

# CRECIMIENTO DE PLÁNTULAS DE TOMATE (*Lycopersicon esculentum* Mill) CULTIVADAS EN DIFERENTES SUSTRATOS Y NIVELES DE ABASTECIMIENTO HÍDRICO

E. Utria<sup>✉</sup>, Inés Reynaldo, A. Cabrera, D. Morales y A. Lores

**ABSTRACT.** With the aim of evaluating the effect of sewage sludge application on tomato seedling growth, under limited water supply conditions, this experiment was carried out in pots of six liters of capacity; in each pot three tomato seeds from INCA variety 9(1) were sown. Initial treatments were: soil; soil + mineral fertilizer and soil + 135 g sludge.kg<sup>-1</sup> soil. 15 days after germination (ddg), two levels of water supply were imposed (100 and 50 % for reestablishing moisture losses every other day), so that six treatments were formed since that moment by combining the two study factors already mentioned. The dynamics of soil moisture percentage was recorded every four days and 12 days after having implanted the treatments of moisture levels (ditnh), plant height, shoot diameter, dry weight per organ and the whole plant and leaf surface were evaluated. Growth analysis was performed from the beginning until 12 ditnh. Results showed that sludge application influences positively soil capacity to retain water, which was evidenced when evaluating its moisture percentage every four days and subjecting it to gradual reductions of water supply to 50 % moisture losses in the soil, every two days. The stress condition imposed evidently affected all growth variables evaluated, which was less drastic in plants cultivated in the treatment where sewage sludge was applied.

**RESUMEN.** El presente estudio se realizó con el objetivo de evaluar el efecto de la aplicación de lodo de depuradora en el crecimiento de plántulas de tomate, en condiciones de suministro hídrico limitado. El experimento se realizó en macetas de seis litros de capacidad, en las cuales se sembraron tres semillas de tomate de la variedad INCA 9(1) en cada una. Los tratamientos iniciales fueron: suelo; suelo + fertilizante mineral y suelo + 135 g lodo.kg<sup>-1</sup> suelo; a los 15 días después de la germinación (ddg) se le impusieron niveles de abastecimiento hídrico de 100 y 50 % del restablecimiento de las pérdidas de humedad cada dos días, formándose a partir de ese momento seis tratamientos con las combinaciones de los dos factores en estudio antes mencionados. Se realizó una dinámica del porcentaje de humedad del suelo cada cuatro días y a los 12 días de implantados los tratamientos de niveles de humedad (ditnh) se evaluaron la altura de la planta, el diámetro del tallo, la masa seca por órgano y total de la planta, y la superficie foliar. Se realizó un análisis del crecimiento (TRC, TAN y RAF) en la fase comprendida desde el inicio hasta los 12 ditnh. Los resultados mostraron que la aplicación de lodo influye positivamente en la capacidad del suelo para retener agua, evidenciado al evaluar su porcentaje de humedad cada cuatro días y ser sometido a reducciones graduales del suministro hídrico al 50 % de las pérdidas de humedad en el sustrato, cada dos días. La condición de estrés impuesta provocó una afectación evidente en todas las variables evaluadas, que fue menos drástica en las plántulas cultivadas en el tratamiento donde se aplicó lodo de depuradora.

**Key words:** sewage sludge, tomato, growth, drought stress

**Palabras clave:** lodos residuales, tomate, crecimiento, estrés de sequía

## INTRODUCCIÓN

En nuestro planeta se dedica especial atención a las tecnologías agrícolas, que permiten reducir al máximo los efectos negativos que provocan las condiciones

estresantes en los cultivos, fundamentalmente el déficit hídrico.

El tomate es un cultivo sensible al suministro deficitario de agua en el suelo (1). La deshidratación de los tejidos por debajo de un nivel crítico, se acompaña de cambios irreversibles en las estructuras celulares, debido a que el agua como componente del citoplasma vivo, participa en el metabolismo y en todos los procesos bioquímicos del vegetal, siendo la hidratación de los tejidos una condición indispensable para el normal funcionamiento de estos. La pérdida de turgencia, el marchitamiento y la disminución del alargamiento celular son los primeros síntomas visibles del estado de estrés en las plantas, provocando un consiguiente cierre de los estomas

E. Utria, Profesor Asistente y A. Lores, Profesor Instructor de la Facultad Agroforestal, Centro Universitario de Guantánamo (CUG), carretera a Santiago de Cuba, km 2½, Guantánamo; Dra.C. Inés Reynaldo y Dr.C. D. Morales, Investigadores Titulares del Departamento de Fisiología y Bioquímica Vegetal; Dr.C. A. Cabrera, Investigador Titular del Departamento de Biofertilizantes y Nutrición de las Plantas, Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, Gaveta Postal 1, San José de las Lajas, La Habana, Cuba, CP 32 700.

✉ eutria@inca.edu.cu

y la afectación de varios procesos metabólicos básicos del vegetal, lo que ocasiona finalmente su muerte (2).

Los lodos de depuradoras, además de aportar elementos nutrientes esenciales para las plántulas (3, 4, 5, 6), mejoran las propiedades físicas de los suelos (7), influyendo positivamente en la formación y estabilidad de los agregados, mejorando la porosidad, disminuyendo la resistencia de las partículas del suelo a la penetración de las raíces y favoreciendo el movimiento de los gases y el balance hídrico en el suelo. Esta última propiedad es de vital importancia para el sistema radical y la planta en general, ya que una adecuada disponibilidad de agua en el suelo puede resultar en un incremento en la permeabilidad celular de las raíces y una disminución de la resistencia de estas al flujo de agua y nutrientes hacia el interior de la planta.

