

Evaluación de concentraciones de sal (NaCl) en el agua de riego sobre el crecimiento de lechuga 'Batavia' (*Lactuca sativa* L.)

Evaluation of salt (NaCl) concentrations in irrigation water on lettuce (*Lactuca sativa* L.) 'Batavia' growth

RICARDO LESMES¹
ÁNGELA MOLANO²
DIEGO MIRANDA³
BERNARDO CHAVES⁴

Planta de lechuga 'Batavia'.
Foto: D. Miranda



RESUMEN

Se evaluó el crecimiento de lechuga 'Batavia' a diferentes concentraciones de sal en el agua de riego en condiciones hidropónicas en la sabana de Bogotá comparando el uso de dos sustratos: turba rubia y mezcla de casca de arroz con turba rubia en proporción 1:1. Se evaluaron las variables: altura de planta, número de hojas por planta, peso seco, peso fresco y área foliar. Con base en estas variables se determinaron los parámetros de crecimiento: índice de área foliar (IAF), área foliar específica (AFE), tasa de asimilación neta (TAN), tasa absoluta de crecimiento (TAC), tasa relativa de crecimiento (TRC) y tasa de crecimiento del cultivo (TCC). Se observó una marcada diferencia en la altura de planta entre tratamientos, siendo mayor la altura de plantas sembradas en turba. El mayor número de hojas se presentó en plantas establecidas en turba sin adición de NaCl, con 35 hojas en promedio. El área foliar disminuyó en función de las concentraciones de sal. Se observó una reducción del peso seco foliar de las plantas establecidas en mezcla del 38%, con respecto a los tratamientos de turba. La salinidad afecta los estados de desarrollo vegetativo y reproductivo y además causa reducciones tanto en la biomasa como en el rendimiento del cultivo. Las mejores respuestas para todas las concentraciones de sales en los diferentes parámetros de crecimiento, peso seco y acumulación de biomasa se observaron en plantas sembradas en turba, debido a que la salinidad es más controlable en este sustrato.

¹ Ingeniero Agrónomo, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional, Bogotá (Colombia). ricardolesmez@yahoo.com

² Ingeniero Agrónomo, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá (Colombia). aymolanov@yahoo.com

³ Profesor Asociado, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá (Colombia). dmirandal@unal.edu.co

⁴ Profesor Asociado, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá (Colombia). bchavesc@unal.edu.co

Palabras clave adicionales: sustratos, salinidad, masa seca, parámetros de crecimiento.

ABSTRACT

Growth of lettuce 'Batavia' was evaluated at different salt concentrations in water irrigation under hydroponic conditions in the Bogotá plateau comparing the use of two substrates: blonde peat and a mixture between rice husk and blonde peat in 1:1 ratio. The evaluated variables: plant height, plant leaves number, dry weight, fresh weight and leaf area. These variables were used to state the growth parameters: Leaf area index (LAI), specific leaf area (SLA), net assimilation rate (NAR), growth absolute rate (GAR), growth relative rate (RGR) and crop growth rate (CGR). Difference was observed pronounced in the height of the plant between treatments, being higher the height of plants sowed in peat. The biggest leaf number appeared in the plants established in peat without addition of NaCl, with 35 leaves in average. There was a reduction in foliar area as salt concentrations were increased. It was observed that the reduction of the leaves dry weight of plants established in mixed substrates was 38%, with regard to the treatments established in peat. The salinity affects vegetative and reproductive stages of development and also causes reductions both in the biomass and in the yield of the culture. The best responses for all salt concentrations in the growth parameters, dry weight, and biomass accumulation were reported for plants sowed in blonde peat, due to a more controllable salinity in this substrate.

Additional key words: substrates, salinity, dry mass, growth parameters.

Fecha de recepción: 15-05-2007

Aprobado para publicación: 28-11-2007

INTRODUCCIÓN

A nivel mundial cerca del 33% del área cultivable está siendo afectada por salinidad (Marschner, 2002). Actualmente se contabilizan alrededor de 953 millones de hectáreas con este problema en diferentes regiones del mundo (Mashali, 1999, citado por González *et al.*, 2002).

Se consideran suelos salinos aquellos en los que existe una acumulación de sales tan elevada que interfiere con el correcto crecimiento de las plantas no especializadas (Reigosa, 2003). Un suelo es salino cuando presenta más de $4 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ ($\sim 40 \text{ mM NaCl}\cdot\text{L}^{-1}$) en el extracto de saturación según el US Salinity Laboratory, y un porcentaje de sodio intercambiable (ESP) de menos del 15% (Marschner, 2002).

Por otra parte, la progresiva disminución de los recursos hídricos está conduciendo al inevitable uso de aguas salinas con propósitos de irrigación con el riesgo de generar acumulaciones de sal en la zona radical de las plantas y el consecuente perjuicio a la producción del cultivo y la fertilidad del suelo a largo plazo (Tedeschi y Dell'Aquila, 2005). 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.

La exposición de las plantas a la alta salinidad, principal objeto de estudio en el presente trabajo, causa diversos cambios fisiológicos que ter-

minan afectando su crecimiento (Jia *et al.*, 2001 citado por Davies y González, 2003). Las sales en el suelo pueden llegar a concentraciones tales que disminuyan la absorción de agua provocando sequía osmótica y la acumulación de estas en las hojas disminuye la tasa fotosintética, induce la pérdida de pigmentos y provoca una senescencia acelerada (Azcón-Bieto y Talón, 2000).

Al principio de la acumulación de sales en la interfase suelo-raíz se desarrolla un estrés hídrico debido a que el potencial hídrico de la raíz es menor seguido por estrés osmótico, se da una disminución de la elasticidad de la pared celular; finalmente la deficiencia de iones puede afectar la toma o transporte interno de nutrientes, especialmente el Ca^{2+} , y comienzan a aparecer y a acentuarse los efectos tóxicos relacionados especialmente con la toma de Na^+ y Cl^- (Marschner, 2002; Neumman *et al.*, 1997, citados por Willadino y Camara, 2003). Por otra parte, hay reducción del crecimiento de la parte aérea debido a la disminución de la síntesis de fotoasimilados (Medrano y Flexas, 2003) y la pérdida de turgencia en los tejidos deshidratados (Reigosa y Nuria, 2003).

La lechuga (*Lactuca sativa* L.) está reportada como una especie moderadamente tolerante a la salinidad, presenta un umbral de tolerancia a la salinidad de $1,3 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ en el extracto de saturación del suelo, con un 13% de reducción de la producción por cada $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ adicional en el extracto saturado del suelo (Maas, 1994). La lechuga puede llegar a bajar su rendimiento hasta en un 50% en condiciones de suelo de $11,4 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ de CE (De Pascale y Barbieri, 1995).

Los efectos del NaCl se relacionan con una baja aireación del suelo y alteraciones en la absorción y en el metabolismo del Ca^{2+} al ser desplazado por el Na^+ desde sitios obligatorios en la superficie externa de la membrana plasmática de las células de la raíz. El Cl^- puede disminuir la toma de NO_3^- induciendo una deficiencia de nitrógeno (Marschner, 2002).

