue estadísticamente

diferente entre los tratamientos a partir de los 23 ddt, presentándose reducciones, a los 87 ddt, del margen de 27,2%; 36,3% y 51,8% en relación al tratamiento control con las concentraciones de agua de riego de 30, 60 y 90 mM de NaCl, respectivamente (figura 1B). Estos resultados concuerdan con Manga y Lal (1988), quienes registraron una reducción severa en la altura y diámetro del pseudotallo en plantas de cebolla con el aumento del nivel de salinidad en el suelo.

Número de hojas

El mayor número de hojas totales se observó en las plantas sin adición de NaCl, con 13 hojas promedio, seguido por las plantas establecidas en el sustrato con 30 y 60 mM, con 11 y 10 hojas, respectivamente (figura 2A). Este resultado concuerda con lo determinado por Lima y Bull (2007) quienes indican que la salinidad reduce linealmente el número de hojas de las plantas. Por otra parte, el componente de hojas totales dividido en hojas emergidas y hojas secas, mostró diferencias significativas a partir de los 50 y 64 ddt, respectivamente. El tratamiento con mayor

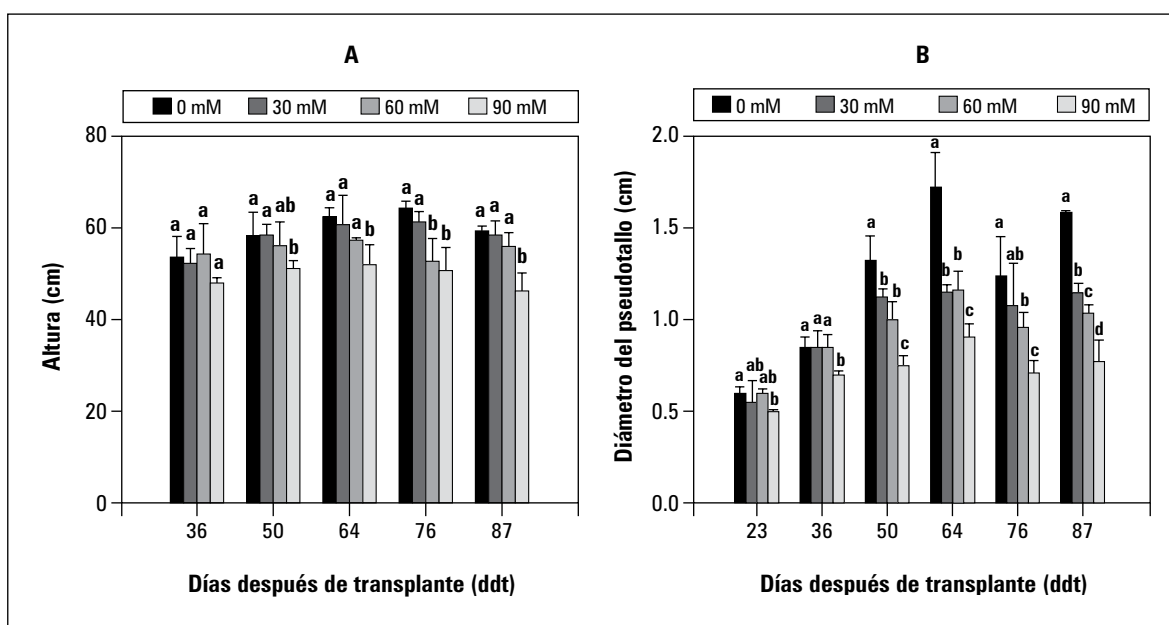


Figura 1. A. Altura y B. Diámetro del pseudotallo de plantas de cebolla sometidas a concentraciones crecientes de NaCl. Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos según la prueba Duncan ($P \leq 0,05$). Las barras indican la desviación estándar de las observaciones.

tasa de emisión foliar fue el de las plantas sin adición de NaCl, disminuyendo esta cantidad a medida que se aumentaba el nivel de salinidad (figura 2B). De manera contraria, el mayor número de hojas secas, indicó un aumento de la velocidad de maduración foliar en condiciones de salinidad (figura 2C). Lesmes *et al.* (2007) comentan que las hojas adultas son las que presentan mayores síntomas de daño por exceso de NaCl.

Área foliar

Para la evaluación de esta variable, el modelo de Richards fue el que presentó mejor ajuste al tratamiento de 0 mM de NaCl (DIC=219,365). Caso contrario, el modelo monomolecular se ajustó (DIC=221,28; 191,705 y 195,107 para los tratamientos de 30, 60 y 90 mM, respectivamente) (figura 3B). En la etapa de mayor emergencia

