

EFFECTO DEL CLORURO DE SODIO SOBRE EL CRECIMIENTO Y ESTADO NUTRICIONAL DE PLANTAS DE PAPAYA

Jorge Parés¹ y Carmen Basso²

RESUMEN

La limitada disponibilidad de agua de calidad para la agricultura de las zonas áridas y semiáridas ha propiciado el uso de agua de moderada a alta salinidad. La papaya (*Carica papaya* L.), aunque se reporta con diferentes sensibilidades al estrés salino, es una especie de gran potencial frutícola para ser cultivada económicamente en las regiones semiáridas del estado Lara, Venezuela. El objetivo de este ensayo fue evaluar el efecto de la salinidad ocasionada por el NaCl sobre el crecimiento vegetativo y el estado nutricional de la papaya 'Maradol' desarrollada bajo una estructura de techo transparente. Como fuente salina se utilizó cloruro de sodio grado analítico, el cual se adicionó a través del agua de riego en cuatro tratamientos (0,001; 2,0; 4,0 y 8,0 dS·m⁻¹) bajo un diseño completamente aleatorizado con cuatro repeticiones, hasta finalizar la fase juvenil del desarrollo. Se evaluó la longitud del tallo, biomasa seca aérea y radical, área foliar, área de sección del tallo, contenido relativo de clorofila (SPAD) y el contenido de N, P, K, Ca, Mg, Mn, Zn, Cu, Fe y Na a nivel foliar. Los tratamientos afectaron el crecimiento vegetativo de las plantas durante toda la fase juvenil del desarrollo. Se observó, además, reducción del contenido de clorofila con el estrés por NaCl. Los tenores N y Na incrementaron, mientras que, los de K, Zn, Cu y Fe disminuyeron. Los niveles de P, Ca, Mg y Mn, no se afectaron. En base a los resultados obtenidos la papaya 'Maradol' puede ser considerada como un cultivar de moderada tolerancia al NaCl.

Palabras clave adicionales: *Carica papaya*, estrés salino, biomasa, contenido de clorofila, nutrientes minerales

ABSTRACT

Effect of sodium chloride on growth and mineral content of papaya plant

Due to limited availability of low-salinity water in arid and semi-arid regions, water use of moderate to high salinity in agriculture of those regions is unavoidable. Papaya, although exhibits different sensitivities to salinity, has great potential to be cultivated in semi-arid regions of Lara State, Venezuela. The objective of this research was to evaluate the effects of irrigation with water containing different levels of NaCl on growth and nutrient content of papaya 'Maradol'. The experiment was carried out under a structure with transparent ceiling until the end of the plant juvenile phase. NaCl treatments were applied to irrigation water to obtain 0.001, 2.0, 4.0 and 8.0 dS·m⁻¹ electrical conductivity under a completely randomized design with four replications. Shoot length, shoot and root dry matter, leaf area, stem-cross-sectional area, relative chlorophyll content (SPAD), and leaf N, P, K, Ca, Mg, Mn, Zn, Cu, Fe and Na concentration were evaluated. The presence of NaCl in the irrigation water caused inhibition of growth in young plants. Significant reduction in contents of chlorophyll was also detected. Tissue concentration of N and Na increased with increasing levels of NaCl, while K, Zn, Cu and Fe decreased. Ca, Mg, P and Mn, were not affected. On the basis of data obtained, papaya 'Maradol' can be considered as a moderately NaCl tolerant cultivar.

Additional key words: *Carica papaya*, salt stress, dry matter, chlorophyll content, mineral nutrients

INTRODUCCIÓN

La salinidad es considerada como el mayor estrés abiótico que ha perjudicado la productividad y calidad de las cosechas de los cultivos tradicionales (Yetisir y Uygur, 2009), y se estima que tienda a agravarse a medida que el cambio climático genere mayor aridez y deterioro de la calidad del agua de riego (Szabolcs, 1994),

es decir, conduzca a la desertificación.

En la naturaleza, los principales problemas de estrés salino son originados por las sales de sodio, particularmente por el NaCl (Demiral, 2005). Son varias las afectaciones que puede causar su acumulación en las plantas; sin embargo, los efectos más importantes y más estudiados son el estrés osmótico, el desbalance iónico y la toxicidad que produce la acumulación de iones

Recibido: Julio 27, 2012

Aceptado: Abril 26, 2013

¹ Dpto. Fitotecnia, Decanato de Agronomía, Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado. Apdo. 400. Barquisimeto. Venezuela. e-mail: jorgepares@ucla.edu.ve

² Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela. Apdo. 4579. Maracay. Venezuela.

como sodio y/o cloro sobre los procesos metabólicos (Munns et al., 2006; Turhan y Eris, 2007).