Debido a la existencia de salinidad como factor limitante de la producción agrícola, entre otros, se han implementado los sistemas de cultivo sin suelo (hidroponía), los cuales permiten mantener una nutrición hídrica y mineral ajustada a las necesidades de la planta en cada momento de su desarrollo Alarcón, 2000a; 2000b).

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron plántulas de lechuga 'Batavia' de tres semanas de germinación, desarrolladas en invernadero (temperatura promedio de humedad relativa promedio de 61%) en la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá, a 2.556 msnm y brillo solar de 4,5 h diarias.

Se sembraron plántulas de lechuga en materas de 2 L de capacidad, utilizando dos tipos de sustrato: turba rubia marca Klasman® y mezcla de turba rubia y cascarilla de arroz quemada al 80% en una proporción de 1:1, y utilizando suelo como testigo absoluto. Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con arreglo factorial 2 sustratos con 3 niveles de salinidad con 3 repeticiones por tratamiento (tabla 1).

Se establecieron seis tratamientos aplicando soluciones de agua con 0, 30 y 60 mM de NaCl. La

Tabla 1. Tratamientos evaluados en la determinación del efecto de salinidad por NaCl en plantas de lechuga.

Tratamientos	Sustrato	Concentración de NaCl (mM)
T1	Turba	0
T2	Turba	30
T3	Turba	60
T4	Mezcla	0
T5	Mezcla	30
T6	Mezcla	60
T7	Suelo (testigo absoluto)	0

aplicación de los tratamientos se inició en la tercera semana después del trasplante, la cantidad de agua aplicada se determinó a partir de la capacidad de retención de humedad de cada uno de los sustratos y el testigo, determinándose aplicaciones de 200 mL para turba, 250 mL para la mezcla y 250 mL para el suelo. Estas aplicaciones se realizaron manualmente dos veces a la semana.

Se realizaron 5 muestreos destructivos cada 15 días en los cuales se tomaron tres plantas de cada tratamiento. Se evaluaron las variables: altura de planta, número de hojas, peso fresco foliar, peso seco foliar y área foliar. A partir de estas se determinaron: tasa absoluta de crecimiento (TAC), tasa relativa de crecimiento (TRC), índice de área foliar (IAF), área foliar específica (AFE), tasa de asimilación neta (TAN), y tasa de crecimiento del cultivo (TCC).

El área foliar se midió mediante un acumulador LI-COR® 3000A (LI-COR, USA), se midió la longitud de la hoja más desarrollada para determinar la altura de la planta, el número de hojas por planta, peso fresco de hojas y de raíces, y el peso seco de hojas y de raíces mediante su secado a 60°C durante 72 h. Además, en cada muestreo se tomó 1 kg de los diferentes sustratos y del suelo para su análisis físico-químico. El análisis estadístico se realizó empleando el software SAS versión 8.0.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Altura de la planta

Se observó una marcada diferencia en la altura de la planta entre tratamientos, siendo mayor la altura de las plantas sembradas en turba. En la mezcla con cascarilla, con una menor retención de la humedad, se observó un menor crecimiento de las plantas debido a una mayor sequía osmótica causada por la salinidad. En general, los brotes de todas las plantas muestreadas crecieron proporcionalmente menos que las raíces, confirmando lo reportado por Marschner (2000) como

regla general, debido al déficit hídrico causado por la salinidad.

La elongación de los brotes de las plantas de los tratamientos mezcla de sustratos con 30 mM de NaCl y mezcla con 60 mM de NaCl se inhibió, confirmando que las concentraciones de NaCl ocasionaron una combinación del aumento de la relación $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$ en el apoplasta de las hojas con un bajo suministro de agua y en segunda instancia señales de estrés desde las raíces (Marschner, 2002).

Número de hojas

El mayor número de hojas se presentó en las plantas establecidas en turba sin adición de NaCl, con 35 hojas en promedio, seguido por las plantas establecidas en turba con 30 mM y turba con 60 mM de NaCl. Las plantas establecidas en la mezcla presentaron entre 25 y 30 hojas y por último las plantas cultivadas en el suelo alcanzaron 16 hojas en promedio (figura 1).

Teniendo en cuenta los resultados, se puede determinar que los procesos de división y expansión celular del tejido foliar fueron afectados por el efecto del NaCl y que esta respuesta no es independiente para los dos procesos, confirmando lo dicho por autores como Salisbury y Ross (1992) y Azcón-Bieto y Talón (2000), quienes afirman que bajo ciertas condiciones puede haber limitantes que conducen a disminuir la división celular, proceso indispensable para el crecimiento de órganos como es el caso de las hojas. Se ha encontrado que en condiciones de alta salinidad se alteran varios procesos fisiológicos permitiendo reducciones del crecimiento (Flowers *et al.*, 1977; Greenway y Munns, 1980). Este tipo de resultados donde el crecimiento vegetal se ve afectado por la salinidad fue observado también por Greenway y Munns (1983) quienes confirmaron que hay un perjuicio en el crecimiento de la planta, por efectos de la salinidad sobre el costo energético y la deficiente toma de iones que esta implica. Las hojas más afectadas por los síntomas de daño

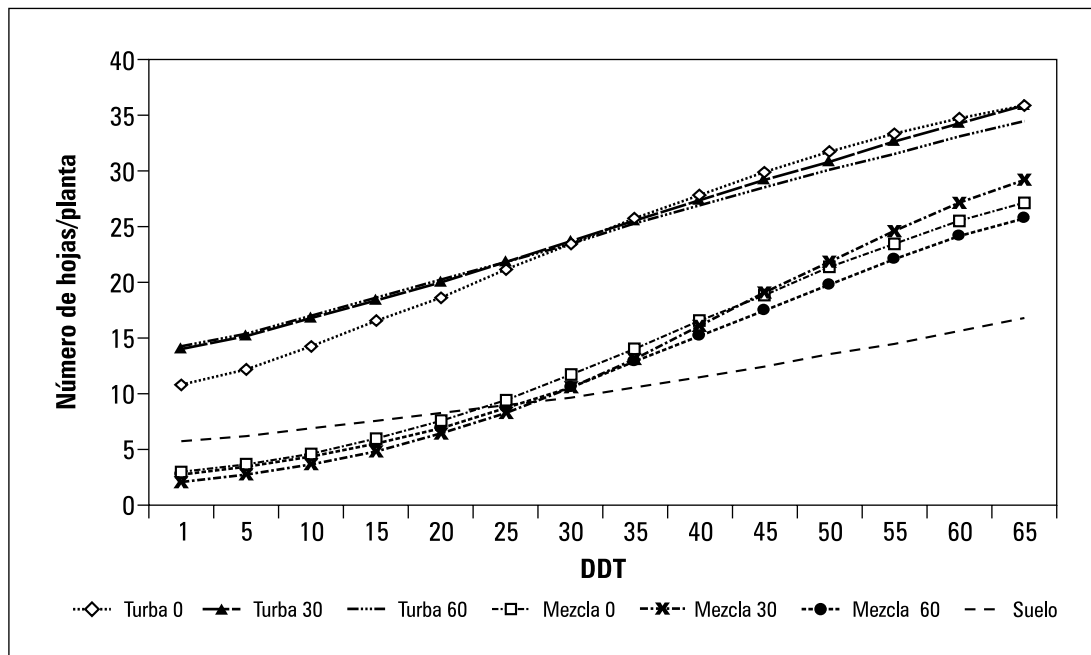


Figura 1. Número de hojas en plantas de lechuga sometidas a concentraciones de NaCl en los sustratos evaluados.

por exceso de NaCl y deficiencias nutricionales fueron las hojas adultas.