Son pocos los trabajos realizados que aborden la temática relacionada con la aplicación de lodos de depuradoras al suelo y su influencia en el crecimiento de los cultivos cuando el abastecimiento hídrico es deficitario, por lo que el presente trabajo se realizó con el objetivo de evaluar el efecto de la aplicación de lodo de depuradora en el crecimiento de plántulas de tomate, en condiciones de suministro hídrico limitado.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se realizó en áreas del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), en un suelo que se clasifica como Ferralítico Rojo compactado, según el mapa 1:25 000 de la Dirección Nacional de Suelos del MINAG y se corresponde con un Ferralítico Rojo compactado eútrico de la Nueva versión de clasificación de los suelos (8). El lodo de depuradora empleado se extrajo de la Estación Depuradora de Aguas Residuales "Quibú" del municipio Marianao, en la ciudad de La Habana.

Para el desarrollo del experimento se utilizaron 15 macetas de seis litros de capacidad por tratamiento, las cuales tenían una altura de 21.5 cm, un diámetro basal de 15 cm y un diámetro superior de 21.5 cm. En cada maceta se sembraron tres semillas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) de la variedad INCA 9-1.

Como fuentes de variación se analizaron tres sustratos y dos niveles de humedad. Los niveles de humedad se impusieron a partir de los 15 días después de la germinación (ddg) y las pérdidas de agua del suelo se restablecieron empleando el método gravimétrico con pesaje de las macetas cada dos días. A partir de los 12 días de impuestos los tratamientos de niveles de humedad (ditnh), se restableció el 100 % del agua en todos los tratamientos.

### Fuentes de variación

#### Sustratos

- S1) Suelo solo
- S2) Suelo + fertilizante químico (a razón de 150 kg N.ha<sup>-1</sup>)
- S3) 135 g lodo.kg<sup>-1</sup> de suelo

### Niveles de humedad

- N1) Restablecimiento del 100 % de las pérdidas de agua del suelo contenido en las macetas, cada dos días.
- N2) Restablecimiento del 50 % de las pérdidas de agua del suelo contenido en las macetas, cada dos días.

Los recipientes fueron situados debajo de un cobertizo con cubierta de nylon transparente, para evitar la incidencia de las precipitaciones y en horas de la noche para protegerlos del rocío.

El porcentaje de humedad del sustrato se realizó empleando el método gravimétrico, tomando tres puntos en tres macetas.

Las variables altura de las plántulas, diámetro del tallo, masa seca por órgano y total de las plántulas y superficie foliar, se evaluaron a los 12 ditnh.

La superficie foliar (cm<sup>2</sup>) se estimó utilizando el método del disco de Watson (9). El análisis se efectuó en cinco plantas por tratamiento.

La altura de las plántulas (cm) se midió desde la base del tallo principal hasta el ápice. Las evaluaciones se realizaron en 10 plántulas por tratamiento.

El diámetro del tallo (cm) se midió en su base con un pie de rey, utilizando 10 plántulas por tratamiento.

La masa seca por órgano (raíz, tallo y hojas) y total de las plántulas (g) se realizó en cinco plántulas por tratamiento, a las que se les separaron sus órganos, los cuales se mantuvieron a 70 ± 5°C hasta lograr masa constante.

Teniendo en cuenta la producción de masa seca y la superficie foliar, se efectuó el análisis del crecimiento a través de la evaluación de la tasa relativa de crecimiento (TRC), tasa de asimilación neta (TAN) y relación de área foliar (RAF) del cultivo en la fase que comprendió desde el inicio hasta los 12 ditnh (10).

El diseño utilizado fue completamente aleatorizado en condiciones semicontroladas y los resultados experimentales fueron sometidos al análisis estadístico correspondiente (ANOVA) con arreglo factorial. Las comparaciones de medias se realizaron según la Dócima de Tukey para el 5 % de probabilidad de error, en los casos que se encontraron diferencias significativas. Para el análisis estadístico se utilizó el paquete STATGRAPHICS Versión 5.0 en ambiente Windows.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

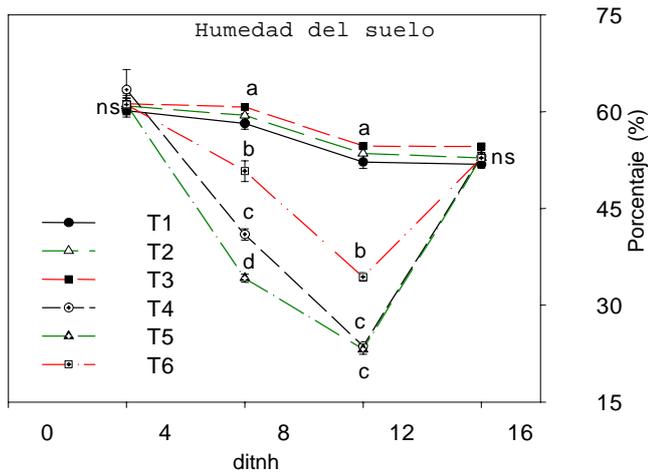
En la Figura 1 se presenta la dinámica del porcentaje de humedad del suelo, en la que se observa que independientemente de la composición del sustrato donde se desarrollaron las plantas, cuando se restableció el 100 % de las pérdidas de humedad, se lograron los mayores valores de esta variable y no se observaron diferencias significativas entre tratamientos (T1, T2 y T3). Sin embargo, cuando se redujo el suministro hídrico al 50 % de las pérdidas de agua cada dos días, se evidenció un comportamiento diferencial entre los tratamientos, resultando aquel en que se aplicó lodo de depuradora (T6) el que

experimentó una menor reducción de su porcentaje de humedad, logrando valores a los 8 y 12 ditnh superiores al de los tratamientos donde se aplicó fertilizante mineral (T5) y que no se aplicó ninguna fuente nutritiva (T4), en las mismas condiciones de estrés.