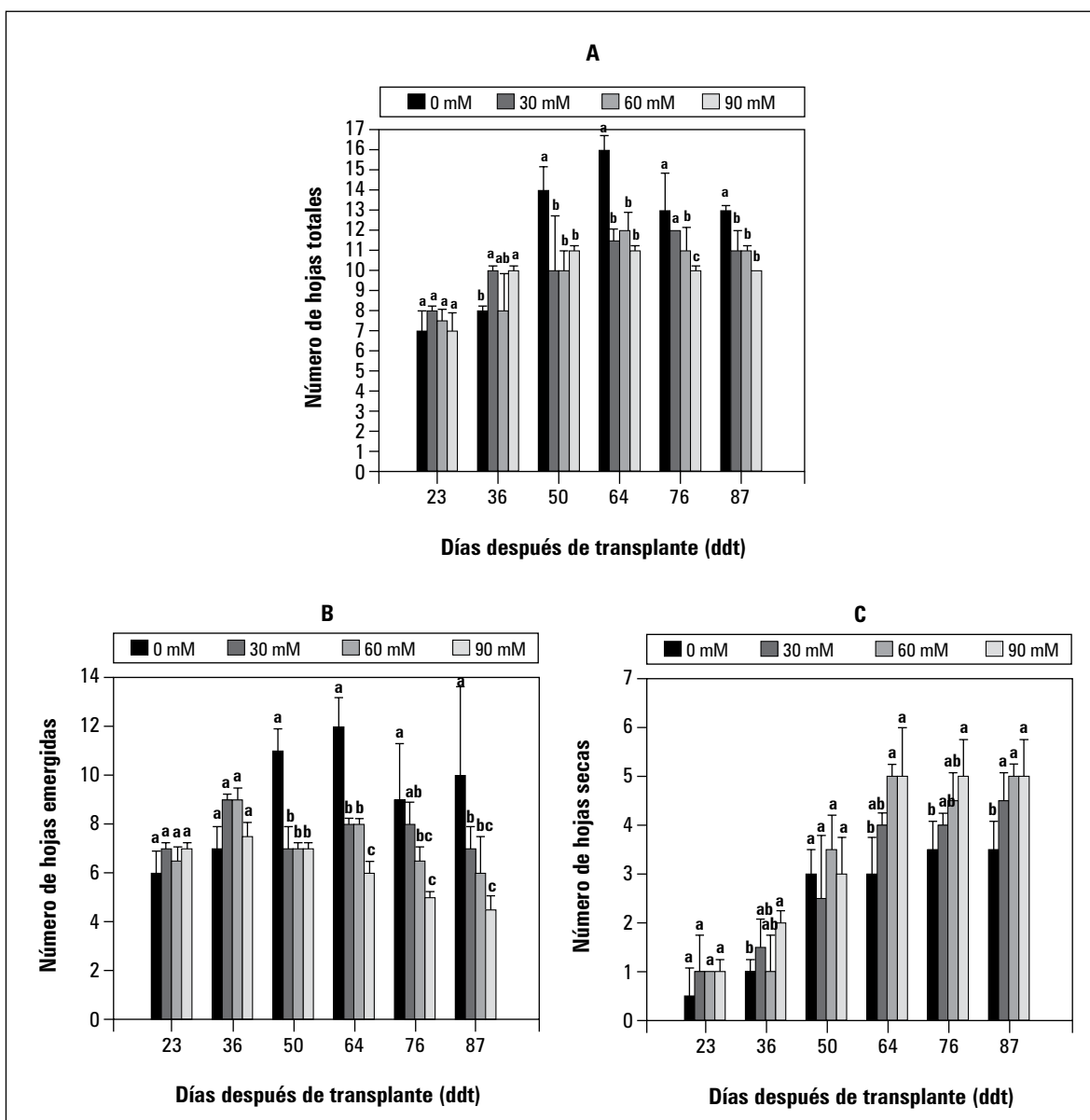


Figura 2. A. Número de hojas totales, B. Emergidas y C. Secas de plantas de cebolla sometidas a concentraciones de NaCl. Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos según la prueba Duncan ($P \leq 0,05$). Las barras indican la desviación estándar de las observaciones.

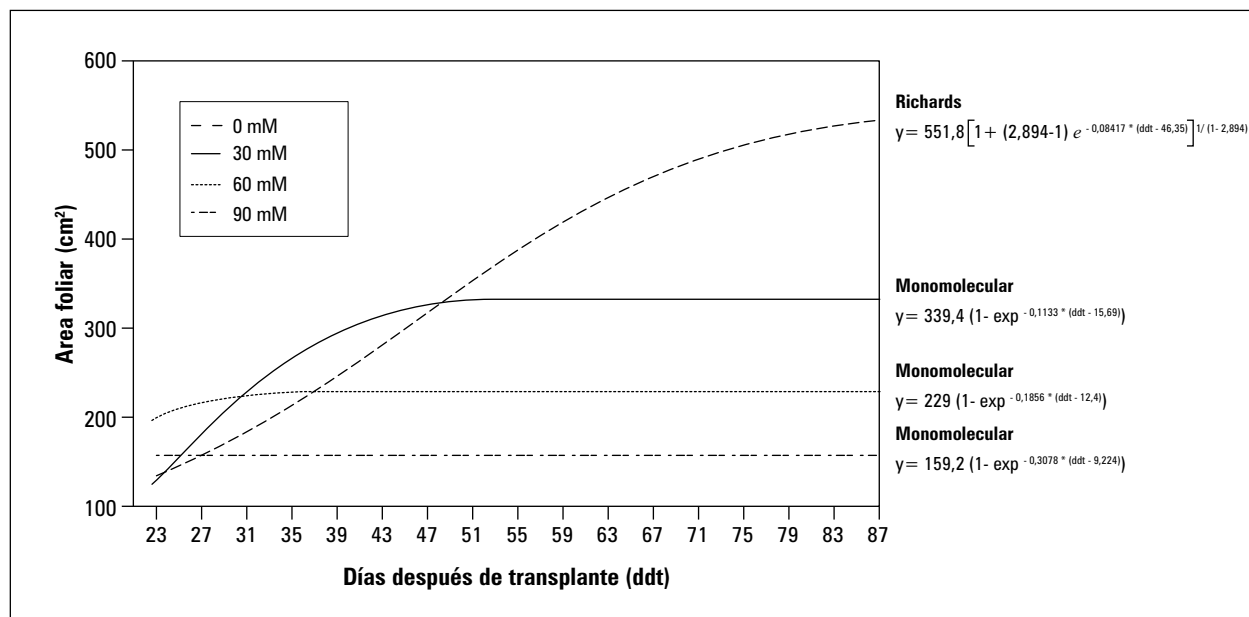


Figura 3. Comportamiento del área foliar de plantas de cebolla sometidas a concentraciones de NaCl desde el enfoque de análisis bayesiano. Al frente de cada curva se expresa el modelo matemático seleccionado así como los respectivos valores de sus parámetros.

de hojas nuevas (23-50 ddt), existe una reducción promedio de 2,9% y 30,5% para los niveles de 60 y 90 mM de NaCl respecto al tratamiento control. Lo anterior puede relacionarse en una menor cantidad de asimilados generados y disponibles para la etapa de bulbificación (Brewster, 2002).

Peso seco bulbo, pseudotallo, hojas y total

Desde el enfoque funcional bayesiano, se presentó el mejor ajuste para las variables de peso seco por los modelos logístico y de Richards, siendo este último de mayor frecuencia (figura 4). No obstante, puede observarse que el peso de las hojas presenta un comportamiento similar a las estimaciones de área foliar, indicando así la baja viabilidad de estos modelos para caracterizar los efectos ejercidos por la salinidad en este componente.

La salinidad ejerce un efecto negativo en la acumulación de materia seca (MS) tanto en el peso total como en sus componentes, peso de la parte aérea y del bulbo. Al igual que los resultados

obtenidos en el área foliar, no se evidenciaron diferencias significativas entre los tratamientos. Mansour (1998) determinó que el incremento de NaCl, a nivel celular, en plantas de cebolla genera daños en la permeabilidad de la membrana y aumenta el número de células muertas así como el número de células con protoplasmas hinchados. En consecuencia, estos efectos van a tener implicaciones en la disminución de la división celular así como el movimiento de agua y nutrientes, repercutiendo finalmente en aspectos de crecimiento y desarrollo de la planta.

