

Análisis del crecimiento de lechuga (*Lactuca sativa* L.) 'Batavia' cultivada en un suelo salino de la Sabana de Bogotá

Growth analysis of 'Batavia' lettuce (*Lactuca sativa* L.) cultivated in a saline soil of the Bogota Plateau

Carlos Carranza¹, Octavio Lancho¹, Diego Miranda^{1,2} y Bernardo Chaves¹

RESUMEN

La salinidad es una limitante en cultivos hortícolas a nivel mundial, que ocasiona alteraciones en el crecimiento, baja absorción y distribución de nutrientes a diferentes órganos de la planta y cambios en la calidad. El análisis de crecimiento en especies hortícolas como la lechuga establecido en un suelo salino no había sido estudiado con profundidad en la Sabana de Bogotá. El experimento se realizó en el Centro Agropecuario Marengo de la Universidad Nacional de Colombia, ubicado en el km 12 vía Bogotá-Mosquera. En tres parcelas de 300 m² cada una, con 8,3 plantas/m², regadas con aguas del distrito La Ramada, se realizaron muestreos cada 8 días, se midió el área foliar y el peso seco. Se estimaron los parámetros de crecimiento con el modelo logístico y con la ecuación ajustada mediante el software SAS. Empleando el enfoque funcional, se derivaron algunos índices de crecimiento: tasa relativa de crecimiento (TRC), índice de área foliar (IAF), tasa de asimilación neta (TAN), tasa de crecimiento del cultivo (TCC), área foliar específica (AFE) y la relación de área foliar (RAF). La TRC máxima en los primeros 10 días después del trasplante (ddt) fue de 0,1164 g g⁻¹ día⁻¹; IAF máximo a los 61 días: 6,78; la TAN a los 24 ddt alcanzó el máximo de 0,00046 g cm⁻² día⁻¹; la TCC presentó el máximo a los 35 ddt, con 0,0007 g cm⁻² día⁻¹; la AFE máxima fue de 497,55 cm² g⁻¹ al trasplante y la RAF alta al trasplante de 483,38 cm² g⁻¹. La salinidad presente en los suelos del Centro Agropecuario Marengo ocasionó una reducción en los parámetros de crecimiento en lechuga.

Palabras clave: parámetros de crecimiento, modelo logístico, tasas de crecimiento, salinidad.

ABSTRACT

Salinity is a worldwide restriction to horticultural crops, causing growth alterations, low absorption and distribution of nutrients to different organs of the plant, and quality changes. Detailed growth analyses of horticultural species such as lettuce had not been carried out yet for crops established in saline soils in the Bogota Plateau. The present experiment took place in Marengo Agricultural Center, which belongs to Universidad Nacional de Colombia, and is located 12 km from Bogota, on the way to Mosquera. Three plots of 300 m² each, allowing 8.3 plants/m², were treated with water from 'La Ramada' Irrigation District, and sampled every week for leaf area and dry weight measurements. Growth parameters were estimated with the logistic model and an equation fitted by means of a SAS software package. Using the functional approach, a series of growth indexes were derived: Relative Growth Rate (RGR), Leaf Area Index (LAI), Net Assimilation Rate (NAR), Crop Growth Rate (CGR), Specific Leaf Area (SLA), and Leaf Area Ratio (LAR). RGR was highest (0.1164 g g⁻¹ day⁻¹) 10 days after planting (dap). Likewise, maximum values were reached by LAI (6.78) 61 dap; NAR (0.00046 g cm⁻² day⁻¹) 24 dap; CGR (0.0007 g cm⁻² day⁻¹) 35 dap; SLA (497.55 cm² g⁻¹) at transplanting, and LAR (483.38 cm² g⁻¹) at transplanting as well. Soil salinity at Marengo farm was observed to cause reduction in lettuce growth parameters.

Key words: growth parameters, logistic model, growth rate, salinity.

Introducción

La lechuga (*Lactuca sativa* L.) pertenece a la familia Compositae. Es la hortaliza más cultivada en Cundinamarca con un área aproximada de 636 ha con una producción anual de 9.276 t (Asohofrucol, 2008). Contiene alto porcentaje de agua (90-95%), como también folatos, provitamina A o beta-caroteno y cantidades apreciables de vitamina C, estas dos últimas con acción antioxidante, relacionadas con la

prevención de enfermedades cardiovasculares e incluso de cáncer (CCI, 2006).

En Colombia, la agricultura ha experimentado una notable modernización en las zonas de mayor producción y uso intensivo del suelo; si bien esto ha representado un importante incremento de la producción agrícola, también se ha aumentado la tasa de contaminación salina de los suelos en algunas regiones del país, ocasionando en ellas un notable deterioro de los suelos, las aguas y, en general, del

Fecha de recepción: 16 de junio de 2008. Aceptado para publicación: 19 de febrero de 2009

¹ Departamento de Agronomía, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.

² Autor de correspondencia. dmirandal@unal.edu.co

medio ambiente y la productividad de muchos productos agrícolas. Estudios realizados en el 2001 por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, Ideam (Bogotá), suministran información sobre las perspectivas y la degradación de los suelos en cada departamento de Colombia. Indican que alrededor de 10% del suelo en el país está sujeto a niveles de salinidad de moderados a altos, y 23% a altos o muy altos niveles de erosión. Los datos son consistentes en la región norte de Colombia donde, por condiciones de salinidad de suelo, entre 45 a 85% de los suelos están afectados. En la Sabana de Bogotá, una importante fuente de contaminación de los suelos y cultivos ha sido el uso tradicional y continuo de las aguas del río Bogotá y sus afluentes con fines de riego, especialmente en las zonas hortícolas (González y Mejía, 1995).