En la fase final de impuesta la condición de estrés (12 ditnh), se observó una reducción del porcentaje de humedad de 55 %, en el tratamiento donde no se aplicó ninguna fuente nutritiva, de 57 % donde se aplicó fertilizante químico y 37 % en los tratamientos donde se aplicó lodo de depuradora, comparado con el mismo sustrato, pero con buen abastecimiento hídrico.

Posterior a los 12 ditnh, cuando se restableció el 100 % de las pérdidas de agua en todos los tratamientos y se evaluó cuatro días después esta variable, no se detectaron diferencias significativas entre tratamientos.

De forma general, se observó que ante la reducción gradual del 50 % del suministro hídrico al sustrato, la aplicación de lodo atenúa en gran medida las pérdidas de humedad. Este comportamiento pudo deberse al contenido de materia orgánica presente en este lodo y a su carácter coloidal, lo cual permitió mejorar el balance hídrico del suelo donde fue aplicado y, a su vez, aumentar la capacidad de retención hídrica (11), logrando de esta forma que las plantas puedan resistir mejor la condición de estrés impuesta (12).

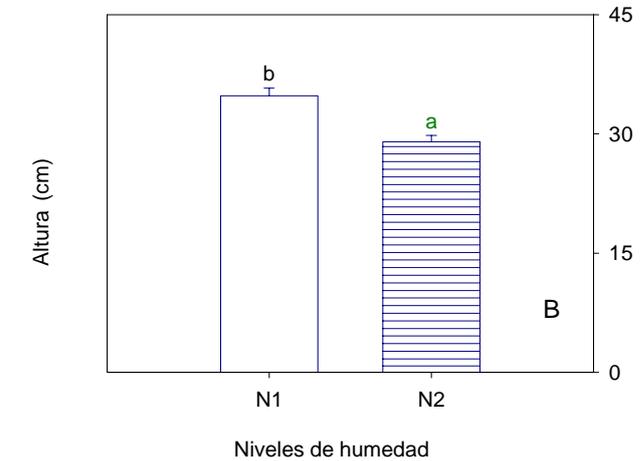
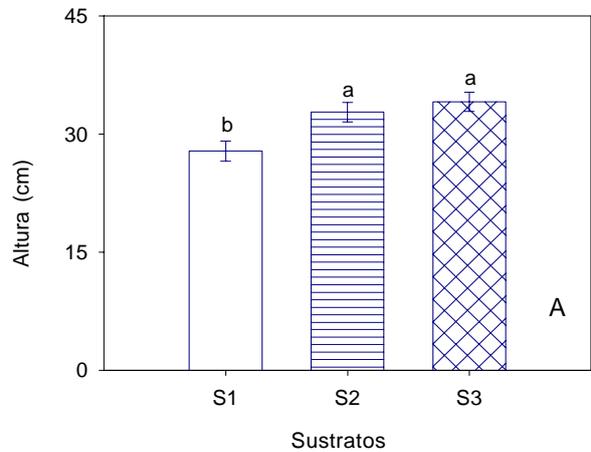


T1) Suelo (S1) + 100% de las pérdidas de agua del sustrato contenido en las macetas (N1); T2) Suelo con fertilizante (S2) + N1; T3) 135 g lodo.kg<sup>-1</sup> suelo (S3) + N1; T4) S1 + 50 % de las pérdidas de agua del sustrato contenido en las macetas (N2); T5) S2 + N2; T6) S3 + N2. (ditnh) días de impuestos los tratamientos de niveles de humedad. La flecha en el gráfico indica el momento apartir del cual se restableció el 100 % de las pérdidas de agua en todo los tratamientos. (l) Error estándar

**Figura 1. Porcentaje de humedad en un suelo Ferralítico Rojo, tratado con lodo de depuradora y sometido a diferentes niveles de abastecimiento hídrico. Fase comprendida desde el inicio de implantados los tratamientos de niveles de humedad hasta el final del experimento**

Uno de los procesos fisiológicos más sensible al déficit hídrico en el suelo es el crecimiento celular (2, 13, 14), evidenciado por la pérdida de capacidad de las plantas para aumentar significativamente su crecimiento y/o volumen en biomasa cuando se enfrentan a condiciones estresantes por déficit hídrico.

Al evaluar el crecimiento de la planta en altura a los 12 ditnh, se evidenció la no existencia de interacción entre los factores en estudio. Cuando se analizó la influencia del sustrato sobre esta variable, se observó que las plántulas cultivadas en el tratamiento donde se aplicó lodo de depuradora (S3) superaron en 3.8 y 18.32 % las magnitudes en altura alcanzadas por las desarrolladas en los tratamientos donde se aplicó fertilizante mineral (S2) y en el suelo solo (S1), respectivamente (Figura 2A). El incremento en altura fue afectado en un 17 % por la reducción del abastecimiento hídrico al 50 % de las pérdidas de agua (Figura 2B).