En el día de cosecha (87 ddt), se puede llegar a perder, respecto a las plantas control, cerca de 31%, 53% y 70% de acumulación de MS total (figura 4A), 44%, 53% y 71% de MS de parte aérea (figura 4B), y 28%, 49% y 74% de MS del bulbo en plantas con agua de riego con 30, 60 y 90 mM de NaCl, respectivamente.

El comportamiento de las curvas, en especial la de peso seco del bulbo, permiten indicar el inicio de la formación del bulbo, se inicia a los 50 ddt. A partir de este periodo comienza a redu-

cirse la emisión de primordios foliares, siendo más afectada la producción de hojas y por tanto el peso seco de la parte aérea de las plantas sometidas a los niveles crecientes de salinidad (Lima y Bull, 2007).

Índices de crecimiento

La salinidad al igual que lo reportado en estudios similares, afecta el crecimiento vegetativo de las plantas de cebolla. Las plantas sin adi-

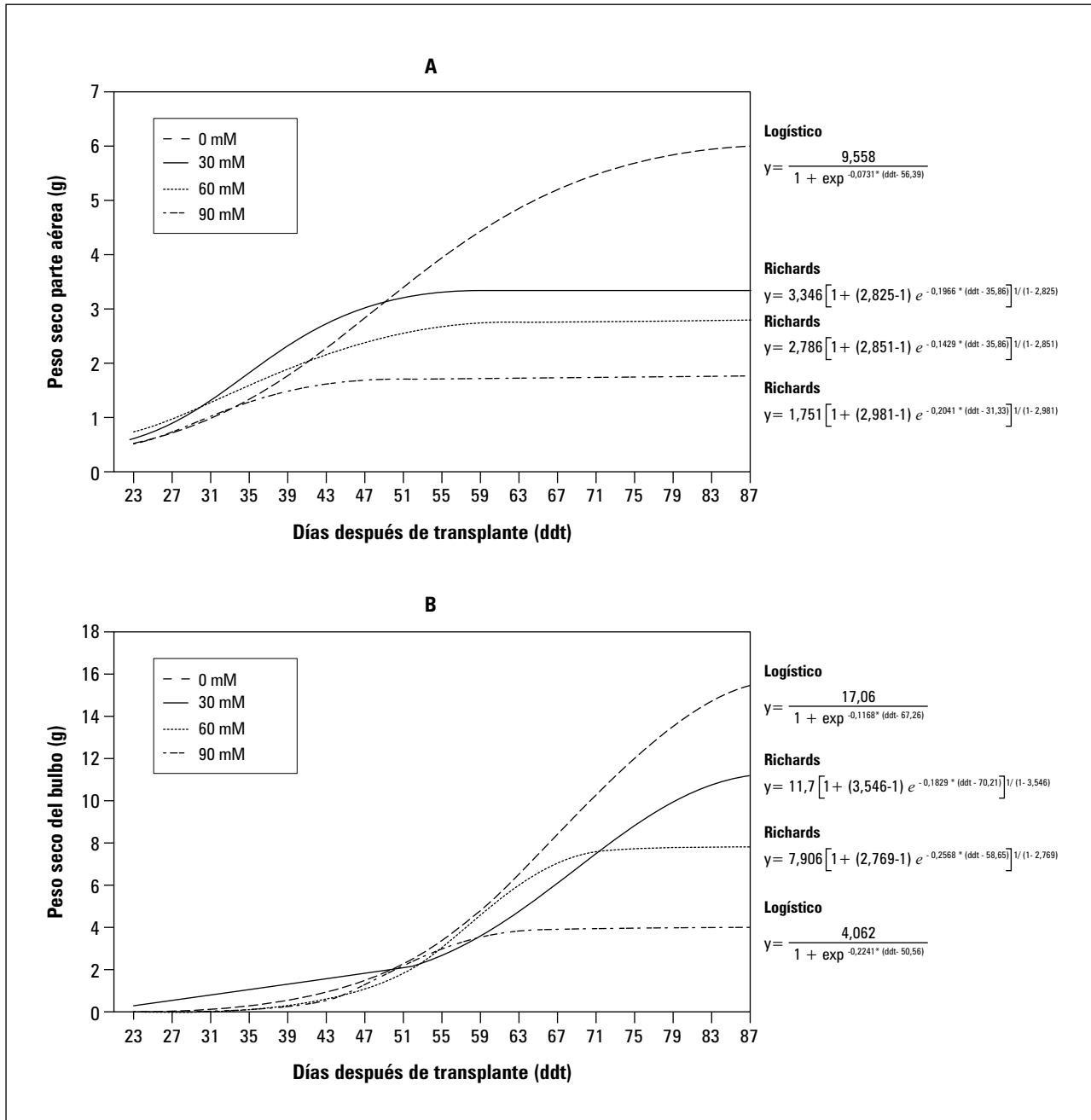


Figura 4. A. Comportamiento del peso seco de la parte aérea, B. Peso seco del bulbo y C. Peso seco total de plantas de cebolla sometidas a concentraciones crecientes de NaCl. Al frente de cada curva se expresa el modelo matemático seleccionado así como los respectivos valores de sus parámetros. (Continúa en la siguiente página)