La alta salinidad en el suelo causa considerables pérdidas en el rendimiento en una amplia variedad de cultivos alrededor del mundo. Este problema es más severo en las regiones semiáridas. La salinidad puede inhibir el crecimiento de la planta y reducir la productividad, principalmente por tres factores: el déficit hídrico, la toxicidad por iones y el desbalance nutricional (Munns, 2002).

El efecto general de la salinidad es reducir la tasa de crecimiento obteniendo hojas más pequeñas, menor altura, y a veces menos hojas. El efecto inicial y primario de la salinidad, especialmente de bajas a moderadas concentraciones, se debe a sus efectos osmóticos (Munns y Termaat, 1986; Jacoby, 1994).

Otra respuesta fisiológica de las plantas a la salinidad se da disminuyendo la conductancia estomática; de esta forma se reduce la transpiración evitando la sequía fisiológica para mantener la turgencia de las células. La reducción de la conductancia estomática implica el cierre de los estomas y se relaciona, entre otros factores (luz, humedad, CO₂, temperatura y corrientes de aire), con la disminución del potencial de agua foliar, incluso por encima de la luz intensa. El cierre de los estomas reduce el ingreso de CO₂ inhibiendo la fotosíntesis, dando como resultado la reducción en la síntesis de fotosintatos. En general, la consecuencia es la disminución en la producción de biomasa, como raíces, hojas, tallos y semillas, relacionados con el área foliar y

la longitud de plantas (Bernstein, 1961; Porta *et al.*, 1994; Salisbury y Ross, 2000).

La lechuga es una especie relativamente sensible a la salinidad, pero tal tolerancia a las sales con frecuencia varía dentro de la misma especie. Los valores umbral para las especies de lechuga están en el rango de 1,0 a 1,4 dS m⁻¹, y la pendiente para la disminución del rendimiento, desde 6,2 hasta 8% por dS m⁻¹ (Maas, 1986). Otros estudios a campo abierto en macetas conducidos por el Laboratorio de Riverside CA, determinaron que la lechuga es moderadamente sensible a la salinidad, con una conductividad umbral de 1,3 dS m⁻¹ y una pendiente del 13% (Ayers *et al.*, 1951).

El objetivo de este estudio fue analizar el crecimiento de lechuga, variedad Batavia, establecido en un suelo salino, debido a la magnitud del problema de la salinidad en la zona de influencia del río Bogotá.

Materiales y métodos

Ubicación y material vegetal

El ensayo se realizó en el Centro Agropecuario Marengo de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá, ubicado en el km 12 vía Bogotá-Mosquera, a 4° 42' N y 74° 12' W, 2.543 msnm, temperatura anual 12,6°C, precipitación 669,9 mm año⁻¹ y brillo solar 4,2 h diarias. Para cada especie se establecieron tres parcelas de 300 m², con la siembra de plántulas de lechuga 'Batavia' a una distancia de 40 cm x 30 cm para una densidad de 8,3 plantas/m². La fertilización se realizó a partir del análisis de suelo (Tab. 1), los nutrientes faltantes se suplementaron con fertilizantes químicos edáficos. El suelo presentó una conductividad eléctrica de 2,16 dS m⁻¹ y el agua de riego, 0,95 dS m⁻¹. El manejo agronómico de malezas, plagas y enfermedades se efectuó oportunamente, dependiendo de las poblaciones, niveles y síntomas; finalmente no hubo problemas relevantes que afectaran el ciclo de desarrollo de las plantas.

Muestreos material vegetal

Los muestreos se realizaron cada 8 d tomando de cada parcela tres plantas al azar, para un total de 7 muestreos. El área foliar se determinó mediante un acumulador de área

TABLA 1. Resultados del análisis de suelo¹.

pH	CO	N	Ca	K	Mg	Na	CIC	P	Cu	Fe	Mn	Zn	B	Ar	L	A	Textura
	%		meq / 100 g					mg kg ⁻¹					%				
5,59	4,08	0,35	10,5	0,46	3,51	4,94	27,8	48,1	1,04	426	1,49	21,8	0,94	17	47	36	Fr

¹ Laboratorio de Suelos y Aguas, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.

foliar Licor 3000 (Licor Inc. Lincoln, NE, USA); además, se registraron datos de peso seco mediante su secado en un horno a 60°C durante 72 h.

Los parámetros de crecimiento se determinaron empleando el enfoque funcional del modelo logístico:

La forma del modelo logístico es:

$$\frac{dy}{dt} = \frac{k}{\alpha} y(\alpha - y)$$

donde $k > 0$ y $0 < y < \alpha$. Se usa k/α como constante de proporcionalidad debido a que los parámetros se pueden interpretar separadamente. La curva de crecimiento es:

$$y = \frac{\alpha}{1 + e^{-k(t-y)}}$$

donde α , la asíntota superior, es el máximo tamaño, es decir, $y = \alpha$ cuando $t \rightarrow \infty$ y $y = 0$ cuando $x \rightarrow -\infty$ es la asíntota inferior; y es el tiempo en que se logra la máxima tasa de crecimiento ($W_m = k\alpha/4$) o punto de inflexión, en este punto, $y = \alpha/2$, y la función es una curva simétrica sigmoidal (Flórez *et al.*, 2006). Con base en estos coeficientes obtenidos por Statistic System Analysis (SAS), se construyeron las curvas de crecimiento para las plantas establecidas en invernadero y campo. A partir de la información analizada se determinó la eficiencia fisiológica.