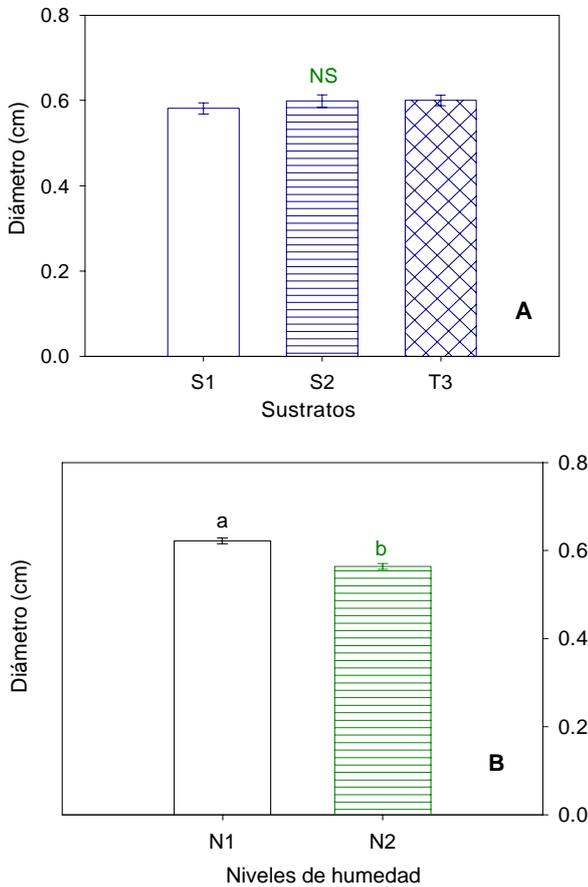


Suelo solo (S1); Suelo + fertilizante químico (S2) y 135 g lodo.kg<sup>-1</sup> de suelo (S3). Restablecimiento del 100 % de las pérdidas de agua (N1) y restablecimiento del 50 % de las pérdidas de agua (N2)

**Figura 2. Altura de plántulas de tomate cultivadas en diferentes sustratos y niveles de abastecimiento hídrico, a los 12 días de impuestos los tratamientos de niveles de humedad (ditnh)**

Los resultados anteriormente expuestos muestran la superioridad en la altura de las plántulas de tomate desarrolladas en un suelo tratado con lodo de depuradora comparado con un testigo absoluto (suelo) y un testigo de producción (suelo+fertilizante), en condiciones normales de abastecimiento hídrico, a la vez que estas manifestaron síntomas visibles de sensibilidad producidos por niveles limitados de humedad en el sustrato, debido a las condiciones de estrés impuestas. Resultados similares informaron que el estrés por déficit hídrico en plantas de algodón redujo la altura de la planta (15), con una consiguiente disminución del índice de área foliar de 35 %.

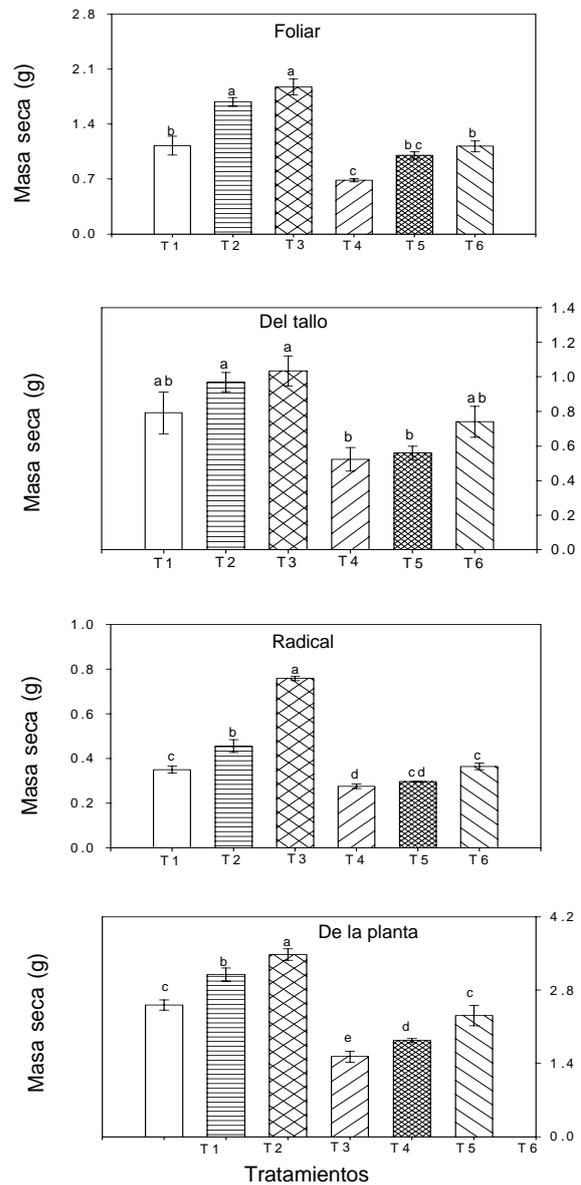
En la Figura 3, se observa que al evaluar el diámetro del tallo de las plántulas, no existieron interacciones entre los factores en estudio. La aplicación de lodo no tuvo efecto sobre esta variable a los 12 ditnh (Figura 3A). Sin embargo, esta fue afectada en un 9 % cuando se redujo el abastecimiento hídrico al 50 % de las pérdidas de agua (Figura 3B).



Suelo solo (S1); Suelo + fertilizante químico (S2) y 135 g lodo.kg<sup>-1</sup> de suelo (S3). restablecimiento del 100 % de las pérdidas de agua (N1) y Restablecimiento del 50 % de las pérdidas de agua (N2)

**Figura 3. Diámetro del tallo de plántulas de tomate cultivadas en diferentes sustratos y niveles de abastecimiento hídrico, a los 12 días de impuestos los tratamientos de niveles de humedad (ditnh)**

En la Figura 4 se muestran los valores de masa seca de los diferentes órganos y total de las plántulas a los 12 ditnh, donde se observaron diferencias significativas entre los tratamientos impuestos. En cuanto a las evaluaciones de los diferentes órganos, se observó una mayor acumulación de biomasa en la parte foliar de las plántulas y dentro de estas las mayores magnitudes se obtuvieron cuando se trató el suelo con lodo de depuradora (T3) y fertilizante mineral (T2) con restablecimiento del 100 % del agua. Las plántulas cultivadas en suelo solo y que además solo se restableció el 50 % de las pérdidas de agua (T4) lograron los menores valores de estas variables.