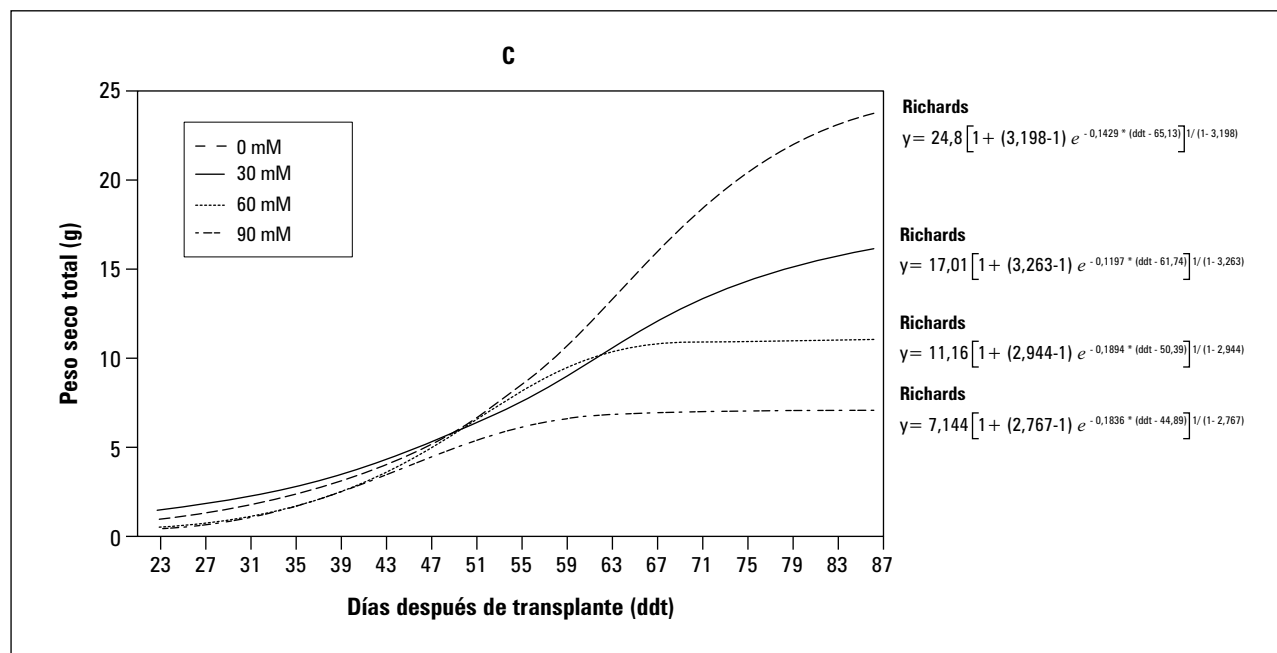


Figura 4. A. Comportamiento del peso seco de la parte aérea, B. Peso seco del bulbo y C. Peso seco total de plantas de cebolla sometidas a concentraciones crecientes de NaCl. Al frente de cada curva se expresa el modelo matemático seleccionado así como los respectivos valores de sus parámetros.

ción de NaCl alcanzaron la mayor tasa de crecimiento ($0,64 \text{ g dia}^{-1}$) a los 63 ddt. Las plantas sometidas a 30, 60 y 90 mM de NaCl alcanzaron su máxima tasa de crecimiento ($0,37$; $0,41$ y $0,27 \text{ g dia}^{-1}$) a los 62, 50 y 45 ddt, respectivamente (figura 5A).

En el caso de la tasa relativa de crecimiento se observó una mayor acumulación de MS, valor promedio de $0,090$ y $0,085 \text{ g g}^{-1} \text{ d}^{-1}$, por parte de los tratamientos 60 y 90 mM de NaCl, respectivamente, entre el periodo de los 23 a los 50 ddt (figura 5B), tiempo a partir del cual comienza a ser menor, valor promedio de $0,016$ y $0,008 \text{ g g}^{-1} \text{ d}^{-1}$, respecto al tratamiento control y 30 mM de NaCl, valor promedio de $0,036$ y $0,027 \text{ g g}^{-1} \text{ d}^{-1}$, respectivamente. Igualmente, la acumulación de MS fue de mayor precocidad en las plantas bajos estos niveles, comparándose con el comportamiento de la curva control.

Por su parte, la tasa de asimilación neta presentó un comportamiento similar a la TAC (figura 5C), no obstante los valores fueron mayores

para los niveles 60 y 90 mM, cerca de $0,0018$ y $0,0017 \text{ g cm}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ para los 50 y 45 ddt. El valor de la mayor TAN para los tratamientos restantes fue de $0,0014$ y $0,0011 \text{ g cm}^{-2} \text{ dia}^{-1}$. Estos valores de aparente mayor eficiencia fisiológica por parte de los niveles de 60 y 90 mM NaCl, se explican por el considerable aporte de acumulación de materia en los primeros días de crecimiento.

Los niveles crecientes de NaCl además de disminuir la tasa de crecimiento, aceleraron la acumulación precoz de MS, generando una respuesta más anticipada de la planta para desarrollarse, teniendo como resultado costos fisiológicos en la formación del bulbo. Dias *et al.* (2003) consideran la germinación y el desarrollo inicial, como las etapas más sensibles a los efectos de la salinidad. De acuerdo a esto, Millar (1984) determinó el inicio de la formación de bulbos como el periodo más crítico. Lo anterior pudo evidenciarse en este ensayo, cuando las curvas de la TAC comenzaron a descender anticipadamente respecto al tratamiento control.

El análisis de la parte foliar, como componente fundamental para la exportación posterior de asimilados necesarios para la bulbificación, fue posible mediante los índices de área foliar específica y relación de peso foliar. De esta manera, para el primero puede indicarse que los trata-

mientos de 60 y 90 mM NaCl presentan hojas con mayor espesor (figura 6A), y que de acuerdo con Pérez *et al.* (2004) se describen como hojas más frágiles y con mayor riesgo de pérdidas prematuras del tejido. Por su parte, el comportamiento de las curvas de relación de peso foliar

