

Cloruro de sodio sobre biomasa seca y absorción de cationes macronutrientes en cempasúchil (*Tagetes erecta* Linn.)*

Sodium chloride on dry biomass and macronutrient cations absorption in cempasúchil (*Tagetes erecta* Linn.)

Libia Iris Trejo-Téllez^{1§}, María Guadalupe Peralta Sánchez¹, Fernando Carlos Gómez-Merino³, María de las Nieves Rodríguez-Mendoza¹, Miguel Ángel Serrato-Cruz⁴ y Ángel Enrique Arévalo-Becerril²

¹Colegio de Postgraduados Campus Montecillo. Carretera México-Texcoco km. 36.5, Montecillo, Mpio. de Texcoco, Estado de México. C. P. 56230. ²Depto. de Suelos. Universidad Autónoma Chapingo. Carretera México-Texcoco km 38.5, Montecillo, Mpio. de Texcoco, Estado de México. C. P. 56230. ³Colegio de Postgraduados Campus Córdoba. Carretera Córdoba-Veracruz km. 348, Congr. Manuel León, Mpio. Amatlán de los Reyes, Veracruz. C. P. 94946. ⁴Depto. de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Carretera México-Texcoco km 38.5, Montecillo, Texcoco, Estado de México. C. P. 56230. México. [§]Autora para correspondencia: tlibia@colpos.mx.

Resumen

El objetivo de esta investigación fue evaluar la adición de dos concentraciones de NaCl (10 y 47 mM) a la solución nutritiva sobre producción de biomasa, concentración y acumulación de K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ y Na⁺ en flores, hojas, tallos y raíces de cempasúchil (*Tagetes erecta* Linn.) cv. Inca durante la fase de floración. Las plantas fueron establecidas en invernadero en macetas de plástico usando como sustrato una mezcla de tezontle:perlita (60:40, v:v). Las soluciones nutritivas con las dos concentraciones de NaCl se suministraron mediante un sistema de riego por goteo. La adición de 47 mM de NaCl redujo la biomasa seca de flores y tallos, en comparación con el tratamiento de 10 mM; estas reducciones fueron del 42.6 y 16.5%, respectivamente. Las concentraciones de K⁺, Ca²⁺ y Mg²⁺ en hojas no fueron afectadas por la concentración de NaCl en la solución nutritiva, aunque la acumulación de K⁺, Ca²⁺ y Mg²⁺ en flores, hojas y tallos fue reducida significativamente con el aumento en la concentración de NaCl en la solución. La concentración y acumulación de Na⁺ en todos los órganos tuvo una relación positiva con la concentración de NaCl y se aprecia capacidad de exclusión de Na⁺ de las hojas, al presentar éstas los menores valores de concentración y acumulación, en comparación con otros

Abstract

The objective of this research was to evaluate the addition of two concentrations of NaCl (10 and 47 mM) to the nutrient solution on biomass production, concentration and accumulation of K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ and Na⁺ in flowers, leaves, stems and roots of cempasúchil (*Tagetes erecta* Linn.) cv. Inca during the flowering phase. The plants were established in the greenhouse in plastic pots using as substrate a mixture of tezontle: perlite (60:40, v: v). Nutrient solutions with both concentrations of NaCl were supplied by a dripping irrigation system. The addition of 47 mM of NaCl reduced the dry biomass of flowers and stems, compared with the 10 mM treatment, these reductions were 42.6 and 16.5%, respectively. The concentrations of K⁺, Ca²⁺ and Mg²⁺ in leaves were not affected by the NaCl concentration in the nutrient solution, although the accumulation of K⁺, Ca²⁺ and Mg²⁺ in the flowers, leaves and stems was significantly reduced with an increased NaCl concentration in the solution. The concentration and accumulation of Na⁺ in all organs had a positive relationship with the concentration of NaCl and the ability of Na⁺ exclusion from leaves it's easily observed, introducing these lower values of concentration and accumulation, compared with other organs. While it had

* Recibido: noviembre de 2012
Aceptado: marzo de 2013

órganos. Si bien se tuvieron bajas concentraciones de Na^+ en flores, en comparación con el resto de los órganos, los valores de acumulación de este elemento en flores fueron sólo menores a los de raíces.