T1) Suelo (S1) + 100 % de las pérdidas de agua del suelo contenido en las macetas (N1); T2) Suelo con fertilizante (S2) + N1; T3) 135 g lodo.kg<sup>-1</sup> suelo (S3) + N1; T4) S1 + 50 % de las pérdidas de agua del suelo contenido en las macetas (N2); T5) S2 + N2; T6) S3 + N2. (I) Error estándar

**Figura 4. Producción de biomasa de plántulas de tomate cultivadas en diferentes sustratos y niveles de abastecimiento hídrico, a los 12 días de impuestos los tratamientos de niveles de humedad (ditnh)**

Al evaluar la producción de biomasa del tallo, se evidenció que los valores de esta variable en los tratamientos donde se aplicó lodo (T3) y fertilizante (T2) con restablecimiento del 100 % del agua fueron estadísticamente superiores a los del tratamiento donde las plántulas crecieron en suelo solo (T4) y el que se aplicó fertilizante mineral (T5) con restablecimiento del 50 % del agua. Entre los restantes tratamientos no existieron diferencias significativas.

La biomasa del sistema radical logró las mayores magnitudes cuando se aplicó lodo de depuradora (T3) y fertilizante mineral (T2) y se restableció el 100 % de las pérdidas de agua, respectivamente. A pesar de que se evidenció la tendencia de aumentar la biomasa radical con la aplicación de fertilizante y lodo de depuradora, se presenta el hecho de que este órgano fue el más afectado por la reducción del suministro hídrico al 50 %, probablemente por el endurecimiento que produce en los suelos, las condiciones de sequedad producidas por el estrés impuesto, que en la mayoría de los casos impide el desarrollo y la exploración del sistema radical de las plantas.

De manera general, los valores alcanzados en la producción de biomasa total de las plántulas mostraron diferencias significativas entre los tratamientos, evidenciándose valores mayores donde se aplicó lodo con restablecimiento del 100 % de las pérdidas de agua (T3), seguido de aquel donde las plántulas fueron cultivadas en el tratamiento donde se aplicó fertilizante mineral (T2) en estas mismas condiciones de suministro hídrico.

Las plántulas de los tratamientos donde solo se aplicó el 50 % de las pérdidas de agua, redujeron las magnitudes de biomasa total en todos los tratamientos, afectándose esta en un 47 % en el tratamiento donde las plantas crecieron en suelo solo, en un 41 % en el tratamiento donde se aplicó fertilizante químico y en un 33.5 % donde se aplicó lodo de depuradora, respecto a la respuesta encontrada en sus controles, donde se utilizó el mismo sustrato, pero se restableció el 100 % de las pérdidas de agua. Resultados similares fueron encontrados en maíz (16), trébol blanco (14 y 17), maíz dulce (18) y algodón (15), donde se observó que la cantidad de biomasa producida por las plantas disminuía drásticamente con la disminución del contenido hídrico del suelo.

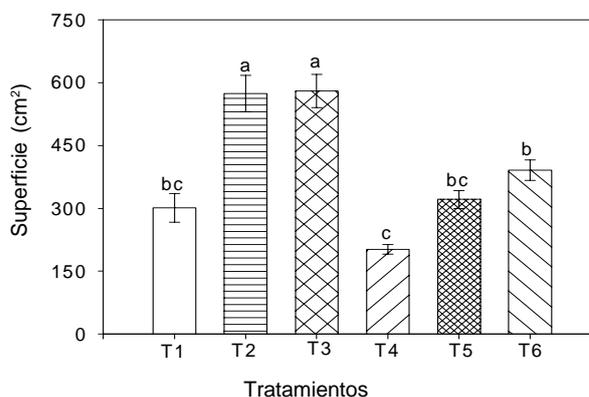
En el experimento se observó una estrecha vinculación entre la acumulación de biomasa del cultivo y el porcentaje de humedad del sustrato, de igual manera a lo encontrado en plantas de Albahaca blanca (19).

La respuesta del crecimiento de la planta a la aplicación de lodos en condiciones normales de abastecimiento hídrico está relacionada con el aporte de nutrientes que hacen estos residuos orgánicos, fundamentalmente N y P (20, 21) y a su efecto en el mejoramiento de las propiedades físicas y microbiológicas de los suelos (22), los cuales propician un suelo con características adecuadas para el desarrollo del sistema radical, lo que favorece la mejor absorción de los nutrientes de la solución del suelo y un lecho adecuado para los microorganismos encargados de degradar los compuestos presentes en estos residuos orgánicos.

Cuando se restableció solo el 50 % del agua, el metabolismo del nitrógeno y el carbono pudo verse afectado (23), fundamentalmente procesos tan importantes como la fotosíntesis (24, 25, 26, 27) y la actividad de las enzimas del metabolismo de nitrógeno, como es la nitrato reductasa (28).

Por otra parte, la reducción del suministro hídrico al 50 % de las pérdidas de agua afecta considerablemente el movimiento, la disponibilidad y absorción de los elementos esenciales para las plantas en el suelo, debido a que estas absorben los elementos necesarios para su nutrición de la solución del suelo; además, el endurecimiento del sustrato donde se desarrollan las plantas en la mayoría de los casos impide la exploración del sistema radical, la que a su vez aumenta la resistencia al paso del agua y los nutrientes, como mecanismo para evitar las pérdidas de agua del vegetal hacia el suelo.