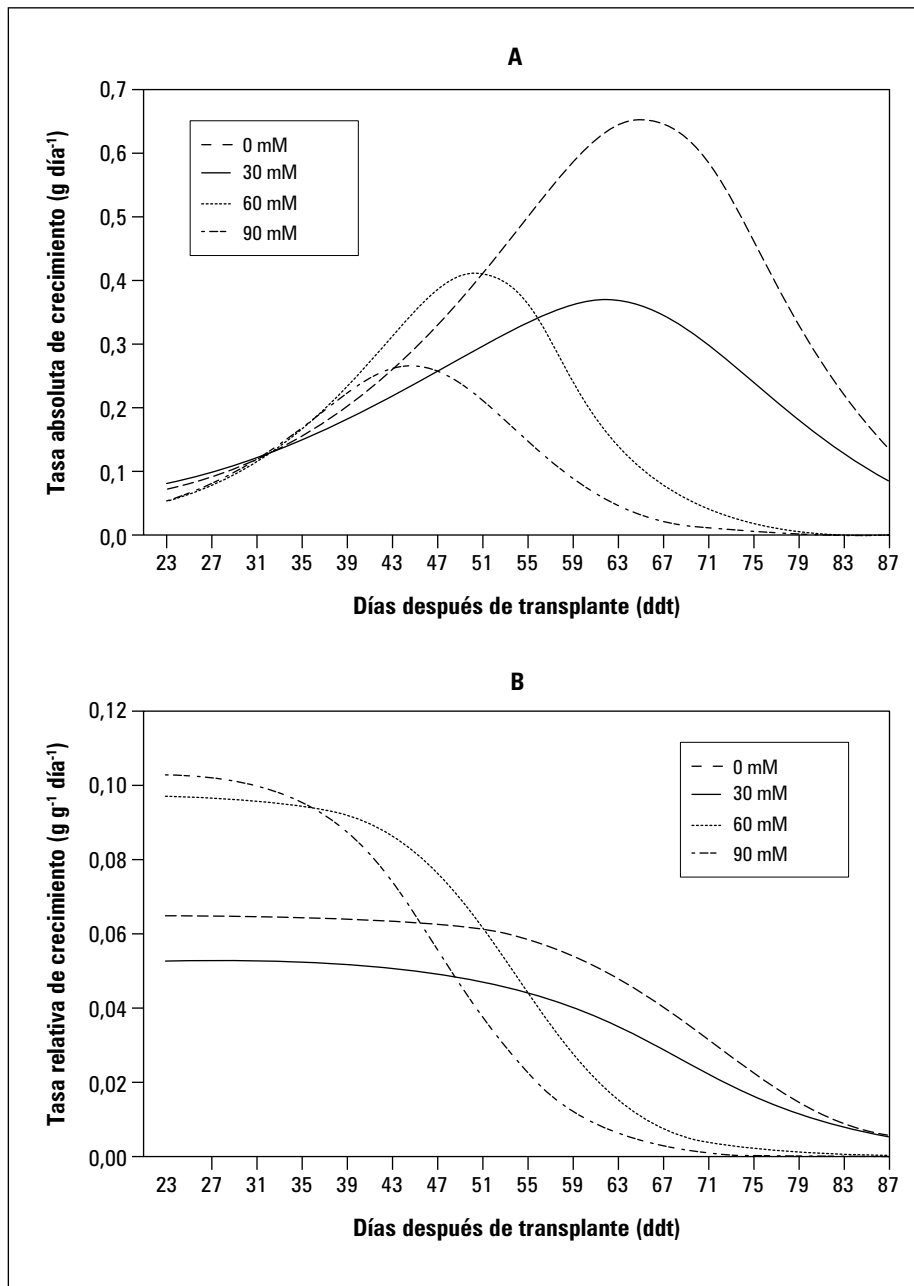


Figura 5. A. Comportamiento de la tasa absoluta de crecimiento, B. Tasa relativa de crecimiento y C. Tasa de asimilación neta de plantas de cebolla sometidas a concentraciones crecientes de NaCl. (Continúa en la siguiente página)

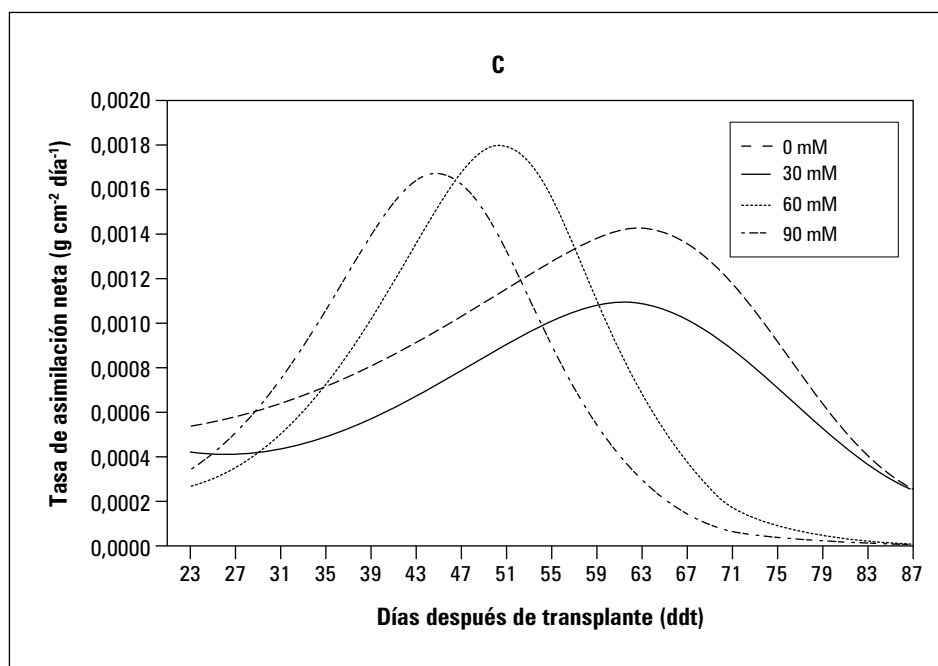


Figura 5. A. Comportamiento de la tasa absoluta de crecimiento, B. Tasa relativa de crecimiento y C. Tasa de asimilación neta de plantas de cebolla sometidas a concentraciones crecientes de NaCl.