La reducción del contenido de K^+ en los tejidos debido al incremento de la salinidad en el medio es uno de los efectos más frecuentes debido a la falta de oxígeno en la rizósfera, la cual disminuye la selectividad de K^+/Na^+ favoreciendo la toma de Na^+ y retardando el transporte de K^+ a los brotes de la planta. Estas altas relaciones Na^+/K^+ y concentraciones de sales inactivan enzimas y disminuyen la síntesis de proteínas en las plantas (Azcón-Bieto y Talón, 2000; Munns, 1983; Greenway *et al.*, 1983).

Área foliar

Las plantas de los tratamientos en mezcla de sustratos con 30 mM de NaCl y mezcla con 60 mM de NaCl presentaron una menor área foliar respecto a las de los tratamientos aplicados a las plantas en sustrato turba. Resultados similares en lulo fueron reportados por Flórez y Miranda (2005). En el tratamiento turba sin adición de

NaCl las plantas presentaron un aumento más pronunciado en el área foliar a partir del día 25 después de siembra (DDS) partiendo de un valor de 2.115 cm^2 y alcanzando un valor máximo de 3.719 cm^2 hasta el día 65 (DDS); las plantas de los tratamientos con 30 y 60 mM de NaCl mostraron un comportamiento similar hasta el día 31 DDS aproximadamente, donde se observa una disminución; con lo que se confirma que el contenido de sales afecta el crecimiento del área foliar de la planta. Sin embargo, esta reducción no es significativa para estos tratamientos. Resultados similares fueron reportados por Cadahía (2005), quien asegura que la salinidad se hace más controlable en un sustrato como la turba (figura 2).

La turba se comporta como una esponja que retiene lixiviados, para este caso se trata de agua con concentraciones de NaCl variables, las cuales permanecen más tiempo en el sistema permitiendo una asimilación más lenta de dichas sales.

Para el caso de los tratamientos aplicados a las plantas en mezcla de sustratos, se observó que la

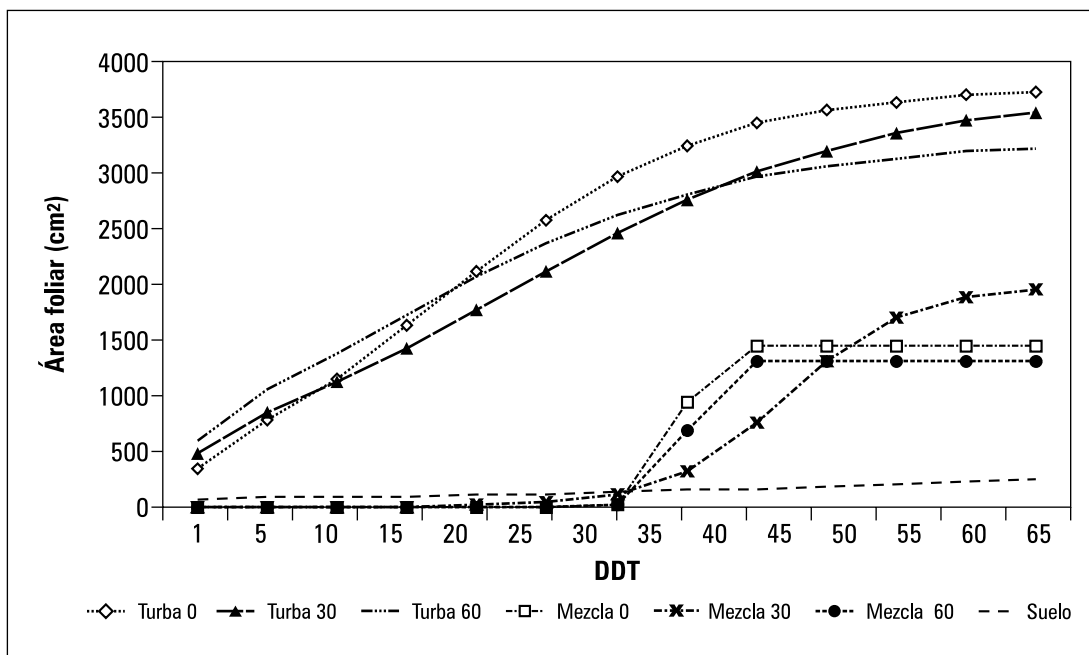


Figura 2. Comportamiento del área foliar de plantas de lechuga sometidas a concentraciones de NaCl en diferentes sustratos.

cascarilla facilitó un mayor drenaje del sustrato, ayudando a lixiviar los excesos de las soluciones aplicadas en bajas concentraciones, siendo menores los lixiviados en la concentración de 60 mM de NaCl. Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Yurtseven *et al.* (2005) en tomate cultivado en soluciones salinas, quienes observaron que cuando es muy alto el nivel de sal en el agua de riego, el requerimiento de agua es menor y como consecuencia también el total de agua drenada se disminuye. El área foliar de tomate decreció consistentemente y significativamente de 950 a 65 cm² por planta cuando la salinidad se incrementó de 3 a 21 dS·m⁻¹. La reducción en el área foliar de tomate, también fue observada por Sánchez-Blanco *et al.* (1991). Además Razi y Burrage (1991) explicaron que la reducción en el crecimiento del área foliar de tomate fue atribuida al estrés hídrico y la reducción de la transpiración lo cual limita el crecimiento y la transferencia de nutrientes al interior de las plantas.

Es evidente que en condiciones limitantes, la disminución en el área foliar se presenta con mayor

frecuencia; por otro lado, la reducción en el área foliar para la intercepción de la luz solar afecta la ganancia fotosintética de carbono, lo cual se refleja además en la reducción de la tasa de crecimiento de la planta, debido a que el área foliar se constituye en un factor importante del proceso (Taiz y Zeiger, 1998). Los resultados muestran que las dosis de NaCl empleadas y el área foliar son inversamente proporcionales. Marschner (2002), asegura que la reducción del área foliar conlleva una baja fijación de CO₂ y alta respiración conduciendo a una drástica reducción en la asimilación de CO₂ por unidad de área foliar por día. Esto se ve acentuado por el hecho de que las hojas adultas en plena expansión foliar donde es mayor la eficiencia fotosintética, son las que primero muestran la sintomatología de los efectos de la salinidad y las que primero alcanzan la senescencia.