Palabras clave: acumulación, concentración de cationes, calcio, potasio, magnesio.

Introducción

La salinidad en agua y suelos es un factor limitante en la agricultura de hoy día. A nivel mundial se considera que existen más de 890 millones de hectáreas afectadas por salinidad en diferentes grados, lo que representa aproximadamente 6% de la superficie total mundial. En México, 10% de la superficie irrigada está afectada por sales (Ruiz *et al.*, 2007).

La concentración excesiva de sales solubles en el medio de crecimiento de las plantas, ocasiona estrés osmótico, mismo que altera las relaciones hídricas de la planta, la absorción y utilización de nutrimentos; y ocasiona acumulación de iones tóxicos (Munns, 2002). El cloruro de sodio (NaCl) constituye la principal fuente de estrés salino, y se calcula que cerca de 10% de la tierra cultivable y 24% de las zonas de riego son afectadas por la salinidad que ocasiona (Pessaraki y Szabolcs, 2010). Los iones Na^+ son tóxicos para la mayoría de las plantas, y en algunas de ellas el crecimiento también es inhibido por altas concentraciones de iones Cl^- (Zhu, 2007), por lo que es necesario realizar evaluaciones de diversas especies y cultivares a este agente de estrés abiótico.

La familia Asteraceae incluye especies vegetales que presentan una amplia variación de formas de vida, y que se adaptan a diversas condiciones de suelo y clima (Rodríguez-Elizalde *et al.*, 2010), como el cempasúchil (*Tagetes erecta* Linn.), especie tolerante a algunas plagas y enfermedades, gracias a que produce compuestos fenólicos con poder larvicida efectivo contra *Culex quinquefasciatus* (Nikkon *et al.*, 2011). Además, Bosiacki y Wojciechowska (2012) reportan hiperacumulación de Ni en *T. erecta*, con concentraciones foliares de este elemento de 212 mg kg^{-1} de materia seca.

El cultivar Chokdee de *T. erecta* mostró alta tolerancia a la sequía, misma que fue correlacionada con la eliminación de radicales libres de oxígeno y con el mantenimiento

low concentrations of Na^+ in the flowers, compared with other organs, the accumulation value of this elements in the flowers were just under the root.

Key words: accumulation, concentration of cations, calcium, potassium, magnesium.

Introduction

Water and soil salinity is a limiting factor in agriculture today. Worldwide, it is considered that there are more than 890 million hectares affected by salinity to varying degrees, representing approximately 6% of the world total. In Mexico, 10% of the irrigated area is affected by salts (Ruiz *et al.*, 2007).

Excessive concentration of soluble salts in the growth medium of the plants causes an osmotic stress; it alters the water relations of the plant, the absorption and utilization of nutrients, and accumulation of toxic ions (Munns, 2002). Sodium chloride (NaCl) is the main source of salt stress, and it is estimated that about 10% of the arable-land and 24% of the irrigated areas are affected by salinity (Pessaraki and Szabolcs, 2010). Na^+ ions are toxic to most of the plants, and in some other, the growth is also inhibited by high concentrations of Cl^- ions (Zhu, 2007), so it is necessary to conduct assessments of various species and cultivars to this abiotic stress agent.

The Asteraceae family includes plant species that have a wide variation of life forms, and adapted to different soil and climatic conditions (Rodríguez-Elizalde *et al.*, 2010), such as cempasúchil (*Tagetes erecta* Linn.) tolerant species to some pests and diseases, thanks to phenolic compounds to produce effective larvicide against *Culex quinquefasciatus* (Nikkon *et al.*, 2011). Furthermore, Bosiacki and Wojciechowska (2012) reported Ni hyperaccumulation in *T. erecta* with foliar concentration of this element at 212 mg kg^{-1} of dry matter.