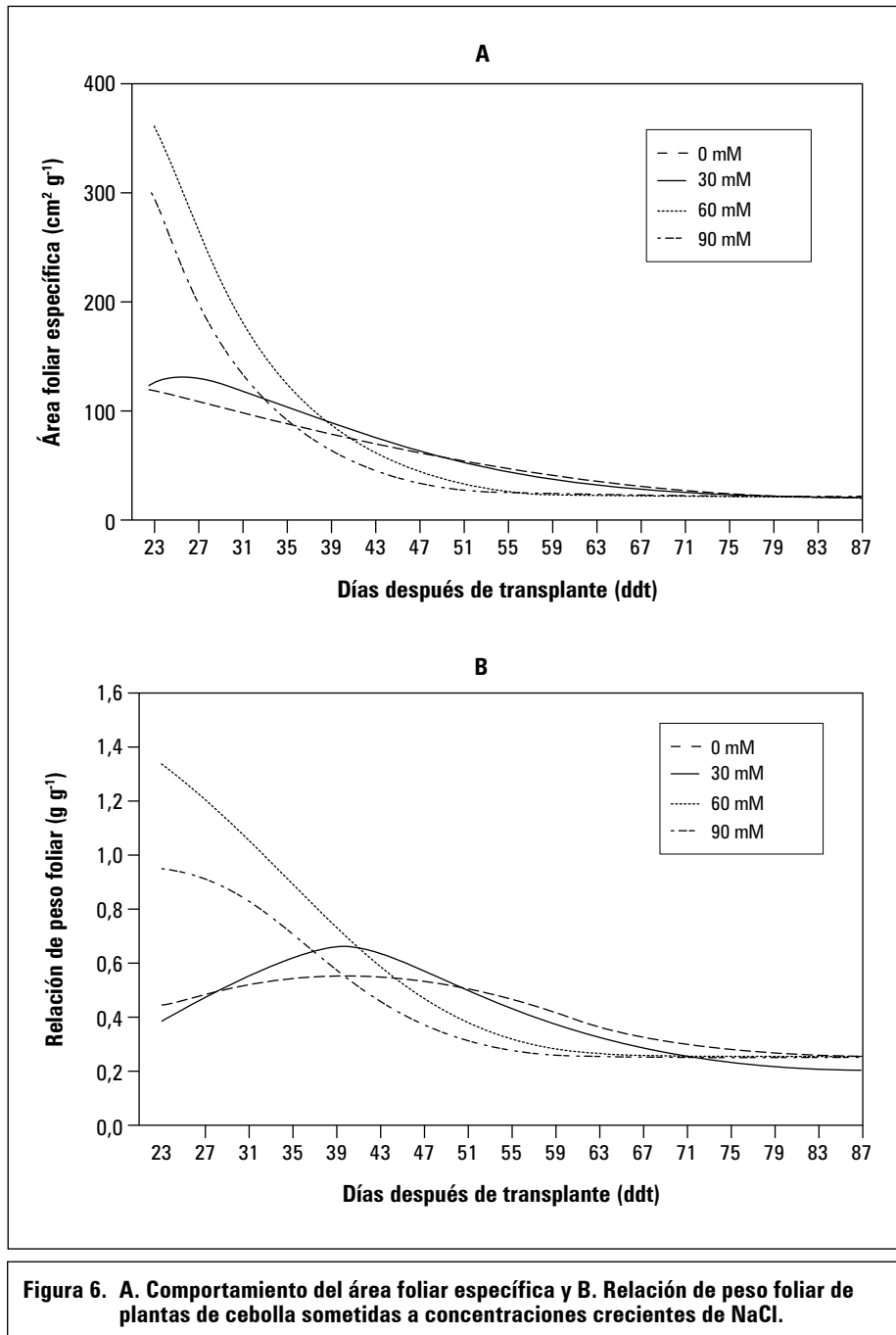
(figura 6B) fortalece la postulación realizada con la TCR, en la cual la salinidad ejerce un efecto de acumulación de MS, principalmente foliar, en las primeras etapas de desarrollo, generando una maduración más anticipada de las plantas, teniendo efectos directos en la calidad del bulbo.

Diámetro y peso fresco del bulbo

El rendimiento y calidad del bulbo fueron significativamente reducidos con el incremento de niveles crecientes de salinidad en el agua de riego. Así, aunque se presentaron diferencias en la variable diámetro de bulbo a los 36 ddt (figura 7A), solamente hasta los 64 ddt pudo observarse el efecto de la salinidad, reduciendo el tamaño del bulbo cuando se comparaban el tratamiento control y 90 mM de NaCl. A los 87 ddt, el diámetro del bulbo se disminuyó, comparado con el control, en un 12%, 25% y 43% con niveles de 30, 60 y 90 mM de NaCl, respectivamente.

Por otra parte, al igual que el diámetro del bulbo, se observó una reducción del peso fresco del bulbo por efectos de la salinidad (figura 7B). Los porcentajes de reducción respecto al control, fueron de 30%, 52% y 78% cuando los niveles de salinidad aumentaban de 30, 60 y 90 mM de NaCl. De esta manera, fue evidente que la reducción presentada de área foliar y precocidad en el desarrollo, generó menor capacidad fotosintética teniendo efectos directos en el órgano de interés (bulbo) (Al-Harbi *et al.*, 2002).

Varias investigaciones reportan reducciones en los componentes de rendimiento como el peso y diámetro del bulbo con el incremento de la salinidad (Wannamaker y Pike, 1987; Al-Islali *et al.*, 1994), las cuales pueden estar atribuidas a las reducciones generadas en el crecimiento vegetativo y área fotosintética (Al-Harbi *et al.*, 2002). Lima y Bull (2007) indican que una conductividad eléctrica del suelo igual a 4 dS m⁻¹ es el límite para la producción de cebolla en buenas condiciones de humedad del suelo.



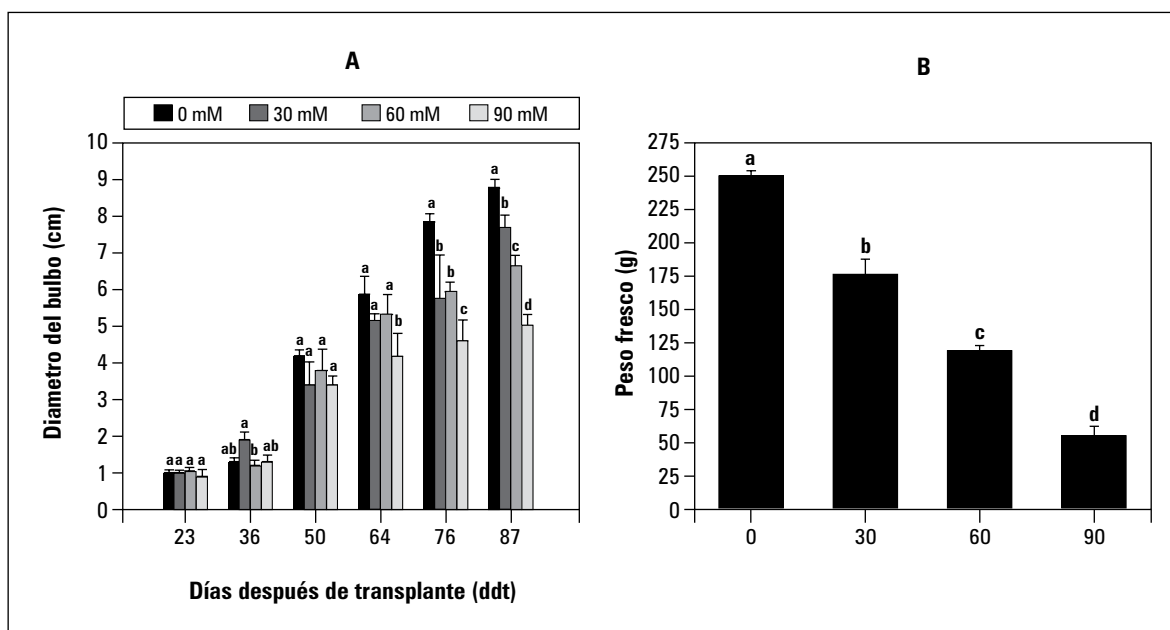


Figura 7. A. Comportamiento del diámetro y B. Peso fresco del bulbo en plantas de cebolla sometidas a concentraciones crecientes de NaCl. Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos según la prueba Duncan ($P \leq 0,05$). Las barras indican la desviación estándar de las observaciones.