La evaluación de la superficie foliar mostró resultados similares a los encontrados en las variables del crecimiento anteriormente analizadas (Figura 5). Como se observa en condiciones normales de abastecimiento hídrico, a los 12 días, los mayores valores de superficie foliar fueron obtenidos por las plántulas del tratamiento donde se aplicó fertilizante químico (T2) y lodo de depuradora (T3). Mientras que al restablecerse solo el 50 % de las pérdidas de agua, las magnitudes de esta variable disminuyeron en un 33.03, 44.01 y 32.55 % en los tratamientos donde las plantas crecieron en el suelo solo, donde se aplicó fertilizante mineral y donde el suelo fue tratado con lodo, respectivamente, comparadas con las desarrolladas en el mismo sustrato, pero con restablecimiento del 100 % de las pérdidas, observándose una tendencia al incremento con la aplicación de lodo.



T1) Suelo (S1) + 100 % de las pérdidas de agua del suelo contenido en las macetas (N1); T2) Suelo con fertilizante (S2) + N1; T3) 135 g lodo.kg<sup>-1</sup> suelo (S3) + N1; T4) S1 + 50 % de las pérdidas de agua del suelo contenido en las macetas (N2); T5) S2 + N2; T6) S3 + N2. (I) Error estándar

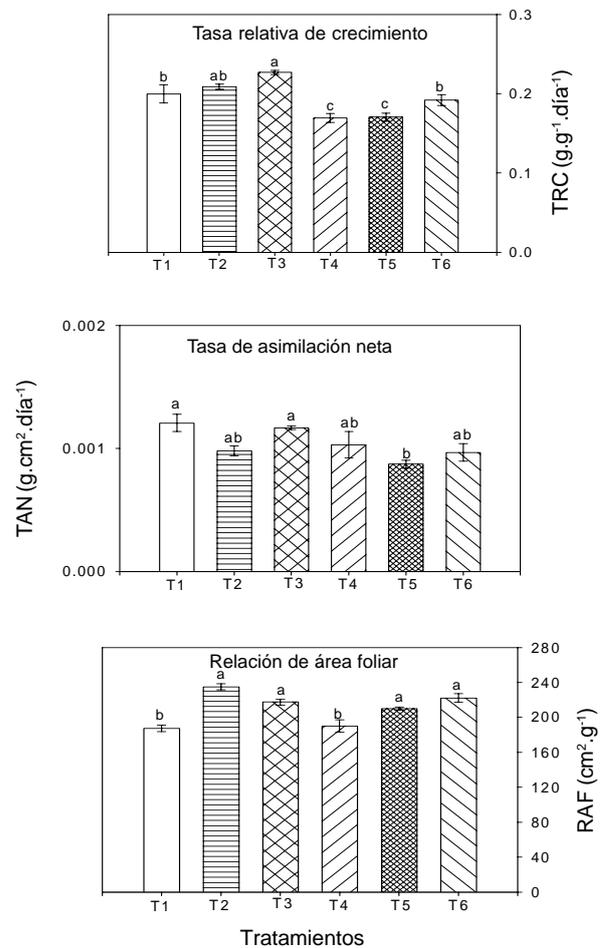
**Figura 5. Superficie foliar de plántulas de tomate cultivadas en diferentes sustratos y niveles de abastecimiento hídrico, a los 12 días de impuestos los tratamientos de niveles de humedad (ditnh)**

Por otra parte, al trabajar con plántulas de yuca se ha observado que estas redujeron su superficie foliar rápidamente en respuesta al déficit hídrico (29). Este comportamiento se explica como respuesta de adaptación de las plántulas a la reducción del agua en el suelo, las cuales retardaron el crecimiento de la superficie foliar hasta que el agua estuvo disponible; mediante este mecanismo el desarrollo de la superficie transpiracional es disminuido y el crecimiento de las hojas se mantiene por más tiempo en equilibrio con el suministro de fotosintatos. Resultados similares fueron encontrados en trébol blanco (14) y algodón (15); también se informó que la reducción de la superficie foliar en el cultivo trajo como resultado una reducción en la intercepción de los rayos solares por las hojas de un 8 % (15).

Al hacer un análisis del crecimiento en la etapa que comprende desde el inicio hasta los 12 días (Figura 6), se observó que el incremento por unidad de material vegetal presente por día (tasa relativa de crecimiento-TRC) mostró relación con el comportamiento del área foliar, de igual manera a lo encontrado en varias especies de árboles (30). Esta variable fue mayor en los tratamientos donde se aplicó lodo (T3) y fertilizante (T2), con el restablecimiento del 100 % de las pérdidas de agua, pues no se encontraron diferencias significativas entre este último tratamiento y aquellos en los que las plantas crecieron en suelo solo, en las mismas condiciones de suministro hídrico y el que recibió la adición de lodo, pero con el restablecimiento del 50 % de las pérdidas de agua. Las menores magnitudes de esta variable correspondieron a los tratamientos donde no se aplicó fertilizante químico ni lodo (T4) y al que se le aplicó fertilizante químico (T5), ambos con restablecimiento del 50 % de las pérdidas de agua cada dos días.

Al evaluar el incremento del material vegetal por unidad del sistema asimilativo por unidad de tiempo (tasa de asimilación neta-TAN), en la etapa comprendida entre el inicio y los 12 días, se obtuvo que de forma general, los tratamientos donde se aplicó lodo de depuradora (T3) y en el que no se aplicó ningún enmendante (T1) y que se restablecieron el 100 % de las pérdidas de agua, alcanzaron valores estadísticamente superiores al del tratamiento donde se aplicó fertilizante químico, con restablecimiento del 50 % de las pérdidas de agua; este último con los menores resultados. Entre los demás tratamientos no existieron diferencias significativas.

Se destaca el hecho de que si se compara el comportamiento de las plantas crecidas en los diferentes sustratos en la condición de estrés, con las desarrolladas en el mismo sustrato en condiciones normales de restablecimiento hídrico, se puede concluir que la variación del abastecimiento hídrico no afectó la eficiencia de los órganos asimilatorios en la producción de nueva biomasa y la composición del sustrato jugó un papel muy importante en los resultados encontrados.