The cultivar Chokdee of *T. erecta* showed high tolerance to drought, correlated with the removal of oxygen free radicals and the maintenance of low lipid peroxidation as well as high stability of the membrane by increasing the antioxidant activity of both from enzymatic nature as none enzymatic as well (Tian *et al.*, 2012). Among the cultivars of this species different responses to salinity have been

de una baja peroxidación lipídica, así como una alta estabilidad de la membrana por incremento en la actividad antioxidante tanto de naturaleza enzimática como no enzimática (Tian *et al.*, 2012). Entre cultivares de ésta especie se observan diferentes respuestas a la salinidad. El cultivar First Lady es moderadamente tolerante a salinidad, dado que las plantas muestran síntomas de toxicidad sólo cuando la conductividad eléctrica de una solución de NaCl + CaCl₂ excede 7.9 dS m⁻¹ (Huang y Cox, 1988). Valdez-Aguilar *et al.* (2009a) reportan que los cultivares Flagstaff y Yellow Climax de *T. erecta* tienen un crecimiento aceptable con valores de conductividad eléctrica de la solución del suelo de 3.64 dS m⁻¹, clasificándose como cultivares sensibles.

Recientemente, Escalona *et al.* (2012) reportaron que la salinidad afecta el crecimiento de esta especie, aunque no observaron síntomas específicos de toxicidad, por lo que *Tagetes* se puede considerar como una planta útil para programas de revegetación de superficies con problemas de salinidad, limitante que se está incrementando en México. Pese a esta importancia, poco se ha investigado sobre la variabilidad genotípica y el balance nutrimental en esta especie, por lo que el objetivo de esta investigación fue evaluar de la tolerancia a la salinidad por NaCl del cv. Inca en la fase de floración. Dado que la salinidad puede afectar algunas variables fisiológicas y nutrimentales, se consideraron como variables respuesta la biomasa seca de flores, hojas, tallos y raíces, así como las concentraciones y acumulaciones de macronutrientes que son absorbidos por la planta como cationes (K⁺, Ca²⁺ y Mg²⁺) y de sodio (Na⁺).

Materiales y métodos

La investigación se realizó en un invernadero con ventilación cenital de 5 x 10 m y paredes laterales de 2 m de altura. Se utilizaron plántulas de cempasúchil (*Tagetes erecta* Linn.) var. Inca, adquiridas con la empresa Plántulas de Tetela. Las plántulas de entre 6 y 7 cm de altura, fueron trasplantadas a macetas de plástico negras de 1 L de capacidad, conteniendo como sustrato una mezcla de tezontle:perlita (60:40, v:v).

Después del trasplante, las plántulas fueron regadas con agua de la llave (pH 7.3 y CE de 0.37 dS m⁻¹) durante siete días. Posteriormente fueron regadas con la solución

observada. The First Lady cultivar is moderately salinity tolerant since the plants show symptoms of toxicity only when the electrical conductivity of a NaCl + CaCl₂ solution exceeds 7.9 dS m⁻¹ (Huang and Cox, 1988). Valdez-Aguilar *et al.* (2009a) reported that cultivars Flagstaff and Yellow Climax of *T. erecta* have decent growth values of electrical conductivity of the soil solution of 3.64 dS m⁻¹, classified as sensitive cultivars.

Recently, Escalona *et al.* (2012) reported that salinity affect the growth of this species, although no specific signs of toxicity were observed, so *Tagetes* can be considered as a useful plant for vegetation programs surfaces with salinity problems, limitation that is increasing in Mexico. Despite this importance, little has been investigated on genotypic variability and nutrient balance in this species, so that the objective of this research was to evaluate the tolerance to NaCl salinity of cv. Inca in the flowering phase. Since salinity can affect physiological and nutritional variables, as response variables were considered dry biomass of flowers, leaves, stems and roots, and the concentrations and accumulations of macronutrients that are absorbed by the plant as cations (K⁺, Ca²⁺ and Mg²⁺) and sodium (Na⁺).