Eficiencia fisiológica

Para realizar un análisis de la eficiencia fisiológica de una planta en función de sus parámetros de crecimiento se requieren dos operaciones básicas: 1) la cuantificación del material vegetal existente en una planta o cultivo, y 2) la medida del sistema asimilador de esa planta o ese cultivo en intervalos de tiempo sucesivos. De esas operaciones se obtienen medidas directas, como masa seca (W), área foliar total (AF), tiempo (t) e índices derivados como la tasa relativa de crecimiento (TRC), índice de área foliar (IAF), tasa de asimilación neta (TAN), tasa de crecimiento del cultivo (TCC), área foliar específica (AFE) y relación de área foliar (RAF), que se deben obtener por cálculos del análisis funcional (Miranda, 1995) (Tab. 2).

Tasa relativa de crecimiento (TRC). Es un índice de eficiencia que expresa el crecimiento en términos de una tasa de incremento en tamaño por unidad de tamaño y tiempo (Pedroza *et al.*, 1997); representa la eficiencia de la planta como productor de nuevo material y depende de la fotosíntesis total y de la respiración (Sivakumar y Shaw, 1978); además se propone como una medida que integra el comportamiento fisiológico de las plantas (Radford, 1967).

TABLA 2. Componentes de los parámetros de crecimiento determinados en lechuga.

Índice	Descripción	Fórmula	Unidades
TRC	Tasa relativa de crecimiento	$(1/W)(dW/dt)$	$g\ g^{-1}\ d^{-1}$
IAF	Índice de área foliar	L_A/P	Adimensional
TCC	Tasa de crecimiento del cultivo	$(1/P)(dW/dt)$	$g\ cm^{-2}\ d^{-1}$
AFE	Área foliar específica	L_A/W	$cm^2\ g^{-1}$
RAF	Relación de área foliar	L_A/W	$cm^2\ g^{-1}$
TAN	Tasa de asimilación neta	$(1/L_A)(dW/dt)$	$g\ cm^{-2}\ d^{-1}$

W = materia seca total (g); L_A = Área foliar; P = Área foliar por unidad de superficie de suelo (cm^2); L_W = materia seca foliar por planta (g); dW/dt = variación de la masa seca en función del tiempo.

Es una medida del balance entre la capacidad potencial de fotosíntesis y el costo respiratorio (Archila *et al.*, 1998). Expresa el incremento en masa seca de la planta en un intervalo de tiempo dado, tomando como referencia el valor inicial de la masa seca producida y acumulada.

Índice de área foliar (IAF): Expresa la superficie de la hoja por unidad de área de superficie ocupada por la planta. Aumenta con el crecimiento del cultivo hasta alcanzar un valor máximo en el cual se alcanza la máxima capacidad para interceptar la energía solar, momento en que la TCC es a su vez máxima (Hunt, 1982). La reducción del IAF por efecto de salinidad puede ser causado por una disminución en el área foliar específica (incremento de biomasa por unidad de área foliar) y/o una disminución en la proporción de masa seca acumulada en los tejidos foliares (Curtis y Läuchli, 1986).

Tasa de asimilación neta (TAN). Indica la eficiencia fotosintética promedio, individual o en una comunidad de plantas. La capacidad de la planta para incrementar su masa seca en función del área asimilatoria en periodos cortos a lo largo del ciclo de crecimiento depende del área foliar, de la disposición y edad de las hojas y de los procesos de regulación interna relacionados con la demanda de los asimilados (Hunt, 1982). La TAN es una medida de la eficiencia promedio de las hojas de la planta o del canopi de un cultivo (Brown, 1984), es decir, es una medida indirecta de la ganancia neta de asimilados por unidad de área foliar en una unidad de tiempo; esta no es constante y decrece con la edad de la planta o población.

Tasa de crecimiento del cultivo (TCC). Mide la ganancia de biomasa vegetal en el área de superficie ocupada por la planta. Es aplicable a plantas que crecen juntas en cultivos cerrados (Hunt, 1982). La máxima TCC ocurre cuando las plantas son suficientemente grandes o densas para explotar todos los factores ambientales en mayor grado. En

ambientes favorables, la máxima TCC ocurre cuando la cobertura de las hojas es completa, y puede representar el máximo potencial de producción de masa seca y de tasas de conversión en un momento dado (Brown, 1984).

Área foliar específica (AFE). Es una medida de la superficie foliar de la planta en términos de densidad o grosor relativo de la hoja. Se define como la relación entre el área total de la hoja y la masa del área foliar de la planta (Flórez *et al.*, 2006).

Relación de área foliar (RAF). Es un índice de la superficie foliar de la planta con base en la masa seca. Se define como la fracción de masa seca total que corresponde a las hojas y sus valores oscilan entre 0 y 1 (Flórez *et al.*, 2006).