T1) Suelo (S1) + 100 % de las pérdidas de agua del suelo contenido en las macetas (N1); T2) Suelo con fertilizante (S2) + N1; T3) 135 g lodo.kg<sup>-1</sup> suelo (S3) + N1; T4) S1 + 50 % de las pérdidas de agua del suelo contenido en las macetas (N2); T5) S2 + N2; T6) S3 + N2. (I) Error estándar

**Figura 6. Análisis del crecimiento de plántulas de tomate cultivadas en diferentes sustratos y niveles de abastecimiento hídrico, a los 12 días de impuestos los tratamientos de niveles de humedad (dithn)**

La proporción de material asimilativo por unidad de material vegetal presente en el instante de tiempo evaluado (relación de área foliar-RAF), fue mayor en los tratamientos donde se aplicó lodo y fertilizante mineral, independientemente de los niveles de humedad impuestos, lo que indica un posible efecto del estado nutricional del cultivo en dicha proporción.

En este estudio se mostró la eficiencia de la evaluación de los índices de crecimiento, como indicador del crecimiento en plantas de cultivo sometidas a diferentes dosis de nutrientes (31).

Como se pudo observar en este trabajo, en condiciones de buen abastecimiento hídrico, el porcentaje de humedad del suelo no experimentó ninguna afectación.

Por otra parte, cuando se evaluaron las variables que definen el crecimiento del cultivo, se observó que tan pronto como se restableció el 100 % de las pérdidas del

sustrato, estas respondieron positivamente a la adición de fertilizante y lodo, superando significativamente al tratamiento donde las plantas crecieron en suelo solo, exceptuando al diámetro del tallo, que no mostró diferencias ante los distintos sustratos.

Cuando se redujo el suministro hídrico al 50 %, al igual que el porcentaje de humedad del sustrato, el crecimiento del cultivo también se vio afectado, pero menos severamente en el tratamiento donde se aplicó lodo de depuradora.

Teniendo en cuenta estos resultados, se puede deducir que ante la reducción drástica del suministro hídrico en el suelo agrícola, los lodos de depuradora pudieran influir positivamente en favor de la retención hídrica del suelo y/o disponibilidad del agua para las plantas; además, en condiciones normales de producción, es factible espaciar la frecuencia del riego y con este minimizar los volúmenes de agua a aplicar durante el ciclo del cultivo.

## REFERENCIAS

1. Reynaldo, I.; Pérez, I.; Jerez, E. y Dell'Amico, J. Efecto del estrés hídrico en la asimilación del nitrógeno en plántulas de tomate cv INCA 9-1. *Cultivos Tropicales*, 2002, vol. 23, no. 2, p. 47-50.
2. Azcón-Bieto, J. y Talón, M. Fundamentos de Fisiología Vegetal. 2da reimpresión. Barcelona : Ed Univ., 2001. 515 p.
3. Andrade, M. L.; Reyzaabal, M. L. y Montero, M. J. Contenido, evolución de nutrientes y productividad en suelo tratado con lodos residuales urbanos. *Edafología*, 2000, vol. 3, no. 3, p. 21-29.
4. Delgado, M.; Miralles, R.; Porcel, M. A.; Beltrán, E. M.; Beringola, L.; Martín J. V. y Bigeriego, M. Ensayo sobre el efecto como fertilizantes del compost de lodos y del RSU, para su empleo en la forestación de tierra agrarias. *Montes*, 2002, vol. 67, p. 54-58.
5. Sanz, F. M. La gestión de las aguas residuales en los municipios pequeños de la provincia de Castellón. [Consultado. 10-2-2002]. Disponible en: <[http://www.ces-cv.es/ces-cv/www/ukindice\\_segunda\\_conferencia\\_ma/segundas\\_conferencias\\_ma.htm.12k](http://www.ces-cv.es/ces-cv/www/ukindice_segunda_conferencia_ma/segundas_conferencias_ma.htm.12k)>.
6. Miralles, R.; Beltrán, E.; Porcel, M. A.; Delgado, M.; Beringola, M. L.; Valero, J.; Calvo, R. e Ingrid, W. Emergencia de seis cultivos tratados con lodos, fresco y compostado, de estaciones depuradora. *Rev. Int. de Contam. Ambient.*, 2002, vol. 18, no. 3. p. 139-146.
7. Illera, V.; Walter, I. y Cala, V. Niveles de metales pesados en *Thymus zygia* desarrollado en suelos enmendados con residuos orgánicos urbanos. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 2001, vol. 17, no. 4, p. 170-186.
8. Cuba. Minagri. Instituto de Suelos. Nueva versión de clasificación genética de los suelos de Cuba. Instituto de Suelos. Ministerio de la Agricultura. La Habana : AGRINFOR, 1999. 64 p.
9. Soto, F. Estimación de área foliar en *C. arabica* L. a partir de las medidas lineales de las hojas. *Cultivos Tropicales*, 1980, vol. 2, no. 3, p. 115-128.
10. Bleade, C. L. Growth analysis. En: *Photosynthesis and production in a changing environment*. London : Chapman y Hall. 1993, p. 36-45.
11. Melo, W. J. y Marquez, M. O. Potencial do lodo de esgoto como fonte de nutrientes para as plantas. En: *Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto*. Jaguaruina: EMBRAPA Meio Ambiente, 2000, p. 109-141.
12. Valero, J. A. P. Efectividad de los residuos orgánicos urbanos en la mejora de la calidad de suelos áridos: aspecto biológico y bioquímico. [Tesis de grado Científico]; Universidad de Murcia. CEBAS-CSIC. 1995. 431 p.
13. Parra, R. A.; Becerril, A. E. y López, C. Transpiración, resistencia estomática y potenciales hídricas en manzano "Golden delicious" injertado sobre portainjerto clonales. *Terra*, 2002, vol. 20, no. 2, p. 113-121.
14. Bissuel-Belaygue, C.; Cowan, A. A.; Marshall, A. C. y Wery, J. Reproductive development of white clover (*Trifolium repens* L.) is not impaired by a moderate water deficit that reduces vegetative growth. I. inflorescence, floret, and ovule production. *Crop Science*, 2002, vol. 42, no. 2, p. 406-414.
15. Pettigrew, W. T. Physiological consequences of moisture deficit stress in cotton. *Crop Sci.*, 2004, vol. 44, no. 4, p. 1265-1272.
16. Traore, S. B.; Carlson, R. E.; Pilcher, C. D. y Rice, M. E. 2000. Bt and non-Bt maize growth and development as affected by temperature and drought stress. *Agronomy Journal*, 2000, vol. 92, no. 5, p. 1027-1035.
17. Bissuel-Belaygue, C.; Cowan, A. A.; Marshall, A. H. y Wery, J. Reproductive development of white clover (*Trifolium repens* L.) is not impaired by a moderate water deficit that reduces vegetative growth. II-Fertilization efficiency and seed set. *Crop Science*, 2002, vol. 42, vol. 2, p. 414-422.
18. Stone, P. J.; Wilson, D. R.; Reid, J. B. y Gillespie, R. N. Water deficit effects on sweet corn. I. Water use, radiation use efficiency, growth and yield. *Australian Journal of Agricultural Research*, 2004, vol. 52, no. 1, p. 103-113.
19. Barroso, L. Crecimiento, desarrollo y relaciones hídricas de la Albahaca blanca (*Ocimum basilicum* L.) en función del abastecimiento hídrico. [Tesis de grado Científico]; INCA. 2004, 111 p.
20. Akrivos, J.; Mamais, D.; Katsara, K. y Andreadakis, M. Agricultural utilization of lime treated sewage sludge. *Water Science & Technology*, 2000, vol. 42, no. 9, p. 203-210.
21. Grey, M. y Henry, C. Phosphorus and nitrogen runoff from a forested watershed fertilized with biosolids. *Journal of Environmental Quality*, 2002, vol. 31, no. 3, p. 926-936.
22. Mena, E.; Garrido, A.; Hernández, T. y García, C. Bioremediation of Sewage Sludge by Composting. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 2003, vol. 34, no. 7, p. 957-971.
23. Pinheiro, C.; Chaves, M. M. y Ricardo C. P. P. Alterations in carbon and nitrogen metabolism induced by water deficit in the stem and leaves of *Lupinus albus* L. *Journal of Experimental Botany*, 2001, vol. 52, no. 358, p. 1063-1070.
24. Chaves, M. M.; Pereira, J. S.; Maroco, J.; Rodríguez, M. L.; Ricardo, C. P. P.; Osorio, M. L.; Carvalho, I.; Faria, T. y Pinheiro, C. How plant cope with water stress in the field? photosynthesis and growth. *Annals of Botany*, 2002, vol. 69, no. 7, p. 907-916.