Materials and methods

The research was conducted in a greenhouse with roof ventilation of 5 x 10 m and side walls 2 m high. Seedlings between 6 and 7 cm were transplanted into black plastic pots 1 L capacity, as a substrate containing a mixture of tezontle: perlite (60:40, v: v).

After transplanting, the seedlings were irrigated with tap water (pH 7.3 and EC of 0.37 dS m⁻¹) for seven days. They were irrigated with nutrient solution of Steiner at 25% (Steiner, 1984) with the following concentrations (mol_c m⁻³): 3 of NO₃⁻, 0.25 of H₂PO₄⁻, 1.75 of SO₄²⁻, 1.75 of K⁺, 2.25 of Ca²⁺ and 1 Mg²⁺. This nutrient solution was supplemented with micronutrients from Tradecorp AZ™ commercial product in the following concentrations (mg L⁻¹): 5 Fe, 2.33 Mn, 0.47 Zn, 0.19 Cu, 0.43 B and 0.17 Mo.

The nutrient solution (pH adjusted to 5.5) was supplied via dripping irrigation system. The nutrient solution was stored in 200 liter drums connected to PVC hydraulic tubing 1" (2.54 cm). Each dropper adapters had two outputs, each with a stake Tubin and were placed in each pot. Irrigation

nutritiva de Steiner a 25% (Steiner, 1984) con las siguientes concentraciones ($\text{mol}_e \text{m}^{-3}$): 3 de NO_3^- ; 0.25 de H_2PO_4^- ; 1.75 de SO_4^{2-} ; 1.75 de K^+ ; 2.25 de Ca^{2+} y 1 de Mg^{2+} . Esta solución nutritiva fue complementada con micronutrientes a partir del producto comercial Tradecorp AZ™ en las siguientes concentraciones (mg L^{-1}): 5 de Fe; 2.33 de Mn; 0.47 de Zn; 0.19 de Cu; 0.43 de B y 0.17 de Mo.

La solución nutritiva (pH ajustado a 5.5) fue suministrada a través de un sistema de riego por goteo. La solución nutritiva fue almacenada en tambos de 200 L a los cuales se conectaron tubos de PVC hidráulico de 1" (2.54 cm). Cada gotero tuvo adaptadores de dos salidas, cada una con un tubín y estaca que fueron colocados en cada maceta. Los riegos fueron programados usando un temporizador y abastecidos con bombas de ½ HP. Se aplicaron dos riegos al día con un volumen de 150 mL cada uno.

Cuando se presentó la floración (49 días después del trasplante), se inició la aplicación de los tratamientos, agregando 10 ó 47 mM de NaCl a la solución nutritiva de Steiner a 25% complementada con micronutrientes antes referida. Se realizó una poda a los 31 días después del trasplante, desbotando todas las plantas. La solución nutritiva con la adición de 10 mM de NaCl tuvo una conductividad eléctrica teórica de 1.25 dS m^{-1} ; mientras que en el tratamiento con 47 mM fue de 5.25 dS m^{-1} . Cabe aclarar que la adición de 10 mM de NaCl (1.25 dS m^{-1}) no causa daños ni afectaciones significativas de ningún tipo en esta especie (Valdez-Aguilar *et al.*, 2009b), y por lo tanto puede considerarse como un tratamiento de referencia. El diseño experimental empleado fue completamente al azar, y cada uno de los tratamientos tuvo 32 repeticiones. La unidad experimental consistió en una maceta con una planta.