Estudios similares realizados por Chartzoulakis y Klapaki (2000), en los cuales se determinó la tolerancia a condiciones salinas de dos híbridos de pimienta-campanilla (*Capsicum annum* L., 'Sonar' y 'Lamuyo') sembrados en mezcla de perlita

y arena (1:3 v/v) bajo condiciones de invernadero, demostraron para los dos híbridos que tanto la altura de planta como el área foliar fueron significativamente reducidos, a medida que se aumentó la concentración de sal a 25 mM de NaCl.

El testigo presentó los valores más bajos de área foliar y no se observó un incremento significativo a lo largo del ensayo. Esta situación pueda estar relacionada con la compactación del sustrato en la maceta lo que impidió el desarrollo radical y la capacidad de absorción de los nutrientes por la planta.

En los tratamientos en los cuales se aplicaron altas concentraciones de sales hubo una pobre expansión foliar, lo cual confirma lo dicho por Marschner (2002), que debido a la salinidad disminuye el turgor de las células foliares y hay una disminución en la extensibilidad de la pared celular, seguramente por el desbalance nutricional que se genera por la deficiencia de Ca^{2+} . Osorno y Salas (1983), citados por Argüello y González (1994) encontraron que el exceso de sales, tiene

un efecto adverso en la absorción de nutrientes, tanto de elementos mayores, como de menores, además de tener un efecto negativo sobre el rendimiento.

Peso seco foliar

La tendencia de las curvas de peso seco foliar fue similar para las plantas cultivadas en turba, presentando una curva normal de crecimiento tipo sigmoideal y a la vez fueron los que mejor se comportaron para esta variable, con valores finales de 13,8; 14,5 y 15,5 g respectivamente (figura 3).

Los valores de los pesos secos para los últimos muestreos de estos tratamientos se ralentizaron confirmando lo expuesto por Charles-Edwards *et al.* (1986) ya que en los últimos días del cultivo también hubo una disminución de materia seca como consecuencia de la senescencia y caída de las hojas adultas.

Las plantas establecidas sobre la mezcla con 0, 30 y 60 mM de NaCl mostraron diferencias con

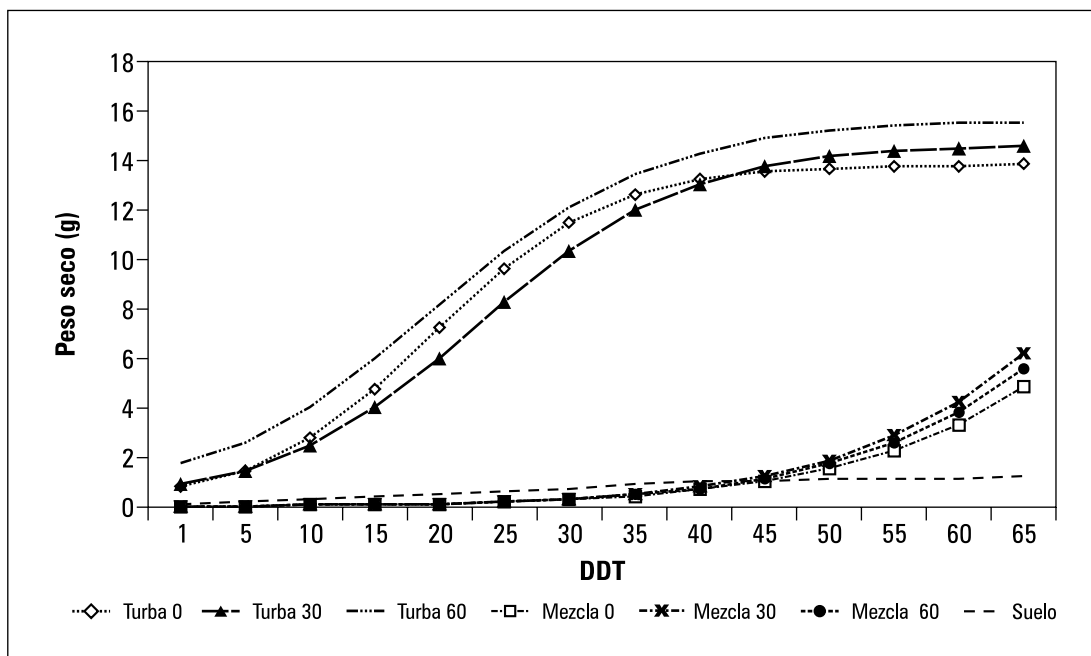


Figura 3. Comportamiento del peso seco foliar en plantas de lechuga sometidas a concentraciones de sales en diferentes sustratos.

respecto a los tratamientos con turba, pues tuvieron poco incremento en los primeros 50 días después de trasplante y un notable aumento de peso seco hacia el final del ciclo, con valores de 4,8 g, 6,25 g y 5,6 g, respectivamente. La medición de estos tratamientos indicó que la reducción del peso seco fue del 38%, con respecto a los tratamientos de turba. Resultados similares fueron obtenidos por Yurtseven *et al.* (2005) quienes mostraron que la disminución promedio en la producción de biomasa en tomate causado por un incremento de la salinidad desde 2,5 a 5,0 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ fue aproximadamente del 37% y cuando la salinidad se incrementó a 10,0 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ se ocasionó una reducción del 60%.

Por otra parte, el aumento significativo del peso foliar en los últimos muestreos confirmó lo expuesto por De Pascale y Barbieri (1995) donde la mezcla de sustratos (de menor calidad que la turba) permitió que la salinidad incrementara el peso específico de las hojas al inducir el incremento de su grosor.

Con respecto a las plantas establecidas en suelo la tendencia en acumulación de peso seco foliar también fue menor en razón al poco desarrollo radicular y a la poca absorción de nutrientes. Estudios realizados por Grattan (2002); Grattan y Grieve (1999), muestran que la salinidad ocasionada por sales de Na^+ no sólo reduce la disponibilidad del Ca^{2+} , sino que también reduce su transporte y movilidad hacia los puntos de crecimiento de la planta lo cual afecta la calidad del crecimiento tanto de órganos vegetativos como reproductivos.

Los cambios en el metabolismo de la planta por la acción del estrés salino, no son de la misma magnitud en las distintas especies e incluso entre las variedades de plantas. Cuando una variedad se cultiva en diferentes condiciones (nutrición mineral, temperatura, régimen de riego, etc.) en un suelo salinizado, se pueden dar cosechas diferenciales (a veces superiores) dependiendo de las condiciones donde se cultiva. Por esta causa, con un mismo grado de salinidad del suelo,

la productividad de las plantas cultivadas en él puede reducirse de forma diferente, es decir, pueden mostrar un grado de tolerancia a la salinidad diferente (Mizrahi y Pasternak, 1985; Gómez-Cadena, 2001; González, 1992, Gómez, 1996 citados, por González, 2002).