En la búsqueda de alternativas tendientes a mantener o mejorar la productividad agrícola de regiones marginadas por la salinidad, se ha propuesto la manipulación de las sales mediante el lavado y/o mantenimiento de un adecuado nivel de humedad en la zona de raíces (Meiri, 1984; Villafañe, 2011); sin embargo, la escasez de agua tanto en calidad como en cantidad, característica de las regiones áridas y semiáridas, dificulta su implementación. Por tanto, es de importancia considerar como estrategia válida la identificación y caracterización de materiales vegetales que se adapten a tales condiciones o mejorar los sistemas de cultivo (Aiazzi et al., 2005).

Hasta el momento se desconocen las pautas de manejo, en plantas de papaya (*Carica papaya* L.), que permitan maximizar el éxito de la implantación de esta especie en condiciones de salinidad, a pesar de ser reportada como una especie que presenta un rango de respuesta a la salinidad que va desde extremadamente sensible (Marler, 1994) hasta moderadamente tolerante (Elder et al., 2000).

Lo anteriormente expuesto conllevó a la realización de este trabajo, cuyo objetivo principal estuvo dirigido a determinar el efecto que la salinidad, provocada por el NaCl, ejerce sobre el crecimiento y el estado nutricional de la papaya var 'Maradol', durante el período vegetativo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se llevó a cabo en las instalaciones de la Universidad Centroccidental "Lisandro Alvarado", estado Lara, Venezuela (10° 01' N; 69° 17' W; 510 msnm), bajo una estructura de techo transparente. Se utilizó como material vegetal plantas de papaya var 'Maradol', obtenidas a partir de semillas certificadas.

Los niveles evaluados de conductividad eléctrica del agua de riego (Ec_w) se establecieron al considerar los resultados de Makhija y Jindal (1983) quienes reportaron que las plantas de papaya son ligeramente afectadas al ser tratadas con agua a $2,0 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ de Ec_w . En consecuencia, se seleccionaron cuatro tratamientos de irrigación con valores de 0,001; 2,0; 4,0 y $8,0 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ de Ec_w . Como fuente salina se utilizó NaCl

grado analítico.

Las semillas germinadas se colocaron en bolsas de polietileno negro con aproximadamente 2 L de sustrato. Al culminar la etapa de vivero, la cual se fijó a los 60 días después de la emergencia, las plantas fueron transferidas a contenedores de 20 L de capacidad. Como sustrato se utilizó una mezcla químicamente desinfectada de tierra: arena: humus de lombriz en proporción 2:1:1, respectivamente. Los tratamientos salinos se aplicaron a partir de los 7 días de iniciada la emergencia de las plántulas, y se administraron por 3 meses.

Se evaluó la dinámica del crecimiento a través de mediciones de la longitud del monopodio y el área de la sección transversal del tallo a una altura de 2 cm del suelo, con una frecuencia de 30 días; además se determinaron variables biométricas como masa seca aérea, masa seca de raíz y área foliar, tanto a los 2 meses de edad (finalización de la etapa de vivero), como a la culminación de la fase juvenil del desarrollo, definida ésta última por la aparición del primer botón floral visible, lo cual ocurrió aproximadamente a los 120 días luego de la emergencia.

Para la determinación de las variables biométricas antes mencionadas se utilizó 1/3 de la unidad experimental. La biomasa seca se tomó luego de seccionar las plantas y separar la parte aérea de la radical y colocarlas por 48 h a 70 °C en estufa de ventilación forzada. El área foliar se estimó por la relación área/biomasa a partir de discos de hojas (Acevedo y Pire, 2004).

Se determinó el contenido relativo de clorofila utilizando un medidor SPAD (Soil - Plant Análisis Development) Minolta 502. Las determinaciones se llevaron a cabo mensualmente a partir de la tercera semana de aplicados los tratamientos, hasta el inicio del estado reproductivo. Se evaluó la cuarta hoja de cada una de las plantas en su porción apical, media y basal, por considerarse la hoja más recientemente expandida.

Una vez alcanzado el inicio del estado reproductivo se tomaron muestras foliares para determinar la concentración de elementos minerales. Las hojas fueron lavadas con agua y detergente y luego de varios enjuagues con abundante agua destilada el material vegetal fue secado a 65 °C en estufa de ventilación forzada hasta peso constante. Posteriormente, el material foliar fue molido y tamizado y se obtuvo así una

molienda homogénea.