Después de 30 días de iniciar los tratamientos, aún en etapa de floración, las plantas fueron seccionadas en flores, hojas, tallos y raíces (se eliminó el sustrato y éstas fueron enjuagadas con agua destilada) y secadas en una estufa de aire forzado a 70°C por 72 h para determinar la biomasa seca. Las muestras secas fueron molidas en un molino de acero inoxidable marca Wiley Modelo 4 con tamiz de 40 mallas (0.425 mm). Las concentraciones de K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} y Na^+ fueron determinadas por digestión húmeda del material seco con una mezcla de ácidos perclórico y nítrico (Alcántar y Sandoval, 1999). La lectura de los extractos obtenidos después de la digestión y filtrado se determinó en un equipo de espectroscopía de emisión atómica de inducción por plasma ICP-OES Varian

was scheduled using a timer and supplied with ½ HP pumps. Two irrigations were applied daily with a volume of 150 mL each.

When flowering (49 days after transplanting), we started applying the treatments, adding 10 to 47 mM NaCl to Steiner nutrient solution supplemented at 25% micronutrients aforementioned. Pruning was performed at 31 days after transplantation, des-blossoming all the plants. The nutrient solution with the addition of 10 mM NaCl had an electrical conductivity of $1.25 \text{ theoretical dS m}^{-1}$, while in the treatment with 47 mM was 5.25 dS m^{-1} . It is clear that the addition of 10 mM NaCl (1.25 dS m^{-1}) is not harmful or significantly affected whatsoever in this species (Valdez-Aguilar *et al.* 2009b), and therefore can be considered as a treatment for reference. The experimental design was completely randomized, and each treatment had 32 replications. The experimental unit consisted of a potted plant.

After 30 days, even in flowering stage, the plants were sectioned into flowers, leaves, stems and roots (the substrate was removed and rinsed them with distilled water privileges) and dried in a forced air oven at 70°C for 72 h to determine the dry biomass. The dried samples were ground in a stainless steel mill Wiley Model 440 (0.425 mm). The concentrations of K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} and Na^+ were determined by wet digestion of dried material with a mixture of nitric and perchloric acids (Alcántar and Sandoval, 1999). The readings in the extracts obtained after digestion and filtrate was determined using an atomic emission spectroscopy ICP-OES Varian model 725-ES. The accumulation of K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} and Na^+ in flowers, leaves, stems and roots was obtained from the data of nutrient concentration and dry biomass weight previously determined.

The data were statistically analyzed according to the experimental design, using analysis of variance (ANOVA) (SAS, 2010). Means were compared with Tukey's test ($p \leq 0.05$).

Results

Dry biomass

Dry biomass of flowers and stems was significantly less in the treatment with the application of 47 mM NaCl (5.25 dS m^{-1}) compared with the supply of 10 mM (1.25 dS m^{-1}). In

modelo 725-ES. La acumulación de K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} y Na^+ en flores, hojas, tallos y raíces se obtuvo a partir de los datos de concentración nutrimental y peso de biomasa seca previamente determinados.

Los datos obtenidos se analizaron estadísticamente de acuerdo al diseño experimental empleado, usando análisis de varianza (ANOVA) del paquete estadístico SAS (SAS, 2010). Las medias se compararon con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$).

Resultados

Biomasa seca

La biomasa seca de flores y tallos fue significativamente menor en el tratamiento con la aplicación de 47 mM de NaCl (5.25 dS m^{-1}) en comparación con el suministro de 10 mM (1.25 dS m^{-1}). En flores esta reducción fue 42.6%; mientras que en tallos 16.5% (Figura 1). No se observaron diferencias estadísticas en peso seco de hojas y raíces, con valores promedio de 0.74 y 0.40 g respectivamente.

Concentración y acumulación de K

El orden de concentración de K^+ fue diferente entre tratamientos. En plantas tratadas con 47 mM de NaCl la mayor concentración de K^+ fue registrada en hojas, seguida de flores, tallos y raíces (Figura 2 A). En todos los órganos existieron diferencias estadísticas en la concentración de K, con excepción de las hojas. En tallos y raíces, la relación entre la concentración de K^+ y la concentración de NaCl en la solución nutritiva fue negativa; es decir, a mayor concentración de NaCl en la solución nutritiva la concentración de K^+ es menor. En flores, por el contrario, la concentración de K^+ aumentó cuando la concentración de la NaCl en la solución nutritiva fue mayor (Figura 2 A).