Sólidos solubles totales y pungencia

La adición de NaCl en el agua de riego generó mayor cantidad de SST en las cebollas regadas con niveles crecientes de NaCl respecto a las plantas control (figura 8). Aunque no se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos, se evidenció un aumento de cerca de 0,2; 0,8 y 1,2 °Brix respecto al tratamiento control por parte de los niveles en el agua de riego de 30, 60 y 90 mM de NaCl, respectivamente. Estos resultados concuerdan con los de Chang y Randle (2005) quienes afirman que el incremento de SST es mayor si la salinidad se presenta en el estado de crecimiento activo del bulbo.

De manera contraria a los SST, la intensidad del sabor o nivel de pungencia, medida como APT, presentó una tendencia de reducción proporcional por la adición de niveles de NaCl (figura 8). Asimismo, únicamente se evidenció diferencias del nivel de 90 mM de NaCl res-

pecto a los otros tratamientos. Esto demuestra que niveles muy altos, mayores de 90 mM, generan cambios significativos en la composición de ácido pirúvico o pungencia del bulbo. Chang y Randle (2005) determinaron que en el inicio de la bulbificación es la etapa de mayor susceptibilidad para la reducción de APT. Se dieron cambios bioquímicos durante el inicio de la bulbificación tal como la preparación de la planta para translocar fotosintetizados a los abultamientos basales de las hojas (Chang y Randle, 2005).

Finalmente, cabe decir que la pungencia de la cebolla y la cantidad de SST han sido dos parámetros bioquímicos acogidos en la evaluación del material para el procesamiento industrial. Igualmente, también se les ha visto su potencialidad para ser tenidos en cuenta como aspectos relevantes en la sectorización de mercados para su comercialización en fresco, por ejemplo, cebollas dulces (Arbolea, 2005).

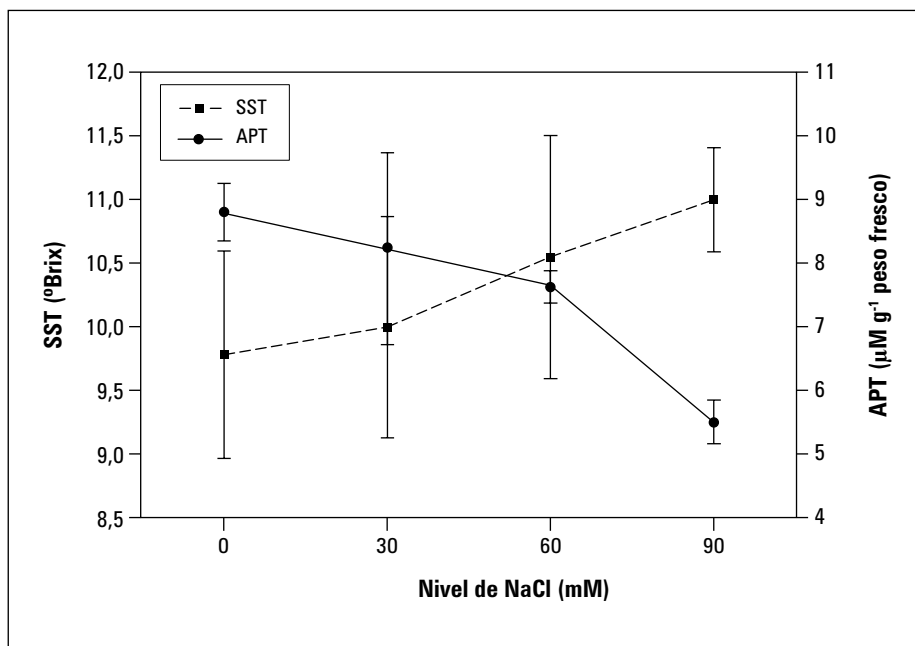


Figura 8. A. Comportamiento de los sólidos solubles totales (SST) y B. Ácido pirúvico total (APT) en bulbos de plantas de cebolla sometidas a concentraciones a niveles crecientes de NaCl en el agua de riego. Las barras indican la desviación estándar de las observaciones.

CONCLUSIONES

- La salinidad en el agua de riego, niveles superiores de 30 mM NaCl afecta considerablemente las variables de crecimiento, rendimiento y calidad en plantas de cebolla de bulbo.
- Las plantas de cebolla cabezona sometidas a estrés salino se caracterizan por un desarrollo precoz, expresado en acumulación rápida de materia seca en los primeros estados de crecimiento, teniendo implicaciones fisiológicas y, por tanto, comerciales en el desarrollo del bulbo.
- Las variables de rendimiento y calidad presentaron reducciones en el bulbo cercanas al 12%, 25% y 43% para el diámetro y 30%, 52% y 78%

para el peso en los niveles crecientes de 30, 60 y 90 mM de NaCl, respectivamente. Asimismo, el aumento en los niveles de NaCl se relacionó directamente con aumento en los valores de sólidos solubles totales y disminución en el contenido de ácido pirúvico, lo que se tradujo en un sabor más dulce y menos pungente por parte de los bulbos.