Las concentraciones de Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn y Na fueron determinadas por espectrofotometría de absorción atómica, el P por colorimetría, el K por emisión atómica y el N fue determinado por microkjeldahl.

El ensayo se estableció bajo un diseño completamente al azar con cuatro tratamientos y cuatro repeticiones. La unidad experimental estuvo conformada por tres envases, cada uno de los cuales contenían tres plantas, para un total de 144 plantas. Se realizó un análisis de varianza para las variables estudiadas a través del paquete estadístico Statgraphics V.5.1 previa verificación de las hipótesis del modelo. En los casos en que se obtuvieron diferencias significativas se procedió a realizar pruebas de comparación de medias según la prueba de Tukey.

Los datos de crecimiento, en función al tiempo, se ajustaron a una ecuación logística de crecimiento cuya fórmula es:

$$Y = \frac{C}{1 + e^{-B(x - M)}}$$

donde Y representa el crecimiento de la variable evaluada, C es el crecimiento final, x es el tiempo en días, M el tiempo de máxima velocidad de crecimiento, y B un parámetro matemático, arrojado por el programa estadístico, que varía para cada ecuación logística de crecimiento generada (Costa et al., 1995), y en nuestro caso fue desde 0,03 hasta 0,06.

La tangente al punto de inflexión de la curva corresponde a la máxima velocidad de crecimiento (m) y viene dada por $m = B \cdot C / 4$. El ajuste se realizó empleando el paquete estadístico antes mencionado.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El aporte de NaCl a través del agua de riego causó efecto negativo sobre el crecimiento de las plantas de papaya expresado en términos de longitud del tallo (Figura 1). Como se observa, la evolución del crecimiento de los tallos a lo largo del período de estudio se ajustó a una curva sigmoidea simple ($P \leq 0,001$), según el método matemático descrito por Costa et al. (1995), lo que manifiesta la gran influencia ontogénica. Así, durante las primeras fases del desarrollo la velocidad de crecimiento de los tallos fue lenta y

luego incrementó hasta alcanzar un máximo cuya ocurrencia varió con el aporte salino, para posteriormente disminuir. Los tallos de las plantas tratadas con agua a 0,001 y 2,0 dS·m⁻¹ de conductividad eléctrica exhibieron mayor crecimiento en comparación a las plantas sometidas al resto de los tratamientos.

El efecto más común de la salinidad sobre las plantas es la reducción del crecimiento debido a una disminución del potencial osmótico del suelo, una toxicidad específica, normalmente asociada con la absorción excesiva de Na y Cl, un desequilibrio nutricional debido a la interferencia de estos iones con los nutrientes esenciales y la combinación de los efectos antes mencionados (Zhu, 2001).

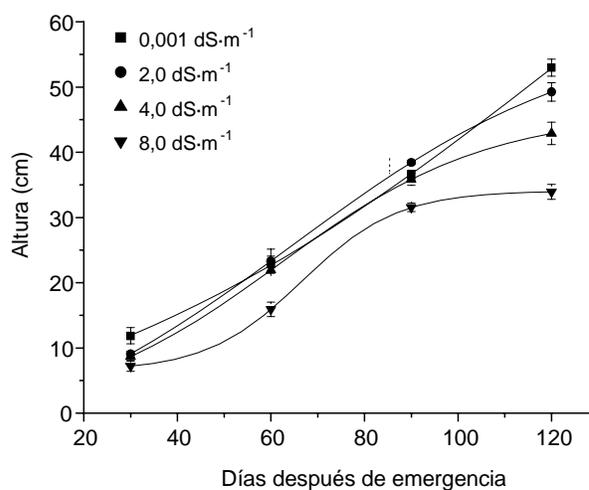


Figura 1. Efecto de la irrigación con NaCl, durante la fase juvenil de desarrollo, sobre la altura de plantas de papaya. Cada punto representa el promedio de 36 plantas \pm SE

Las ecuaciones logísticas de crecimiento, los coeficientes de determinación (R^2) y la significancia estadística correspondientes a la Figura 1 fueron las siguientes:

$$Y_{(\blacksquare)} = \frac{70,950}{1 + e^{-0,031(x - 94,076)}}; R^2 = 0,946^{***}$$

$$Y_{(\blacktriangle)} = \frac{43,786}{1 + e^{-0,052(x - 58,360)}}; R^2 = 0,996^{***}$$

$$Y_{(\bullet)} = \frac{50,091}{1 + e^{-0,039(x - 67,870)}}; R^2 = 0,994^{***}$$

$$Y_{(\nu)} = \frac{34,885}{1 + e^{-0,057(x - 59,058)}}; R^2 = 0,976***$$

En todos los casos, el estadístico R^2 , con valores entre 0,946 y 0,996 ($P \leq 0,001$), indica que el modelo de regresión utilizado fue capaz de explicar cabalmente la variabilidad del crecimiento de los tallos de las plantas de papaya sometidas a diferentes niveles de NaCl en el agua de riego.