Tasa absoluta de crecimiento (TAC)

Para este parámetro de crecimiento, la mayor acumulación de biomasa se presentó en las plantas de los tratamientos con turba sin NaCl, con 30 y 60 mM de NaCl, a los 25-30 días después de trasplante como consecuencia de la mayor ganancia de masa seca en este período. De igual forma, se resalta la diferencia que existe entre los tratamientos en los que se empleó turba como sustrato y los de mezcla con aplicaciones de 0 mM, 30 mM y 60 mM de NaCl, pues para estos tratamientos la mayor acumulación de masa seca se inició a partir del día 35 después del trasplante (figura 4). Esto concuerda con las observaciones de Aslam *et al.* (1993), quienes aseguran que la salinidad afecta los estados de desarrollo vegetativo y reproductivo y además causa reducciones tanto en la biomasa como en el rendimiento del cultivo. McCall y Brazaityte (1997) reportaron que el peso seco de la planta de tomate fue aumentado por la salinidad como resultado del incremento del contenido de masa seca bajo tales condiciones. La reducción del crecimiento de la planta por la salinidad también fue mencionado por Alarcón *et al.* (1994).

Una de las causas de la reducción del crecimiento de las plantas en los suelos salinizados, es la absorción y acumulación de un exceso de iones hidrofílicos en las células vegetales, entre los que se destacan el Na^+ y Cl^- ; esto provoca un cambio apreciable en la homeostasis iónico-osmótica y en el régimen acuoso del citoplasma, lo que a su vez induce una serie de desarreglos en el metabolismo de la planta, que inevitablemente debilita la intensidad de todas las reacciones de síntesis, y que se manifiestan en la reducción del crecimiento, la formación de biomasa y el rendimiento. Resultados similares fueron reportados por

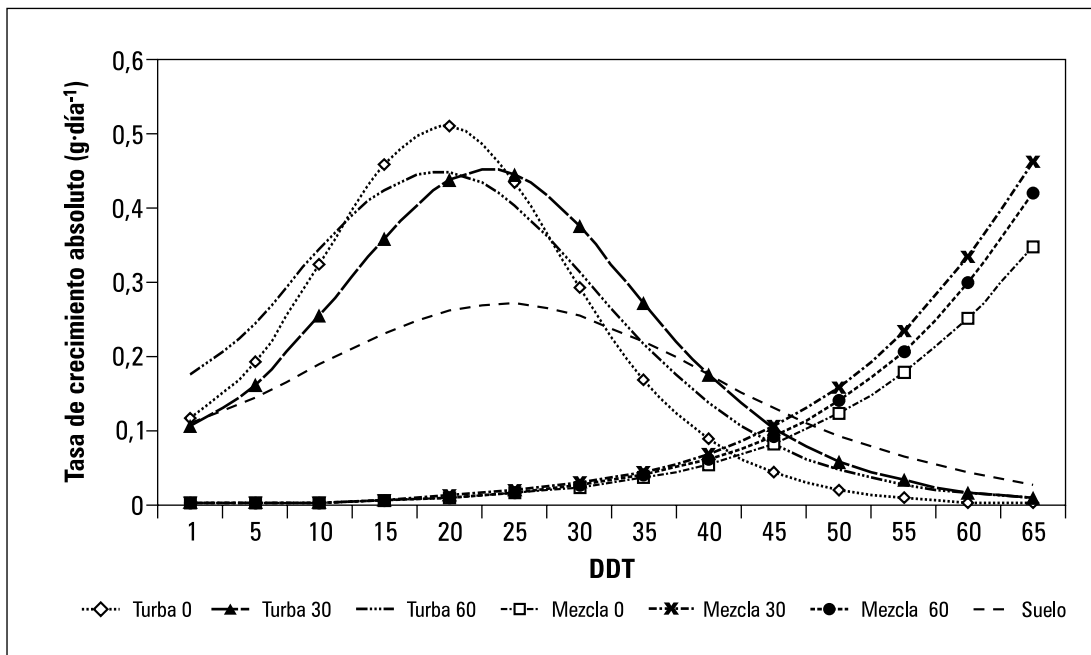


Figura 4. Comportamiento de la tasa absoluta de crecimiento de plantas de lechuga sometidas a concentraciones de sales en diferentes sustratos.

Kalaji y Pietkiewicz (1993). Bajo condiciones de salinidad en el suelo, la depresión del crecimiento también puede ser originada por la inhibición en la absorción, el transporte y la utilización de los nutrientes en la planta, resultando estos últimos afectados bajo condiciones de alta concentración salina en el suelo o en la absorción de nutrientes.

Índice de área foliar (IAF)

Como se observa en la figura 5, el comportamiento del IAF es muy similar al observado para el área foliar. Las plantas establecidas en turba presentaron los más altos índices de área foliar. Para el día 65 específicamente, los tratamientos en turba con 0, 30 y 60 mM tuvieron 11,8; 11,3 y 10,3 unidades de IAF respectivamente. En los tratamientos con mezcla de sustrato se observó una marcada disminución de los valores para 0; 30 y 60 mM de 4,6; 6,2 y 4,2 respectivamente. De acuerdo con estos valores, se interpreta que definitivamente el sustrato turba, juega un papel importante en el comportamiento del índice de área foliar de la planta entre tratamientos, reduciendo

este índice en las plantas hasta en 44,2%. Los valores de IAF para las plantas en suelo fueron los más bajos como consecuencia del bajo desarrollo foliar de las plantas.

Área foliar específica (AFE)

Para las plantas establecidas en turba el área foliar específica decreció durante los 20 primeros días del ciclo de evaluación, esto se debió a la reducción en la acumulación de masa seca total de la planta, a pesar del incremento en el área foliar. Permaneció baja hasta el día 65 después del transplante por la menor acumulación de masa seca. Quiere esto decir que este parámetro depende de la reducción de la masa seca total, más que del área foliar. Para las plantas establecidas en mezcla de sustratos AFE fue baja en los primeros 35 días del cultivo y aumentó hasta el día 65 después del transplante, este incremento depende de la ganancia de masa seca total de la planta y en menor proporción del área foliar. Las plantas en suelo tuvieron valores de AFE bajos como consecuencia de la menor área foliar y el