25. Lawlor, D. W. Limitation to photosynthesis in water-stressed leaves: stomata vs. metabolism and the role of ATP. *Annals of Botany*, 2002, vol. 89, no. 7, p. 871-885.
26. Cornic, G. y Fresneau, Ch. Photosynthetic carbon reduction and carbon oxidation cycles are the main electron sinks for photosystem II activity during a mild drought. *Annals of Botany*, 2002, vol. 89, no. 7, p. 887-894.
27. Medrano, H.; Escalona, J. M.; Bota, J.; Gulías, J. y Flexas, J. Regulation of photosynthesis of  $C_3$  plants in response to progressive drought: stomatal conductance as a reference parameter. *Annals of Botany*, 2002, vol. 89, no. 7, p. 895-905.
28. Marur, C. J.; Mazzafera, P. y Magalhães, A. C. Atividade da enzima reductase do nitrato em algodoeiro submetido ao déficit hídrico e posterior recuperação da turgescencia. *Scientia Agrícola*, 2000, vol. 57, no. 2, p. 277-281.
29. Alves, A. C. y Setter, T. L. Response of cassava to water deficit. leaf area and abscisic acid. *Crop Science*, 2000, vol. 40, no. 1, p. 131-137.
30. Álvarez, M. Nutrición mineral y componentes de la tasa relativa de crecimiento en ocho especies arbóreas de la selva baja caducifolia. En: Congreso Mexicano de Botánica. Sociedad Botánica de México. (15:2001:México), 2001.
31. Echevarria, H. Efecto del nitrógeno sobre la dinámica de crecimiento, productividad y calidad de la Albahaca blanca (*Ocimum basilicum* L.) variedad "Genovesa". [Tesis de Maestría]; INCA. 72 p.

Recibido: 15 de septiembre de 2004

Aceptado: 5 de mayo de 2005

# CURSOS DE POSGRADO

Precio: 350 CUC

## ***Fisiología del estrés***

*Coordinador: Dr.C. Walfredo Torres de la Noval*

*Fecha: a solicitud*

*Duración: 80 horas*

### **SOLICITAR INFORMACIÓN**

**Dr.C. Walfredo Torres de la Noval**  
**Dirección de Educación, Servicios Informativos**  
**y Relaciones Públicas**  
**Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA)**  
**Gaveta Postal 1, San José de las Lajas,**  
**La Habana, Cuba. CP 32700**  
**Telef: (53) (64) 86-3773**  
**Fax: (53) (64) 86-3867**  
**E.mail: posgrado@inca.edu.cu**