En la Cuadro 1 se detallan los parámetros de crecimiento en términos de longitud de los tallos, obtenidos a partir de las ecuaciones de las curvas sigmoideas anteriormente señaladas. Como se observa, estos parámetros reflejan el efecto del aporte del NaCl al suelo a través del agua de riego; a medida que las plantas fueron sometidas a

mayor cantidad de la sal, la longitud teórica (C) de los tallos disminuyó significativamente al igual que la cantidad de días, tras la emergencia, en que ocurrió la máxima velocidad de crecimiento (M). A pesar de que la mayor aportación de NaCl tendió a causar un incremento en la tasa máxima de crecimiento (m), ésta no manifestó estadísticamente el efecto de los tratamientos (Cuadro 1).

Por otro lado, al finalizar la etapa de vivero, igualmente se observó un efecto negativo del estrés inducido por el NaCl sobre la biomasa promedio producida por las plantas, aunque sólo sobre la parte aérea (Cuadro 2). Sin embargo, al culminar la fase juvenil del desarrollo los tratamientos afectaron de manera generalizada la acumulación de biomasa en la planta.

Cuadro 1. Parámetros de crecimiento del tallo de plantas de papaya sometidas a diferentes niveles de conductividad eléctrica del agua de riego (E_{c_w}) durante la fase juvenil del desarrollo

| Parámetros de crecimiento | E_{c_w} (dS·m ⁻¹) | | | |
|---------------------------|---------------------------------|-----------|-----------|----------|
| | 0,001 | 2,0 | 4,0 | 8,0 |
| C (cm) | 70,950 a | 50,091 ab | 43,786 ab | 34,855 c |
| M (DTE) | 94,076 a | 67,870 ab | 58,360 b | 59,058 b |
| m (cm/día) | 0,482 a | 0,4872 a | 0,568 a | 0,500 a |

C: longitud final del tallo; M: tiempo en que ocurre la máxima velocidad de crecimiento expresado como el número de días tras la emergencia (DTE); m: máxima velocidad de crecimiento. Medias con la misma letra, dentro de filas, son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$)

Cuadro 2. Efecto de la conductividad eléctrica del agua de riego (E_{c_w}) sobre la biomasa seca aérea y radical de plantas de papaya al finalizar la etapa de vivero (EV) y la fase juvenil del desarrollo (ER)

| Tratamiento E_{c_w} (dS·m ⁻¹) | Biomasa (g) | | | |
|---|-------------|--------|----------|----------|
| | EV | | ER | |
| | Aérea | Raíz | Aérea | Raíz |
| 0,001 | 5,31 a | 3,74 a | 32,11 a | 29,51 a |
| 2,0 | 5,53 a | 3,53 a | 26,79 b | 25,96 ab |
| 4,0 | 5,02 ab | 3,78 a | 29,46 ab | 24,84 ab |
| 8,0 | 3,53 b | 3,09 a | 28,78 ab | 24,04 b |

Medias con la misma letra, dentro de columnas, son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$)

Durante la etapa de vivero, el tratamiento de mayor conductividad eléctrica (8,0 dS·m⁻¹) redujo la acumulación de biomasa aérea en un 33,5 % en comparación al tratamiento donde no se adicionó NaCl (0,001 dS·m⁻¹). Posteriormente, al finalizar la fase juvenil del desarrollo, se observó una recuperación de la biomasa aérea de las plantas sometidas al tratamiento más salino ya que la

reducción de biomasa fue sólo de un 10,4 %, en comparación al control; este comportamiento indica una adecuada recuperación por parte de las plantas, posiblemente como consecuencia de la puesta en marcha de varias estrategias para contrarrestar el efecto adverso del NaCl, tales como disminución de la superficie foliar, cambios en la succulencia del tallo o el ajuste osmótico, tal

como lo señala Viana et al. (2001).

De igual modo, se obtuvieron considerables reducciones del área foliar a consecuencia del efecto perjudicial del NaCl sobre esta variable de crecimiento, aunque sólo de forma posterior a la fase de vivero. Las plantas irrigadas con agua de 4,0 y 8,0 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ de conductividad eléctrica presentaron menor desarrollo de la lámina foliar, mientras que en los restantes niveles de salinidad ocurrió mayor expansión foliar al finalizar la fase juvenil del progreso del ensayo (Cuadro 3).