El orden de acumulación de K^+ en ambos tratamientos de NaCl fue el siguiente flores > hojas > tallos > raíces. La acumulación de K^+ en todos los órganos evaluados mostró diferencias significativas, observándose que la mayor concentración de NaCl en la solución nutritiva, redujo significativamente la concentración de K^+ en éstos (Figura 2 B).

flowers, the reduction was 42.6%, while in the stems 16.5% (Figure 1). No statistical differences were observed in dry weight of leaves and roots, with average values of 0.74 and 0.40 g respectively.

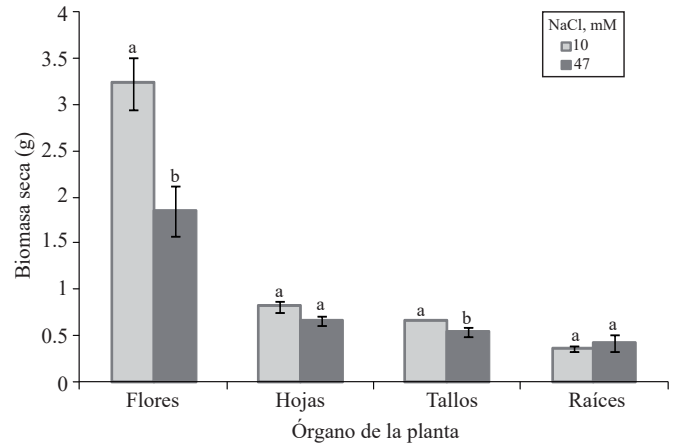


Figura 1. Biomasa seca de flores, hojas, tallos y raíces de compasúchil (*Tagetes erecta* Linn.) cv. Inca en fase de floración después de 30 días de tratamiento con dos concentraciones de NaCl. Medias \pm desviación estándar, con letras distintas en cada órgano indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, $p \leq 0.05$) entre tratamientos.

Figure 1. Dry biomass of flowers, leaves, stems and roots of compasúchil (*Tagetes erecta* Linn.) cv. Inca, flowering stage after 30 days of treatment with two concentrations of NaCl. Means \pm standard deviation, with different letters in each organ indicate statistically significant differences (Tukey, $p \leq 0.05$) between treatments.

Concentration and accumulation of K

The order of K^+ concentration was different between treatments. In plants treated with 47 mM NaCl as K^+ concentration was recorded in leaves, followed by flowers, stems and roots (Figure 2 A). In all the organs there were no statistical differences in the concentration of K, except for the leaves. In stems and roots, the relationship between K^+ concentration and the concentration of NaCl in the nutrient solution was negative, that is, a higher concentration of NaCl in the nutrient solution the concentration of K^+ is smaller. In flowers, however, the concentration of K^+ increased when the concentration of NaCl in the nutrient solution was higher (Figure 2 A).

The order of accumulation of K^+ in both NaCl treatments was the next flowers > leaves > stems > roots. The accumulation of K^+ in all organs tested showed significant differences,