Resultados y discusión

La conductividad eléctrica observada en el Centro Agropecuario Marengo fue de $2,6 \text{ dS m}^{-1}$, un valor por encima de la tolerancia establecida para la lechuga por Maas (1994) y Ayers *et al.* (1951). La lechuga está reportada como una especie moderadamente sensible a la salinidad, presenta un umbral de tolerancia a la salinidad de $1,3 \text{ dS m}^{-1}$ en pasta saturada del suelo, con un porcentaje de reducción de la producción de 13% por cada dS m^{-1} adicional (Maas, 1994). En estudios realizados en condiciones de campo en el Laboratorio de Salinidad de Estados Unidos, se determinó que la lechuga es una especie moderadamente sensible a la salinidad, a $1,3 \text{ dS m}^{-1}$ (Ayers *et al.*, 1951). En el Centro Agropecuario Marengo se presentó una CE de $2,16 \text{ dS m}^{-1}$, siendo un valor alto y por encima de la tolerancia establecida por estos dos autores. De Pascale y Barbieri (1995) determinaron que la lechuga puede llegar a bajar su rendimiento hasta en 50% en condiciones de CE de $11,4 \text{ dS m}^{-1}$ en suelo. Mizrahi y Pasternak (1985) encontraron que en cultivos hortícolas irrigados con aguas a diferentes concentraciones de sal, disminuyen las producciones de los cultivos, pero también aumenta la calidad de los productos a costa de una vida poscosecha más corta. Moderados niveles de salinidad pueden ser benéficos para los cultivos por aumentos en la calidad del fruto (Petersen *et al.*, 1998; Auerswald *et al.*, 1999) y también por la reducción del excesivo vigor vegetativo de los cultivos hortícolas usualmente observados durante los estados de crecimiento (Savvas y Lenz, 2000). Estudios realizados por Del Amor *et al.* (1998) para determinar el efecto de la salinidad y calidad del fruto en diferentes estados de crecimiento demostró disminuciones en el área foliar de las plantas tratadas, como la altura, el número total de nudos y la distancia entre nudos. El número de

frutos y el peso de los frutos por planta fueron significativamente más bajos en plantas tratadas comparadas con los controles. Sin embargo se observó un incremento de los sólidos solubles totales, acidez y contenidos de azúcares en los frutos de las plantas tratadas. Pero en el caso específico de la lechuga, disminuye la producción más no aumenta la calidad del producto significativamente.

No obstante, en resultados de estudios en campo en Israel, el rendimiento y la calidad de la lechuga iceberg no fueron afectados por la irrigación con aguas salinas hasta $4,4 \text{ dS m}^{-1}$ (Pasternak *et al.*, 1986). Además, se encontró que diferentes tipos de lechuga fueron más significativos a la tolerancia a sales que otros, y que en la lechuga la tolerancia a la salinidad se incrementa con la edad (Shannon y Grieve, 1999).

Peso seco y área foliar

El peso seco total, foliar y área foliar presentaron un incremento progresivo a través del tiempo hasta alcanzar un máximo de 27,44 g (Fig. 1A) y 21,44 g (Fig. 1B) para peso total y foliar, respectivamente, y una área foliar máxima de $8.162,45 \text{ cm}^2$ (Fig. 1C). La tasa de crecimiento de las hojas depende de la masiva e irreversible expansión de células jóvenes, las cuales son producidas por la división celular en los tejidos meristemáticos. De este modo, el suministro subóptimo de nutrientes podría afectar la tasa de crecimiento de las hojas por la inhibición de la tasa de producción y expansión de nuevas hojas (Neumann, 1997). La curva modelada tuvo un buen ajuste presentando un R^2 de 0,96 para las tres curvas de las cuales se van a derivar los parámetros de crecimiento en lechuga.

El crecimiento de las plantas es un resultado directo de la intensiva división y expansión de células meristemáticas. La respuesta primaria a la salinidad está asociada con la tasa de transporte de Na^+ a los meristemas de los brotes apicales y con otros procesos en la planta que pueden resultar afectados por el incremento en la concentración de sodio dentro del tejido de crecimiento, en especies particularmente sensibles a la salinidad (Lazof y Bernstein, 1999).

La salinidad puede afectar principalmente la elongación foliar, y de ahí el desarrollo del área foliar fotosintética en algunas especies (Curtis y Läuchli, 1986) y la capacidad fotosintética en otras (Cramer *et al.*, 1990). Además, la reducción del área foliar por efecto de la salinidad puede ser debida a tres factores: 1) reducción en la tasa de fotosíntesis, 2) reducción en la habilidad para utilizar fotosintatos para el crecimiento, 3) incremento en la utilización de fotosintatos en la respiración (Poorter, 1989; Cramer *et al.*, 1990).