Estos resultados son consistentes con los reportados por otros estudios en los cuales se ha demostrado que el exceso de NaCl, aplicado a los sustratos, reduce el crecimiento y desarrollo de la papaya (Marler, 1994; Elder et al., 2000).

Cuadro 3. Efecto de la conductividad eléctrica del agua de riego (E_{c_w}) sobre el área foliar de plantas de papaya al finalizar la epata de vivero (EV) y la fase juvenil del desarrollo (ER).

| Tratamientos E_{c_w} ($\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$) | Área foliar (cm^2) | |
|---|-------------------------------|----------|
| | EV | ER |
| 0,001 | 1142,6 a | 4021,3 a |
| 2,0 | 1161,6 a | 4134,1 a |
| 4,0 | 1076,3 a | 3108,0 b |
| 8,0 | 1255,8 a | 3625,1 b |

Medias con la misma letra, dentro de columnas, son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey ($P\leq 0,05$)

El conjunto de variables de crecimiento evaluadas sugiere que el principal efecto de la salinidad sobre la planta fue inicialmente el osmótico, mediante el cual las sales disueltas disminuyen el potencial osmótico de la solución del suelo y consecuentemente la disponibilidad del agua para la planta, tal como señalan Ojeda y Pire (2011). Por otra parte, la mayor concentración de Na encontrada en el tejido foliar a consecuencia de la adición de NaCl (Cuadro 4) pudo también haber afectado la tasa de crecimiento de las plantas, de manera que lo más factible es que la disminución del crecimiento haya ocurrido como una respuesta a la combinación de los efectos osmótico y tóxico. Khoshgofarmanesh y Naeini (2008) señalan que el incremento en la concentración de Na a nivel foliar, acompañado de disminuciones en los contenidos de K (tal como ocurrió en este ensayo), pueden perturbar el equilibrio iónico de la planta y con ello el

crecimiento.

Se observó además, que las plantas que exhibieron las limitaciones más severas, en cuanto al crecimiento longitudinal, manifestaron, al final del período de evaluación, las mayores tasas de crecimiento del área de la sección transversal de tallo (Figura 2).

La disminución de la superficie de tejido foliar, al igual que el incremento en el área de la sección del tallo experimentado por las plantas de papaya bajo ambiente salino, podrían considerarse como estrategias, de índole morfológico, a la cual recurren algunas especies vegetales para contrarrestar los efectos negativos del NaCl. En este sentido se señala que la reducción del tejido foliar disminuye la pérdida de agua por transpiración, mientras que, el incremento en el espesor de los tejidos ocasiona dilución intracelular de la concentración de NaCl lo que alivia, en parte, el efecto negativo del estrés iónico u osmótico (Viana et al., 2001; Agarie et al., 2007).

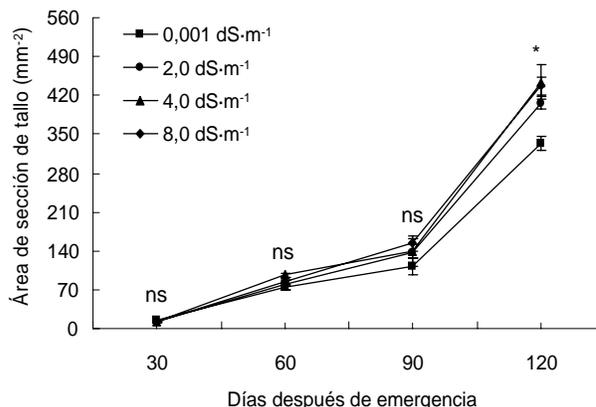


Figura 2. Evolución del área de la sección del tallo en plantas de papaya irrigadas con agua con diferentes concentraciones de NaCl. Cada punto representa la media \pm SE. $n=36$. ns: no significativo; *: diferencias significativas según la prueba de Tukey ($P\leq 0,05$)

De forma similar a lo ocurrido con las variables anteriores, la adición de NaCl afectó el contenido de clorofila de las plantas de papaya. Como se observa en la Figura 3, el contenido de clorofila fue significativamente reducido en las plantas tratadas con 8,0 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ de conductividad eléctrica en comparación al resto de los tratamientos, lo cual se manifestó a partir de los 90 días tras la emergencia.