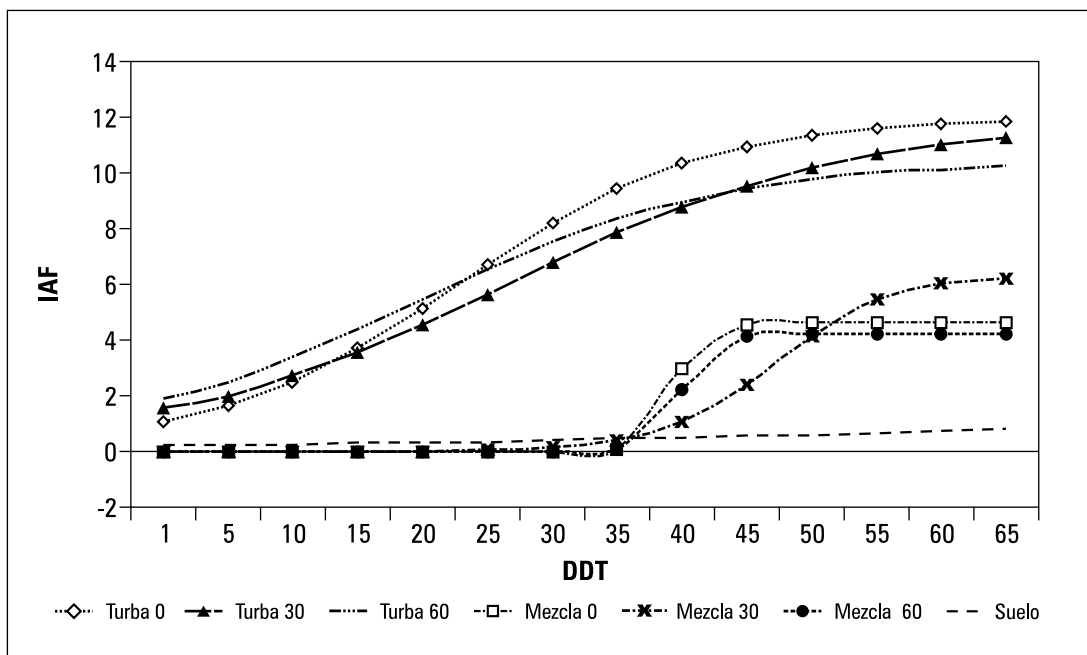


Figura 5. Comportamiento del índice de área foliar en plantas sometidas a concentraciones de NaCl en los sustratos evaluados.

menor peso seco total de las plantas. De acuerdo con este comportamiento se comprueba el hecho de que el incremento de la salinidad sí afecta el desarrollo foliar, la masa seca total de la planta como lo mencionan De Pascale y Barbieri (1995), produciendo hojas más gruesas y suculentas como observó Maas (1994) (figura 6).

La disminución del área foliar específica desde los primeros días, evidenció la exportación de asimilados hacia otras zonas de crecimiento, indicando que en los tratamientos con turba las plantas presentaron hojas con crecimiento normal y la acumulación de masa seca y distribución de asimilados fue la más adecuada para la planta durante todo el ciclo, llegando a demostrar que este tipo de sustrato orgánico sí logra atenuar atenua el efecto de la salinidad.

En las plantas de los tratamientos con mezcla de sustratos ocurre una menor ganancia de masa seca en los primeros 35 días después del transplante, seguido por un incremento de su masa

seca hasta el final del ciclo, pero sus hojas tuvieron menor área foliar aunque más suculentas.

Para cada uno de los tratamientos, el crecimiento se redujo a medida que la concentración de sales aumentó, esto pudo deberse a la caída de la actividad fotosintética debido al estrés, a la ralentización de la división celular, y en consecuencia a la detención de la formación de nuevas hojas. La inhibición típica del crecimiento foliar se debió en mayor medida a la disminución de la expansión celular, en concordancia con lo expuesto por Reigosa y Nuria (2003).

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 tejidos meristemáticos. De este modo, el suministro deficiente 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).

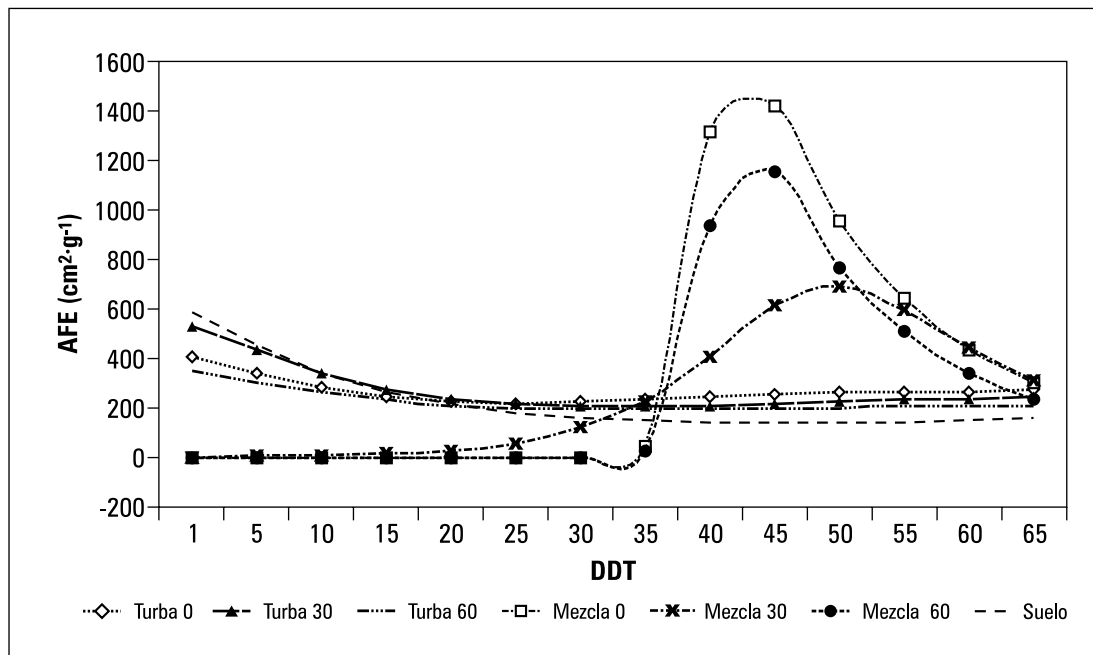


Figura 6. Comportamiento del área foliar específica de plantas de lechuga sometidas a concentraciones de sales en diferentes sustratos.

Tasa de asimilación neta (TAN)

Para las plantas de los tratamientos con turba y el testigo, la tasa de asimilación neta se mantuvo durante todo el ciclo, mostrando una asimilación constante de CO_2 , y por lo tanto en la fotosíntesis (figura 7). Esto corrobora el hecho de que en este sustrato orgánico las plantas mantienen un crecimiento normal de su área foliar, una acumulación de masa seca baja pero permanente y una distribución adecuada de asimilados durante todo el ciclo.

El comportamiento de las plantas de los tratamientos de mezcla alcanzó su mayor eficiencia en la asimilación de fotoasimilados, en los períodos iniciales de desarrollo especialmente para la concentración de 30 mM de NaCl, como consecuencia del aumento de su área foliar; a partir del día 35 las plantas se comportan como poco eficientes en la asimilación de foto asimilados, debido al redireccionamiento de los mismos.

Debido a la senescencia prematura de las hojas causada por la salinidad, se redujo el área foliar fotosintéticamente activa; sin embargo, estas pudieron continuar sustentando el crecimiento de las plantas (Munns, 2002).