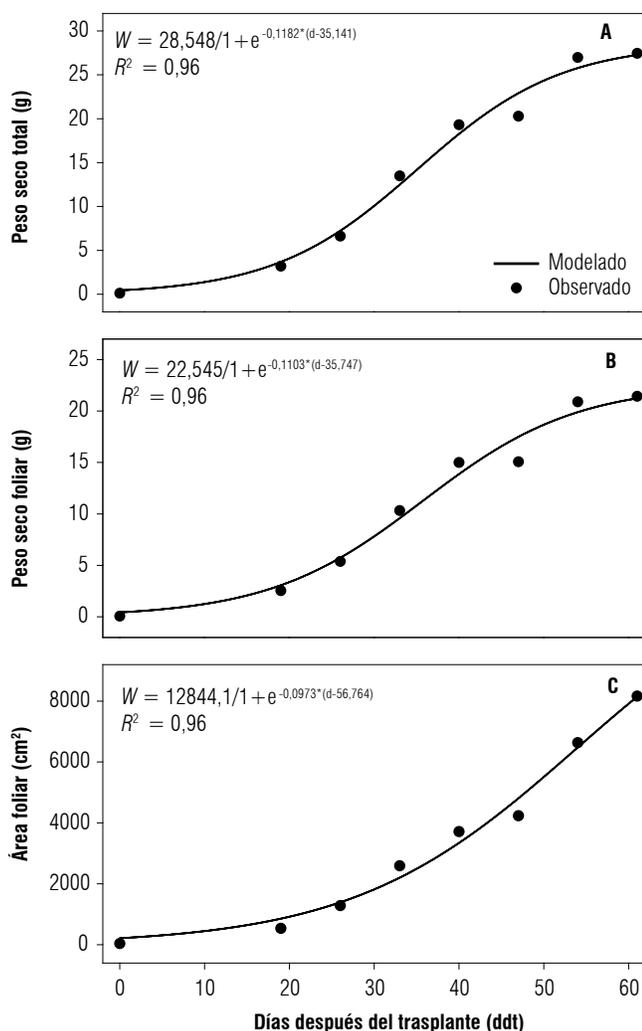


FIGURA 1. Comportamiento del peso seco total, peso seco foliar y área foliar con la modelación ajustada de los puntos observados en lechuga.

Tasa relativa de crecimiento

La TRC máxima se alcanzó en los primeros 10 d, con $0,1164 \text{ g g}^{-1} \text{ d}^{-1}$, luego se redujo entre los 20 y 40 ddt ($0,06 \text{ g g}^{-1} \text{ d}^{-1}$) y finalmente al momento de la cosecha 61 ddt presentó un incremento bajo de $0,0053 \text{ g g}^{-1} \text{ d}^{-1}$ (Fig. 2A). Estos resultados se encuentran por debajo a los determinados en estudios realizados en cuatro materiales (dos variedades de lechuga de cabeza: Great Lakes 118 y Climax) de lechuga por Archila *et al.* (1998), quienes encontraron una TRC alta de $0,14 \text{ g g}^{-1} \text{ d}^{-1}$ a los 21 ddt en todos los materiales, y luego decreció presentando los valores más bajos a los 77 ddt con valores de $0,018$ y $0,0057 \text{ g g}^{-1} \text{ d}^{-1}$, para los materiales Great Lakes 118 importada y nacional. Los materiales Climax importado y nacional presentaron, en su orden: TRC $0,38$ y $0,01 \text{ g g}^{-1} \text{ d}^{-1}$; generalmente esta reducción es causada por las altas concentraciones salinas en el apoplasto de los tejidos. De

igual manera, altas concentraciones de iones en el apoplasto pueden conllevar a la deshidratación de células y tejidos (Oertli, 1968). La alta acumulación de iones en el apoplasto es reportada para plantas sensibles a la salinidad, tal como arroz (Flowers *et al.*, 1991).

Índice de área foliar

El IAF máximo a los 61 d ($6,78$) (Fig. 2B), fue inferior con respecto a estudios realizados en lechuga por Tei *et al.* (1996) quienes encontraron un valor máximo de $12,7$ al momento de la cosecha. Archila *et al.* (1998) reportan valores máximos de IAF de $13,5$ a 70 ddt. El efecto del suelo salino sobre el IAF se acentuó por el estrés hídrico que afectó progresivamente la fotosíntesis de las plantas, empezando por la limitación estomática del suministro de CO_2 cuando el estrés fue suave, terminando en la completa inhibición de los procesos metabólicos relacionados con la fotosíntesis cuando el estrés fue muy severo (Medrano y Flexas, 2003).

Tasa de asimilación neta

Esta tasa fue creciente desde el trasplante hasta alcanzar un valor máximo ($0,00046 \text{ g cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$) a los 24 ddt (Fig. 2C) estando por debajo $1,5$ veces de los valores máximos obtenidos por Archila *et al.* (1998) a los 33 ddt con los materiales Climax nacional e importado y Great Lakes 118 importado, con valores de $0,00065$, $0,00056$ y $0,00086 \text{ g cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$, respectivamente. Esta respuesta se relaciona con el área foliar existente en los primeros d de cultivo, cuyas hojas están más expuestas a la radiación y son más eficientes en la asimilación de CO_2 . La disminución de la TAN ($0,000177 \text{ g cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$) hasta la cosecha, es cinco veces menor a lo reportado por Archila *et al.* (1998) que encontró valores más bajos ($0,00009$ y $0,000045 \text{ g cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$) a los 77 ddt para 'Great Lakes 118' nacional e importado, respectivamente. La TAN en el desarrollo del cultivo disminuye a través del ciclo de producción. A medida que se forma la cabeza, las hojas externas sobre las internas aumentan el sombreado influyendo en la interceptación de la radiación fotosintéticamente activa en los diferentes estratos del canopio afectando las tasas fotosintéticas.