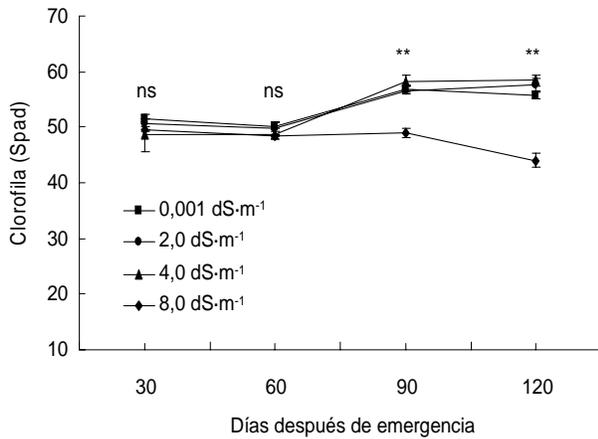


Figura 3. Evolución del contenido relativo de clorofila foliar en plantas de papaya irrigadas con agua con diferentes concentraciones de NaCl. Cada punto representa la media \pm SE. $n=36$. ns: no significativo; *: diferencias significativas según la prueba de Tukey ($P \leq 0,01$)

Las investigaciones sobre el efecto que provoca la salinidad en la concentración de pigmentos fotosintéticos son coincidentes, y tienden a revelar que tales afectaciones son fundamentalmente debidas a la destrucción de los

cloroplastos y/o la inactivación de enzimas responsables de la síntesis de pigmentos verdes (Argentel et al., 2009).

En cuanto al efecto del NaCl sobre el contenido de algunos elementos minerales a nivel del tejido foliar de las plantas de papaya, se confirma lo señalado por Atta-Aly et al. (1992), al concluir que los incrementos de la salinidad en la rizósfera tienen marcada influencia sobre el balance, movilidad y transporte de elementos minerales en el interior de la planta. Según los resultados, los contenidos de P, Ca, Mg y Mn no se alteraron con incrementos en la concentración de NaCl. En contraste, los niveles de K, Zn, Cu y Fe disminuyeron, mientras que los de N y Na incrementaron (Cuadro 4).

La reducción de la absorción de K en la planta por efecto del Na es un proceso competitivo entre estos dos elementos (Naeini et al., 2007). En este sentido, Cramer et al. (1990) señalaron que altos niveles de Na perturban la integridad de la membrana y promueve la disminución en los tenores de K. Así mismo, Cramer et al. (1985) hallaron que el Na desplaza al Ca desde la membrana plasmática hacia los espacios intercelulares, lo que permite que se incremente la absorción de Na en detrimento de la absorción de K.

Cuadro 4. Efecto del NaCl en el agua de riego (E_{c_w}) sobre el contenido nutricional de plantas de papaya al finalizar la fase juvenil del desarrollo.

| E_{c_w} ($dS \cdot m^{-1}$) | | | | | | | | | | |
|------------------------------------|-----------------------|-------|---------|-------|-------|----------|---------|--------|--------|--------|
| | N | P | K Ca Mg | | | Cu Zn Fe | | | Mn | Na |
| | (g·kg ⁻¹) | | | | | | | | | |
| 0,001 | 3,3 b | 0,5 a | 4,0 a | 2,3 a | 1,0 a | 3,0 a | 14,8 a | 166 a | 29,8 a | 0,1 c |
| 2,0 | 3,9 a | 0,5 a | 3,0 b | 2,9 a | 1,2 a | 2,5 a | 12,3 ab | 127 ab | 32,5 a | 0,5 bc |
| 4,0 | 3,9 a | 0,6 a | 2,7 b | 3,0 a | 1,3 a | 1,8 b | 9,0 b | 112 b | 33,3 a | 1,1 ab |
| 8,0 | 3,9 a | 0,7 a | 2,6 b | 2,9 a | 1,2 a | 1,3 b | 9,5 b | 114 b | 30,5 a | 1,5 a |
| Significancia | * | ns | * | ns | ns | * | * | ** | ns | * |

Medias con la misma letra, dentro de columnas, son iguales según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$ *; $P \leq 0,01$ **)

Estos resultados sugieren que las plantas de papaya var 'Maradol' al adicionárseles NaCl a través del agua de riego no son capaces de mantener los niveles de K foliar y en consecuencia este elemento no actúa como el principal catión monovalente osmorregulador. Por otro lado, el incremento de la relación Na/K con el aporte salino sugiere que el catión monovalente Na sustituyó al K en los sitios de enlaces, tal como lo señala Tester y Davenport (2003), y en consecuencia, se altera el normal funcionamiento fisiológico de las plantas (Cramer et al., 1985).