Tasa de crecimiento del cultivo (TCC)

La tasa de crecimiento del cultivo máxima se encontró para las plantas del tratamiento con turba y sin adición de NaCl con un valor de $0,0162 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{día}$ en el día 19, en ese mismo día la tasa de crecimiento para el tratamiento con 30 mM de NaCl fue de $0,014 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{día}$ y para la turba con 60 mM $0,013 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{día}$. La tasa de crecimiento de cultivo debe incrementarse a medida que aumenta el área foliar, esto significa que las plantas en turba mantuvieron un IAF alto que les permitía tener una mayor intercepción lumínica, produciéndose así una mayor fotosíntesis y a su vez una mayor asimilación de fotosintatos y con crecimiento más regulado en el tiempo (figura 8).

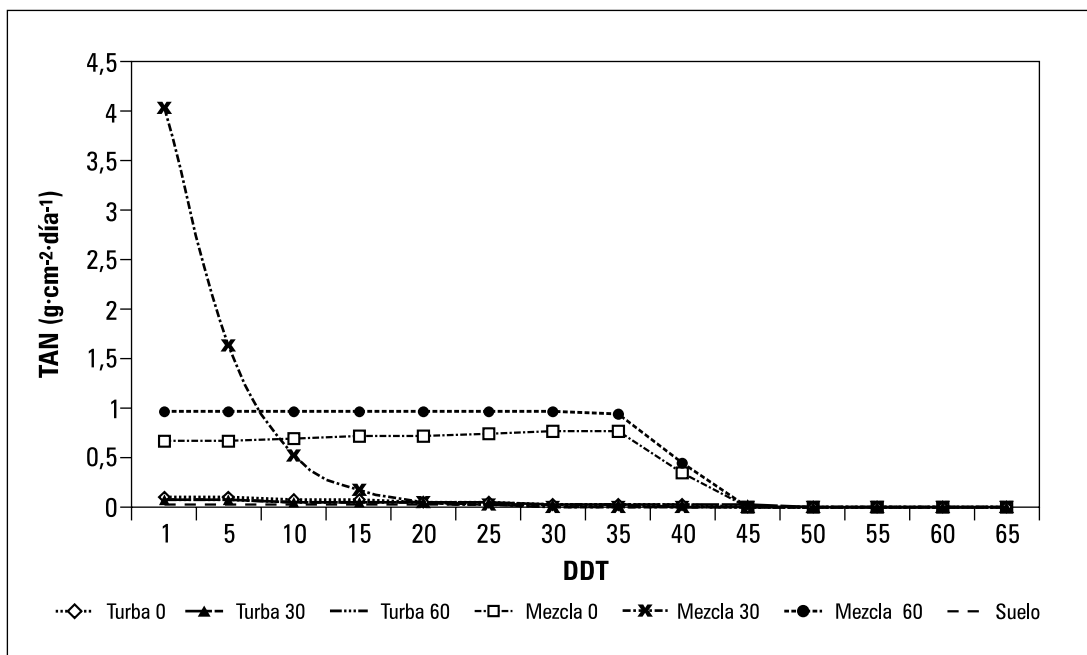


Figura 7. Comportamiento de la tasa de asimilación neta de plantas sometidas a concentraciones de NaCl en diferentes sustratos

El comportamiento descendente de la curva al final, puede ser debido a que las concentraciones de sal aceleraron el proceso de senescencia de las hojas, ya que las concentraciones de ABA se aumentan en la planta al aumentarse la salinidad y el estrés hídrico (Marschner, 2002).

Por el contrario, en las plantas de los tratamientos establecidos en la mezcla con 0, 30 y 60 mM, presentaron valores bajos de la TCC en los primeros 35 días después del trasplante, esto es debido a los valores bajos de IAF obtenidos en ese período. Se presentó un aumento en la tasa de crecimiento de cultivo a partir del día 35, especialmente en las plantas que recibieron la concentración de 30 mM de NaCl estas plantas presentaron valores de IAF crecientes, mientras que en las concentraciones de 60 mM no hubo incremento del IAF en este período y si hubo una reducción de los valores de TAN. De acuerdo con este comportamiento podemos ver que la salini-

dad afectó la tasa de crecimiento del cultivo bien sea por la reducción del IAF o por disminuciones de la TAN.

CONCLUSIONES

La turba se comportó como el mejor sustrato para el crecimiento y desarrollo de las plantas de lechuga sometidas a las concentraciones de NaCl, lo cual se evidenció en el comportamiento de los parámetros de crecimiento calculados. Esto nos permite afirmar que este sustrato orgánico puede atenuar el efecto de las sales sobre el desarrollo de las plantas.

La mezcla del sustrato turba con la cascarilla quemada alteró las condiciones de retención de humedad del sustrato y la disponibilidad de iones en la rizósfera de las plantas, lo que se reflejó en disminuciones en índices como el IAF y la TAN.