Tasa de crecimiento del cultivo

La TCC se incrementó progresivamente hasta los 35 ddt ($0,0007 \text{ g cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$) (Fig. 2D) alcanzando la mayor acumulación de masa seca por unidad de área de suelo ocupada y por d, cifras muy bajas con respecto a las reportadas por Archila *et al.* (1998) donde los valores máximos de la TCC se alcanzaron a los 70 ddt, con $43,1$ y $26,71 \text{ g cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$. En las condiciones de este experimento, la TCC disminuyó a partir de los 35 ddt hasta la cosecha, con valores de

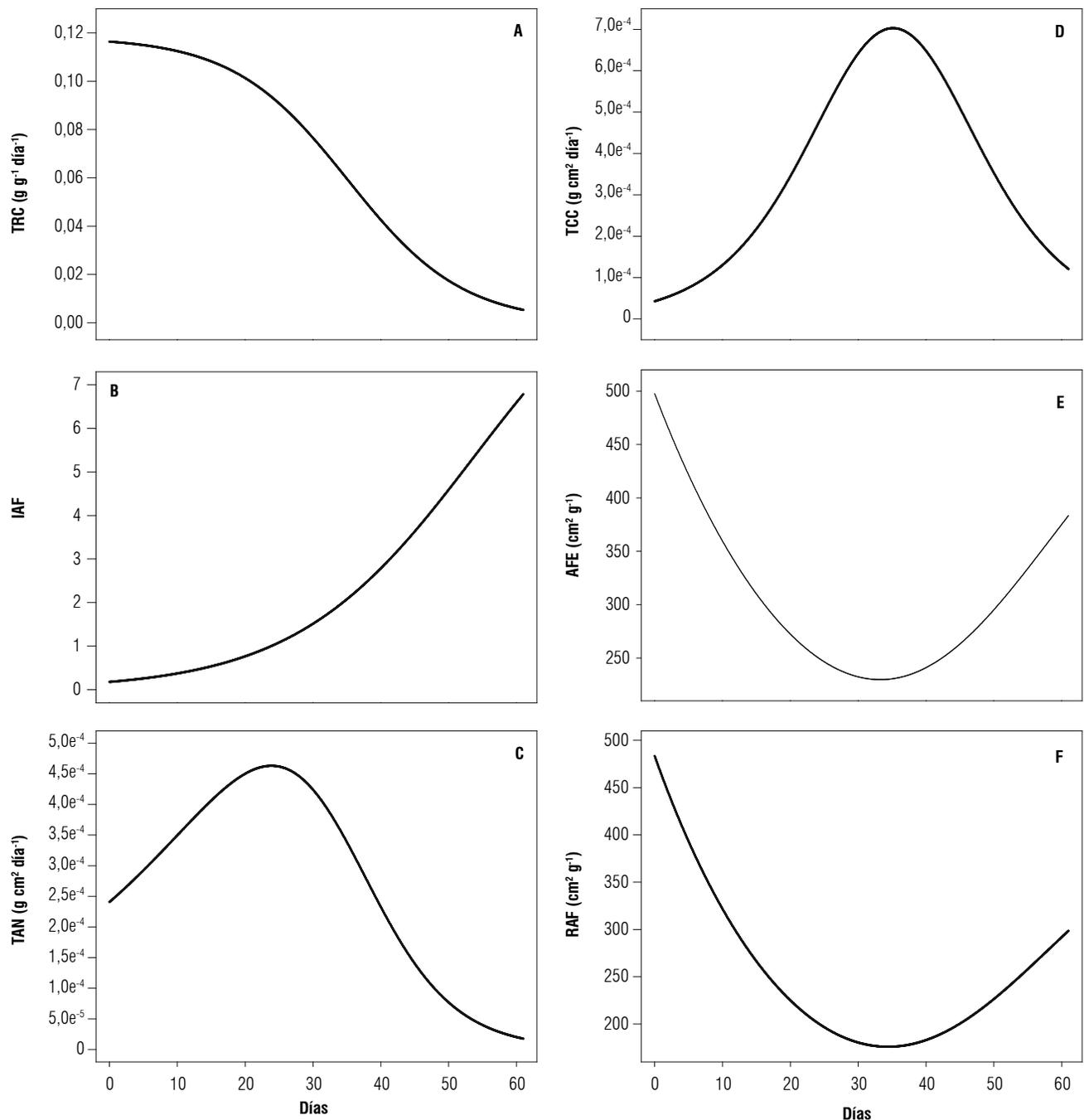


FIGURA 2. Parámetros de crecimiento en lechuga. A. Tasa relativa de crecimiento (TRC); B. Índice de área foliar (IAF); C. Tasa de asimilación neta (TAN); D. Tasa de crecimiento de cultivo (TCC); E. Área foliar específica (AFE); F. Relación de área foliar (RAF).

$0,00012 \text{ g cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$. Esta respuesta está asociada al efecto osmótico de la salinidad que contribuye a reducir la tasa de crecimiento, y que se asocia con cambios en el color de las hojas y modificaciones en parámetros como la relación raíz/brote y la tasa de maduración. Por otra parte presenta el efecto iónico que se manifiesta generalmente en daños en hojas y meristemas o como síntomas típicos de desórdenes nutricionales (Shannon y Grieve, 1999).