Además, este incremento en la relación Na/K es considerado como una respuesta de susceptibilidad a las altas concentraciones de NaCl por parte de las plantas (Niu et al., 1995; Tattini et al., 1995), debido a que no poseen un mecanismo de exclusión capaz de mantener alta selectividad por el K (Pérez-Alfocea et al., 1993).

Adicionalmente, la presencia de NaCl causó restricciones en la absorción de otros nutrientes (Cu, Zn y Fe). En tal sentido, se ha reportado que altos niveles de Na afectan la absorción de elementos minerales tales como Fe y Zn, ya sea

porque el Na interfiere con el transporte de iones a través de la membrana plasmática de la raíz o porque inhibe el crecimiento de la misma (Silberbush y Ben-Asher, 2001; Tester y Davenport, 2003). Jarrell y Beverly (1981) mencionaron que la salinidad afecta la absorción de algunos microelementos tales como el Fe y Zn al incrementar la concentración de Na en el tejido del vegetal.

La menor concentración de N en el tratamiento control puede ser atribuido a un efecto de dilución como consecuencia de la mayor biomasa generada por las plantas bajo esta condición salina, aunque Viégas et al. (2004) encontraron que la aplicación de NaCl induce el incremento de compuestos nitrogenados a través de un mecanismo aún desconocido.

La falta de respuesta presentada por los tenores de P y Mg a nivel foliar concuerda con los resultados obtenidos por Phills et al. (1979) y Prior et al. (1992) al evaluar la concentración de P en tomate y Mg en vid, respectivamente.

CONCLUSIONES

Las concentraciones de NaCl en el agua de riego superiores a $4,0 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ de conductividad eléctrica, afectan negativamente el crecimiento de las plantas de papaya 'Maradol'. Su efecto es más acentuado en la fase posterior a la de vivero.

El cultivar estudiado manifiesta modificaciones en la concentración de elementos minerales al ser tratado con aguas con contenido de NaCl superior a $2,0 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$.

La papaya 'Maradol' puede ser considerada como moderadamente tolerante al NaCl en el agua de riego, por manifestar un comportamiento aceptable al aplicar agua hasta con $4,0 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ de conductividad eléctrica.

LITERATURA CITADA

1. Acevedo, I. y R. Pire. 2004. Efectos del lombricompost como enmienda de un sustrato para el crecimiento del lechosoero (*Carica papaya* L.). *Interciencia* 29(5): 274-279.
2. Agarie, S., T. Shimoda, Y. Shimizu, K. Baumann, H. Sunagawa, A. Kondo, O. Ueno, T. Nakahara, A. Nose y J. Cushman. 2007. Salt tolerant, salt accumulation, and ionic

homeostasis in an epidermal bladder-cell-less mutant of the common ice plant *Mesembryanthemum crystallinum*. *Journal of Experimental Botany* 58(8): 1957-1967.

3. Aiuzzi, M., P. Carpane y C. Deza. 2005. Efecto de la salinidad sobre el crecimiento de plantas de *Atriplex cordobensis* Gandoger et Stuckert originadas de semillas de distinta procedencia. *Multequina* 14: 39-46.
4. Argentel, L., D. López, L. González, R. López, E. Gómez, R. Girón e I. Fonseca. 2009. Contenido de clorofila e iones en la variedad de trigo harinero Cuba-C-204 en condiciones de estrés salino. *Cultivos Tropicales* 30(4): 32-37.
5. Atta-Aly, M., M. Saltveit y A. El-Beltagy. 1992. Effect of salt stress on the vegetative growth and development of tomato plants. *Acta Horticulturae* 323: 401-410.
6. Costa, J., M. Bosch y A. Blanco. 1995. Growth and cropping of 'Blanquilla' pear trees treated with paclobutrazol. *Journal of Horticultural Science* 70(3): 433-443.
7. Cramer, G., A. Läuchli y V. Polito. 1985. Displacement of Ca^{2+} by Na^{+} from the plasmalemma of root cells: a primary response stress salt? *Plant Physiology* 79(1): 207-211.
8. Cramer, G., A. Läuchli y E. Epstein. 1990. Effects of sodium, potassium and calcium on salt-stresses barley. I. Growth analysis. *Physiology Plantarum* 80(1): 83-88.
9. Demiral, A. 2005. Comparative response of two olive (*Olea europaea* L.) cultivars to salinity. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* 29(4): 267-274.
10. Elder, R., B. Macleod, K. Bell, J. Tyas y R. Gillespie. 2000. Growth, yield and phenology of two hybrids of papaya (*Carica papaya* L.) as influenced by method of water application. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 40(5): 739-746.
11. Jarrell, W. y R. Beverly. 1981. The dilution effect in plant nutrition studies. *Advances in Agronomy* 34: 197-224.
12. Khoshgoftarmanesh, H. y B. Naeini. 2008. Salinity effect on concentration, uptake, and relative translocation of mineral nutrients in four olive cultivars. *Journal of Plant Nutrition* 31(7): 1243-1256.