- Con la firma de los nuevos tratados de libre comercio, Colombia debe fortalecer los estudios en parámetros de calidad de cebolla, en especial ácido pirúvico y cantidad de azúcares, ya que son aspectos tenidos en cuenta en mercados alternos a la cebolla convencional, como es el caso de la cebolla dulce, cuya demanda está en aumento y es un producto con perspectivas de exportación.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Departamento de Estadística de la Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, por su asesoría en el análisis y procesamiento de datos del presente estudio. Igualmente, agradecen al profesor Gordon Anthon, de la Universidad de California (Davis), por su aporte en especificaciones de la metodología de evaluación de ácido pirúvico la cual fue adaptada por Augusto Cárdenas y Yaneth Rodríguez, egresados de la Universidad Nacional de Colombia.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abellan, C., A. López-Quílez y C. Martos. 2004. Análisis edad-cohorte-periodo de incidencia y mortalidad por linfoma de Hodgkin en la provincia de Zaragoza. En: Universitat de València, http://www.uv.es/gudo/GUDO2/resumen_JJAbellan3.pdf. 4 p.; consulta: mayo de 2011.
- Agronet. 2010. Sistema de Estadísticas Agropecuarias – SEA. En: <http://www.agronet.gov.co/agronetweb1/Estad%C3%ADsticas.aspx>; consulta: mayo de 2011.
- Al-Harbi, A.R., H.H. Hegazi, A.A. Alsadon y F. El-Adgham. 2002. Growth and yield of onion (*Allium cepa* L.) cultivars under different levels of irrigation water salinity. *J. King Saud Univ.* 14(1), 23-32.
- Al-Islali, N.Y. y A.M. Al-Bahrany. 1994. Growth and organic solutes accumulation in two onion cultivars (*Allium cepa* L.) stressed with sodium chloride. *J. Agr. Res.* 39(3), 597-610.
- Arbolea, J. 2005. Tecnología para la producción de cebolla. Boletín de Divulgación No. 88. Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA), Uruguay.
- Boyer, J. 1985. Water transport. *Annu. Rev. Plant Physiol.* 36, 473-516.
- Brewster, J. 2002. Onions and other vegetable alliums. CAB International, Wallingford, UK.
- Carranza, C., O. Lancho, D. Miranda y B. Chaves. 2009. Análisis del crecimiento de lechuga (*Lactuca sativa* L.) 'Batavia' cultivada en un suelo salino de la sabana de Bogotá. *Agron. Colomb.* 27(1), 41-48.
- Chang, P.-T. y W.M. Randle, 2005. Sodium chloride timing and length of exposure affect onion growth and flavor. *J. Plant Nutr.* 28(10), 1755-1766.
- Dias, N.S., H.R. Gheyi y S.N. Duarte. 2003. Prevenção, manejo e recuperação dos solos afetados por sais. ESALQ/USP, Piracicaba, Brasil.
- Flórez, V., D. Miranda, B. Chaves, L. Chaparro, C. Cárdenas y A. Farías. 2006. Parámetros considerados en el análisis de crecimiento en rosa y clavel en los sistemas de cultivo en suelo y en sustrato. En: Flórez, V., A. de la C. Fernández, D. Miranda, B. Chaves y J.M. Guzmán (eds.). 2006. Avances sobre fertirriego en la floricultura colombiana [CD-ROM]. Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Gordon, E.A. y D.M Barrett. 2003. Modified method for the determination of pyruvic acid with dinitrophenylhydrazine in the assessment of onion pungency. *J. Sci. Food Agr.* 83(12), 1210-1213.
- Gupta, I.C. y J.S.P. Yadav. 1986. Crop tolerance to saline irrigation water. *J. Indian Soc. Soil Sci.* 34(1), 79-86.
- Guzmán, E. 2005. Métodos frecuentista y bayesiano para estimar la respuesta a la selección por tamaño de camada en conejos. Tesis de maestría. Programa de Reproducción y Genética Animal, Facultad de Zootecnia, Universidad Autónoma de Chihuahua, Chihuahua, México.
- Kadayifci, A. y G.I. Tuylu. 2004. The effects of irrigation water salinity on onion's bulb yield, evapotranspiration and soil's profile. *J. Agr. Sci.* 10, 45-49.
- Kéry, M. 2010. Introduction to WinBUGS for ecologists: A Bayesian approach to regression, ANOVA, mixed models and related analyses. Academic Press, New York, NY.
- Kozłowski, T.T. 1997. Responses of woody plants to flooding and salinity. *Tree Physiol. Monogr.* 1(1), 12-17.

- Lesmes, R., A. Molano, D. Miranda y B. Chaves. 2007. Evaluación de concentraciones de sal (NaCl) en el agua de riego sobre el crecimiento de lechuga 'Batavia' (*Lactuca sativa* L.). Rev. Colomb. Cienc. Hortíc. 1(2), 223-235.
- Lima, M.D.B. y L.T. Bull. 2007. Produção de cebola em solo salinizado. Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambient. 12(3), 231-235.
- Mangal, J.L. y S. Lal. 1988. Salt tolerance behaviour of Kharif onion variety No.53. Haryana J. Hort. Sci. 17(1-2), 78-82.
- Mansour, M.M.F. 1998. Protection of plasma membrane of onion epidermal cells by glycinebetaine and proline against NaCl stress. Plant Physiol. Biochem. 36(10), 767-772.
- Millar, A.A. 1984. Manejo racional da irrigação: uso de informações básicas sobre diferentes culturas. Instituto Interamericano de Cooperación para a Agricultura (IICA), Brasilia.
- Munns, R. y M. Tester. 2008 Mechanism of salinity tolerance. Annu. Rev. Plant Biol. 59, 651-81.
- Parida, A. y A. Das. 2005. Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. Ecotoxicol. Environ. Safety 60(3), 324-349.
- Pérez-Amaro, J., E. García, J. Enríquez, A. Quero, J. Pérez y A. Garay. 2004. Análisis de crecimiento, área específica foliar y concentración de nitrógeno en hojas de pasto "mulato" (*Brachiaria* híbrido, cv.). Téc. Pecu. Méx. 42(3), 447-458
- Pozzo, M.C., M. Abrameto, G. Pellejero, G. Aschkar, M.I. Gil y A. Van Konijnenburg. 2005. Efecto del período de conservación sobre algunas propiedades nutraceuticas y organolépticas en los bulbos de cultivares nacionales de cebollas (*Allium cepa* L.) en el valle inferior de Río Negro. Rev. Invest. Agropec. 34, 115-130.
- Press, S.J. 1989. Bayesian Statistic: principles, models and applications. Jhon Wiley and Sons, New York, NY.
- Puentes, J.M. y J.F. Torres. 2006. Reducción del efecto negativo de la salinidad por NaCl mediante el uso de leonardita en cebolla de bulbo (*Allium cepa* L. Híbridos Nirvana y Yellow granex). Trabajo de grado. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja, Colombia.
- Saavedra, D.P. 2010. Análisis de la dinámica de adopción de las prácticas convencionales de prevención y control fitosanitario del cultivo de cebolla cabezona (*Allium cepa* L.): estudio de caso con pequeños agricultores del municipio de Tibasosa en el departamento de Boyacá. Tesis de maestría. Programa de Desarrollo Rural, Facultad de Estudios Ambientales y Rurales, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá.
- Seber, G.A.F. y C.J. Wild. 1989. Nonlinear regression. Wiley, New York, NY.
- Spiegelhalter, D.J., N.G. Best, B.P. Carlin y A. van der Linde. 2002. Bayesian measures of model complexity and fit (with discussion). J. Royal Stat. Soc. Ser. B 64, 583-639.
- Tanwar, B.S. 2003. Saline water management for irrigation. International Commission on irrigation and drainage, New Delhi, India.
- Wannemaker, M.J. y L.M. Pike. 1987. Onion responses to various salinity levels. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 112(1), 49-52.