Área foliar específica

Se presentó una máxima AFE de $497,55 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$ al momento del trasplante, y una disminución progresiva hasta los 33 ddt ($229,79 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$) e incremento posterior hasta $383,43 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$ a los 61 ddt (Fig. 2E). La disminución en el área foliar hasta los 33 ddt se debió posiblemente a la menor expansión celular y transporte de fotoasimilados hacia los puntos de crecimiento. El aumento hasta el final de la cosecha se

relaciona con el incremento en el peso seco total de la planta para la formación de la cabeza, aunque con una menor área foliar expuesta. Estos resultados concuerdan con los obtenidos por De Pascale y Barbieri (1995) y Maas (1994), quienes aseguran que la calidad de los cultivos hortícolas está influida por la salinidad del suelo, determinando que a mayores niveles de salinidad se reduzca significativamente el área foliar y se incremente tanto el peso específico de la hoja y como el porcentaje de materia seca generando hojas más gruesas y suculentas. De igual manera Kalaji y Pietkiewicz (1993) mencionan que un cambio morfológico de las plantas expuestas a la salinidad están caracterizadas por la suculencia y el xeromorfismo. Fitter y Hay (1989) aseguran que la suculencia es importante en la regulación de la temperatura y el balance hídrico, especialmente en periodos calientes y secos del año. Dajic (2006) menciona que la suculencia está asociada con la habilidad para compartimentación intracelular proveyendo una mayor capacidad (volumen de vacuolas) para almacenamiento de sales.

Relación área foliar

Se presentó una alta RAF al momento del trasplante 0 ddt de $483,38 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$ y, disminuyó hasta $175,97 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$ a los 34 ddt y se incrementó hasta la cosecha 61 ddt obteniendo un valor final de $298,62 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$ (Fig. 2F). La máxima RAF obtenida es superior 1,3 veces a la obtenida por Archila *et al.* (1998) de $300 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$ a los 35 ddt en los materiales de la variedad Clímax nacional e importada y a los 77 ddt donde, en los cuatro materiales, la RAF disminuyó hasta $200 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$. Los valores altos iniciales de la RAF pueden ser debidos a que las plantas utilizan sus fotoasimilados en mayor cantidad para el desarrollo y crecimiento de las áreas fotosintéticamente activas, generando gastos energéticos, lo que conlleva a menor peso. Cuando la planta se encuentra en el estado de posroseta, continúa la formación de nuevas hojas, las cuales se ubican en el estrato foliar interno de la cabeza y, de esta manera, no reciben suficiente radiación solar, lo cual puede conducir a baja actividad fotosintética, y es posible que este conjunto de hojas actúen como demanda de los fotoasimilados que producen las hojas que conforman los estratos periféricos de la cabeza. También, durante este estado del desarrollo, algunas hojas cesan su expansión mientras que otras entran en senescencia, y así se tienen plantas que acumulan mayor materia seca y disminuyen su área fotosintéticamente activa, y esto lleva a menores valores de la RAF (Archila *et al.*, 1998).

Conclusiones

La lechuga 'Batavia' establecida en un suelo moderadamente salino presentó disminuciones en las tasas de crecimiento TRC, IAF, TAN, TCC y AFE.

Los parámetros de mayor afectación fueron aquellos relacionados con el área foliar y la acumulación de masa seca foliar, lo que demuestra la sensibilidad de esta especie a la salinidad.

Literatura citada

- Archila, J., U. Contreras, H. Pinzón, H. Laverde y G. Corchuelo. 1998. Análisis de crecimiento de cuatro materiales de lechuga (*Lactuca sativa*). Agron. Colomb. 16(1), 68-75.
- Asohofrucol. 2008. Lechuga. En: Asohofrucol, <http://frutasyhortalizas.com.co>; consulta: diciembre de 2007.
- Auerswald, H., D. Schwarz, C. Kornelson, A. Krumbein y B. Brukner. 1999. Sensory analysis, sugar and acid content of tomato at different EC values of the nutrient solution. Scientia Hort. 82, 227-242.
- Ayers, A.D., C.H. Wadleigh y L. Bernstein. 1951. Salt tolerance of six varieties of lettuce. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 57, 237-242.
- Bernstein, L. 1961. Osmotic adjustment of plants to saline media I. Steady state. Amer. J. Bot. 48, 909-918.
- Brown, R.H. 1984. Growth of the green plant. pp. 153-174. En: Physiological basis of crop growth and development. American Society of Agronomy, Madison.
- Cramer, G.R., E. Epstein y A. Läuchli. 1990. Effects of sodium, potassium, and calcium on salt-stressed barley. I. Growth analysis. Physiol. Plant. 80, 83-88.
- Corporación Colombia Internacional (CCI). 2006. Entorno Nacional. pp. 41-44. En: Plan hortícola nacional. Corporación Colombia Internacional, Bogotá.
- Curtis, P.S. y A. Läuchli. 1986. The role of leaf area development and photosynthetic capacity in determining growth of kenaf under moderate salt stress. Aust. J. Plant Physiol. 18, 553-565.
- Dajic, Z. 2006. Salt stress. pp. 41-99. En: Madhava, K.V., A.S. Raghavendra y K. Janardhan (eds.). Physiology and molecular biology of stress tolerance in plants. Springer, Dordrecht, The Netherlands.
- Del Amor, F.M., M. Carvajal, V. Martínez y A. Cerdá. 1998. Response of muskmelon plants (*Cucumis melo* L.) to irrigation with saline water. Acta Hort. 456, 263-268.
- De Pascale, S. y G. Barbieri. 1995. Effects of soil salinity from long-term irrigation with saline-sodic water on yield and quality of winter vegetable crops. Scientia Hort. 64, 145-157.
- Fitter, A.H. y R.K.M. Hay. 1989. Environmental physiology of plants. Academic Press, San Diego, CA.
- 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.). Avances sobre fertirriego en la floricultura colombiana. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Flowers, T.J., M.A. Hajibagheri y A.R. Yeo. 1991. Ion accumulation in the cell walls of rice plants growing under saline conditions: evidence for the Oertli hypothesis. Plant Cell Environ. 14, 319-325.