13. Makhija, M. y P. Jindal. 1983. Effect of different soil salinity levels on seed germination and seedling growth in papaya. *Seed Research* 11: 125-130.
14. Marler, T. 1994. Papaya. *In*: B. Schaffer y P. Andersen (eds.). *Handbook of Environmental Physiology of Fruit Crops*. Vol. II. CRC Press. Boca Raton, FL. pp. 216-224.
15. Meiri, A. 1984. Plant response to salinity. Experimental methodology and application to the field. *In*: I. Shainberg y J. Shalhevet. (eds.). *Soil Salinity under Irrigation Processes and Management*. Springer-Verlag. Berlin. pp. 284-297.
16. Munns, R., R. James y A. Läuchli. 2006. Approaches to increasing the salt tolerance of wheat and other cereals. *Journal of Experimental Botany* 57(5): 1025-1043.
17. Naeini, M., A. Khoshgoftarmanesh y A. Fallaci. 2007. Partitioning of chlorine, sodium, and potassium and shoot growth of three pomegranate cultivars under different levels of salinity. *Journal of Plant Nutrition* 29(10): 1835-1843.
18. Niu, X., R. Bressan, P. Hasegawa y J. Pardo. 1995. Ion homeostasis in NaCl stress environments. *Plant Physiology* 109(3): 735-742.
19. Ojeda, M. y R. Pire. 2011. Efecto de la salinidad en dos portainjertos de vid cultivados a pie franco o injertados. *Revista Fitotecnia Mexicana* 34(1): 43-52.
20. Pérez Alfocea, F., M. Estaño, M. Caro y M. Bolarín. 1993. Response of tomato cultivars to salinity. *Plant and Soil* 150(2): 203-211.
21. Phills, B., G. Macdonald y R. Robinson. 1979. Differential response of *Lycopersicum* and *Solanum* species to salinity. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 104: 349-352.
22. Prior, L., A. Greive y B. Cullis. 1992. Sodium chlorine and soil texture interactions in irrigated field growth sultana grapevines: II. Plant mineral content, growth and physiology. *Australian Journal of Agricultural Research* 43(5): 1067-1083.
23. Silberbush, M. y J. Ben-Asher. 2001. Simulation study of nutrient uptake by plants from soils cultures as affected by salinity buildup and transpiration. *Plant and Soil* 233(1): 59-69.
24. Szabolcs, I. 1994. Soil and salinization. *In*: M. Pessarakli (ed.) *Handbook of Plant and Crop Stress*. Marcel Dekker. N.Y. pp. 3-11.
25. Tattini, M., R. Gucci, M. Coradeschi, C. Poncio y J. Everard. 1995. Growth, gas exchange and ion content in *Olea europaea* plants during salinity stress and subsequent relief. *Physiology Plantarum* 95(2): 203-210.
26. Tester, M. y R. Davenport. 2003. Na⁺ tolerance and Na⁺ transport in higher plants. *Annals of Botany* 91(5): 503-527.
27. Turhan, E. y A. Eris. 2007. Growth and stomatal behaviour of two strawberry cultivars under long-term salinity stress. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* 31(1): 55-61.
28. Viana, A., C. Horst Bruckner, E. Prieto Martínez, C. Martínez Huaman y P. Mosquim. 2001. Características fisiológicas de portainjertos de videira em solução salina. *Scientia Agrícola* 58(1): 139-143.
29. Viégas, R., M. Fausto, J. Queiroz, M. Iza, J. Silveira y R. Viégas. 2004. Growth and total-N content of *Prosopis juliflora* (SW) D. C. are stimulated by low NaCl levels. *Brazilian Journal of Plant Physiology* 16(1): 65-68.
30. Villafañe, R. 2011. Sosalriego: un procedimiento para diagnosticar los riesgos de sodificación y salinización del suelo con el agua de riego. *Bioagro* 23(1): 57-64.
31. Yetisir, H. y V. Uygur. 2009. Plant growth and mineral element content of different gourd species and watermelon under salinity stress. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* 33(1): 65-77.
32. Zhu, J. 2001. Plant Salt Tolerance. *Trends in Plant Science* 6: 66-71.