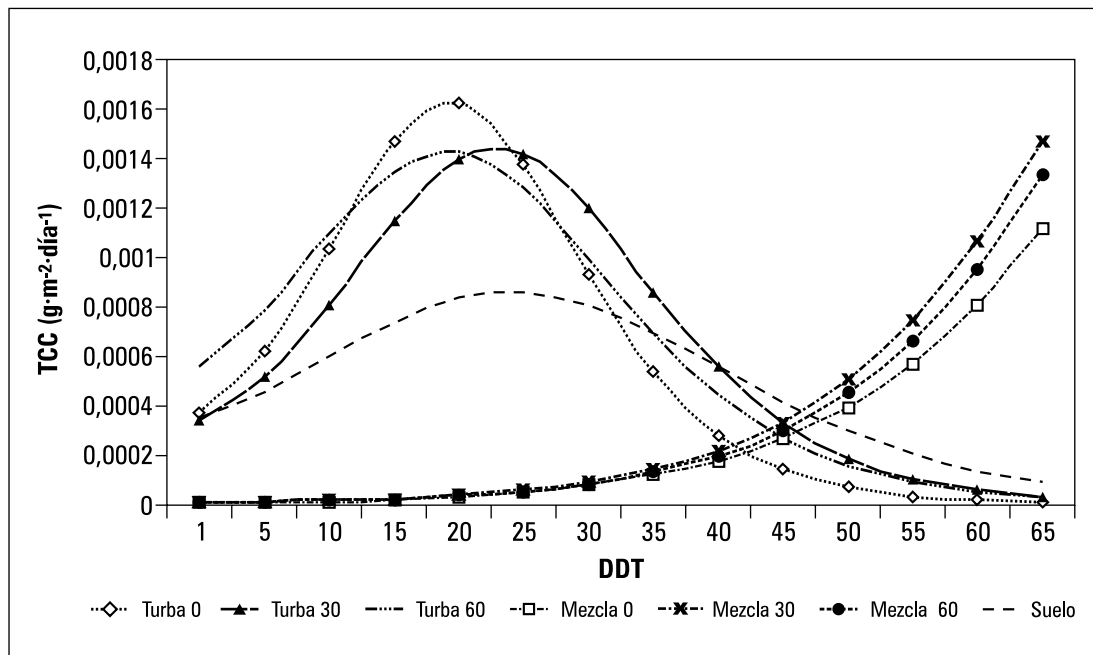


Figura 8. Comportamiento de la tasa de crecimiento del cultivo de plantas de lechuga sometidas a concentraciones de sales en diferentes sustratos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alarcón, J.J.; M.C. Bolarin; M.J. Sánchez-Blanco y A. Torrecillas. 1994. Growth, yield and water relations of normal fruited and cherry tomato cultivars irrigated with saline water. *J. Hort. Sci.* 69(2), 383–388.
- Alarcón, A. 2000a. Introducción a los cultivos sin suelo. Sistemas y sustratos. pp. 191-204. En: *Tecnología de Cultivos de alto rendimiento*. Universidad Politécnica de Cartagena. Colombia.
- Alarcón, A. 2000b. Introducción a la fertirrigación: aspectos básicos. pp. 15-19. En: *Tecnología de cultivos de alto rendimiento*. Universidad Politécnica de Cartagena. Colombia.
- Argüello, E. y I. González. 1994. Efecto del manejo del suelo, aplicando enmiendas y modalidades de fertilización sobre el cultivo del repollo (*Brassica oleracea* var. 'Capitata') en un suelo bajo estrés de salinidad. Trabajo de grado. Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. 56 p.
- Azcón-Bieto, J. y M. Talón. 2000. *Fundamentos de fisiología vegetal*. McGraw Hill-Interamericana, Madrid. 522 p.
- Barraza, F.; G. Fischer y C. Cardona. 2004. Estudio del proceso de crecimiento del cultivo del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en el valle del Sinú medio, Colombia. *Agron. Colomb.* 21(1), 81-90.
- Cadahía, C. 2005. *Fertirrigación. Cultivos hortícolas y ornamentales*. Mundi-Prensa, Madrid. 681 p.
- Charles-Edwards, D. A.; D. Doley y G. Rimmington. 1986. *Modelling plant growth and development* Academic Press, Australia. 235 p.
- Chartzoulakis, K. y G. Klapaki. 2000. Effects of NaCl salinity on growth and yield of two pepper cultivars. *Acta Hort.* 511, 143-149.
- Davies, W. y L. González. 2003. Crecimiento vegetal y estrés ambiental: papel de las hormonas vegetales en las respuestas de tolerancia a la sequía del suelo. En: *La ecofisiología vegetal: una ciencia de síntesis*. Paraninfo S.A. pp. 621-632.
- 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.

- Flórez, L. y D. Miranda. 2005. Efecto de la salinidad sobre la dinámica de nutrientes en la fase vegetativa del cultivo de lulo (*Solanum quitoense* L.), en diferentes sustratos. Trabajo de grado. Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Flowers, T.J.; P.F. Troke y A.R. Yeo. 1977. The mechanisms of salt tolerance in halophytes. *Annu. Rev. Plant Physiol.* 28, 89-121.
- González, M.; L. González y R. Ramírez. 2002. Aspectos generales sobre la tolerancia a la salinidad en las plantas cultivadas. *Cultivos Tropicales* 23(2), 27-37.
- Grattan, S. 2002. Irrigation Water Salinity and Crop Production. University of California, Division of Agriculture and Natural Resources. En: <http://www.anrcatalog.ucdavis.edu/pdf/8066.pdf>; consulta: julio de 2006.
- Grattan, S.R. y C.M. Grieve. 1999. Salinity-mineral nutrient relations in horticultural crops. *Scientia Hort.* 78, 127-157.
- Greenway, H. y R. Munns. 1980. Mechanisms of salt tolerance in nonhalophytes. *Annu. Rev. Plant. Physiol.* 31, 149-190.
- Greenway, H.; R. Munns y J. Wolfe. 1983. Interactions between growth, Cl⁻ and Na⁺ uptake, and water relations of plants in saline environments I. Slightly vacuolated cells. *Plant Cell Environ.* 6, 567-574.
- Kalaji, M. y S. Pietkiewicz. 1993. Salinity effects on plant growth and other physiological processes. *Acta Physiol. Plant.* 15(2), 89-124.
- Maas, E. 1994. Testing crops for salinity tolerance U.S. salinity laboratory. pp. 234-247. USDA-ARS. Riverside, CA.
- McCall, D. y A. Brazaityte. 1997. Salinity effects on seedling growth and floral initiation in the tomato, *Acta Agric. Scand. Sect. B, Soil Plant Sci.* 47(4), 248-252.
- Marschner, H. 2002. Mineral nutrition of higher plants. Academic Press, Londres.
- Medrano, H y J. Flexas. 2003. Respuesta de las plantas al estrés hídrico. pp. 253-286. En: La ecofisiología vegetal: una ciencia de síntesis. Paraninfo S.A.
- Mizrahi, Y. y D. Pasternak. 1985. Effect of salinity of various agricultural crops. *Plant Soil* 89, 301-307.
- Munns, R. 1993. Physiological processes limiting plant growth in saline soils: some dogmas and hypotheses. *Plant Cell Environ.* 16, 15-24.
- Munns, R. 2002. Comparative physiology of salt and water stress. *Plant Cell Environ.* 25, 239-250.
- Neumann, P. 1997. Salinity resistance and plant growth revisited. *Plant Cell Environ.* 20, 1193-1198.
- Ramírez, C. 2003. Análisis de la fisiología de la nutrición mineral en plantas de clavel miniatura (*Dianthus caryophyllus* cv. Rony) en condiciones de producción a nivel comercial. Tesis de maestría en Ciencias Agrarias. Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Razi, M.I. y S.W. Burrage. 1991. Growth and physiological changes of NFT-grown tomatoes as influenced by salinity, vapor pressure deficit and root temperature. *Pertanika* 14(2), 119-124.
- Reigosa, M. y P. Nuria. 2003. La ecofisiología vegetal. En: La ecofisiología vegetal: una ciencia de síntesis. Paraninfo S.A. pp. 1-58.
- Salisbury, F. y C. Ross, 1992. Fisiología de las plantas. Thomson Learning, España. pp. 69-70.
- Sánchez-Blanco, M.J.; M.C. Bolarine; J.J. Alarcon y A. Torrecillas. 1991. Salinity effects on water relations in *Lycopersicon esculentum* and its wild salt-tolerance relative species *L. pennellii*. *Physiol. Plant.* 83(2), 269-274.
- Taiz, L. y E. Zeiger. 1998. Plant Physiology. Sinauer Associates Publ., Sunderland.
- Tedeschi A y R. Dell'Aquila. 2005. Effects of irrigation with saline waters, at different concentrations, on soil physical and chemical characteristics. *Agr. Water Mgt.* 77, 308-322.
- Willadino, L y V. Camara. 2003. Origen y naturaleza de los ambientes salinos. pp. 303-330. En: La ecofisiología vegetal: una ciencia de síntesis. Paraninfo S.A.
- Yurtseven, E.; G.D. Kesmez y A. Unlukara. 2005. The effects of water salinity and potassium levels on yield, fruit quality and water consumption of a native central Anatolian tomato species (*Lycopersicon esculentum*). *Agr. Water Mgt.* 78, 128-135.