- González, S. y L. Mejía. 1995. Contaminación con cadmio y arsénico en suelos y hortalizas de un sector de la cuenca del río Bogotá. *Suelos Ecuatoriales* 25, 51-56.
- Hunt, R. 1982. Plant growth curves. The functional approach to plant growth analysis. Edward Arnold Publishers, London.
- Jacoby, B. 1994. Mechanisms involved in salt tolerance of plants. pp. 97-123. En: Pessaraki M. (ed.). *Handbook of plant and crop stress*. Marcel Dekker, New York, NY.
- Kalaji, M. y S. Pietkiewicz. 1993. Salinity effects on plant growth and other physiological processes. *Acta Physiol. Plant.* 15(2), 89-124.
- Lazof, D.B. y N. Bernstein. 1999. The NaCl induced inhibition of shoot growth: the case for disturbed nutrition with special consideration of calcium. *Adv. Bot. Res.* 29, 113-189.
- Maas, E.V. 1994. Testing crops for salinity tolerance. Salinity Laboratory U.S., USDA-ARS, Riverside, CA.
- Maas, E.V. 1986. Salt tolerant of plant. *App. Agr. Res.* 1(1), 12-16.
- Medrano, H. y J. Flexas. 2003. Respuesta de las plantas al estrés hídrico. pp. 253-286. En: Reigosa J.M., N. Pedrol y A. Sánchez (eds.). *Ecofisiología vegetal*. Paraninfo, Madrid.
- Miranda L., D. 1995. Análisis integrado del crecimiento y desarrollo en frijol común (*Phaseolus vulgaris* L. cv. ICA Cerinza) en condiciones de campo. Tesis de maestría. Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Mizrahi, Y. y D. Pasternak. 1985. Effect of salinity of various agricultural crops. *Plant Soil* 89, 301-307.
- Munns, R. 2002. Comparative physiology of salt and water stress. *Plant Cell Environ.* 28, 239-250.
- Munns, R. y A. Termaat. 1986. Whole-plant responses to salinity. *Aust. J. Plant Physiol.* 13, 143-160.
- Neumann, P. 1997. Salinity resistance and plant growth revisited. *Plant Cell Environ.* 20, 1193-1198.
- Oertli, J.J. 1968. Extracellular salt accumulation, a possible mechanism of salt injury in plants. *Agrochimica* 12, 461-469.
- Pasternak, D., Y. De Malach, I. Borovic, M. Shram y C. Aviram. 1986. Irrigation with brackish water under desert conditions. IV. Salt tolerance studies with lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Agric. Water Mgt.* 11, 303-311.
- Pedroza M., J.A., G. Corchuelo y A. Angarita. 1997. Análisis de crecimiento de *Limonium sinuatum* Mill cv. Midnight Blue propagada sexual y asexualmente a partir de yemas vegetativas y florales. *Agron. Colomb.* 14(1), 1-12.
- Petersen, K.K., J. Willumsen y K. Kaack. 1998. Composition and taste of tomatoes as affected by increased salinity and different salinity sources. *J. Hort. Sci. Biotechnol.* 73(2), 205-215.
- Poorter, H. 1989. Interspecific variation in relative growth rate: on ecological causes and physiological consequences. pp. 45-68. En: Lambers, H. (ed.). *Causes and consequences of variation in growth rate and productivity of higher plants*. Academic Publishing, The Hague, The Netherlands.
- Porta, J., M. López-Acevedo y C. Roquero. 1994. *Edafología para la agricultura y el medio ambiente*. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid.
- Radford, P.J. 1967. Growth analysis formulae. Their use and abuse. *Crop Sci.* 7, 171-175.
- Salisbury, F.B. y C.W. Ross. 2000. *Fisiología de las plantas. Desarrollo de las plantas y fisiología ambiental*. Editorial Paraninfo, Madrid.
- Savvas, D. y F. Lenz. 2000. Response of eggplants grown in recirculating nutrient solution to salinity imposed prior to the start of harvesting. *J. Hort. Sci. Biotechnol.* 75(3), 262-267.
- Shannon, M.C. y C.M. Grieve. 1999. Tolerance of vegetable crops to salinity. *Scientia Hort.* 78, 5-38.
- Sivakumar, M.V.R. y R.H. Shaw. 1978. Methods of growth analysis in field growth soybeans *G. max* (Merril). *Ann. Bot.* 42, 213-322.
- Tei, F., A. Scaife y D.P. Aikman. 1996. Growth of lettuce, onion and red beet. 1. Growth analysis, light interception and radiation use efficiency. *Ann. Bot.* 78, 633-643.
- Volkmar, K.M., Y. Hu y H. Steppuhn. 1998. Physiological responses of plants to salinity: a review. *Can. J. Plant Sci.* 78, 19-27.