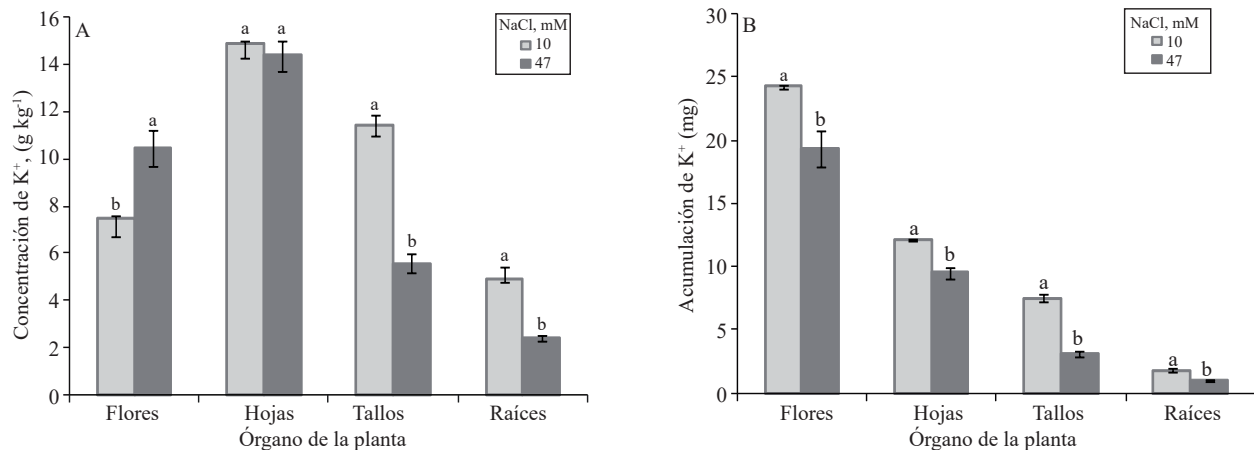


Figura 2. Concentración (A) y acumulación (B) de potasio en flores, hojas, tallos y raíces de cempasúchil (*Tagetes erecta* Linn.) cv. Inca en fase de floración después de 30 días de tratamiento con dos concentraciones de NaCl. Medias \pm DE con letras distintas en cada órgano indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, $p \leq 0.05$) entre tratamientos.

Figure 2. Concentration (A) and accumulation (B) of potassium in flowers, leaves, stems and roots of cempasúchil (*Tagetes erecta* Linn.) Cv. Inca, flowering stage after 30 days of treatment with two concentrations of NaCl. Mean \pm standard deviation with different letters in each organ indicate statistically significant differences (Tukey, $p \leq 0.05$) between treatments.

Concentración y acumulación de Ca

En hojas y raíces no existieron diferencias estadísticas entre tratamientos en la concentración de Ca. En flores y tallos con la mayor concentración de NaCl en la solución nutritiva se tuvieron las menores concentraciones de Ca²⁺ (Figura 3 A). El orden de concentración de Ca, independientemente del nivel de NaCl adicionado fue como sigue: hojas > raíces > tallos > flores.

La mayor acumulación de Ca²⁺ se registró en hojas, independientemente de la concentración de NaCl adicionada a la solución nutritiva. En hojas, flores y tallos existieron diferencias estadísticas significativas en la acumulación de Ca²⁺ entre tratamientos; existiendo una relación inversa entre acumulación de Ca²⁺ y NaCl en la solución nutritiva; es decir, mayor acumulación de Ca²⁺ cuando la concentración de NaCl fue menor. En raíces, la acumulación de Ca²⁺ no fue afectada por la concentración de NaCl adicionada en la solución nutritiva (Figura 3 B).

Concentración y acumulación de Mg

La concentración de Mg²⁺ en los órganos de cempasúchil no fue afectada por los tratamientos con NaCl (Figura 4 A). En la acumulación de Mg²⁺, existieron diferencias estadísticas significativas en flores, hojas y tallos, y se observó una relación negativa entre ésta y la concentración de NaCl en la solución nutritiva; es decir, con la mayor concentración de NaCl en la solución nutritiva se registró la menor acumulación de Mg²⁺ (Figura 4 B).

noting that the highest concentration of NaCl in the nutrient solution significantly reduced the K⁺ concentration in the latter (Figure 2B).

Concentration and accumulation of Ca

In leaves and roots, there were no statistical differences between treatments in the concentration of Ca in flowers and stems with the highest concentration of NaCl in the nutrient solution had the lowest concentrations of Ca²⁺ (Figure 3A). The order of concentration of Ca, regardless of the level of NaCl was added as follows: leaves > roots > stems > flowers.

The highest accumulation of Ca²⁺ was recorded in the leaves, regardless of the concentration of NaCl added to the nutrient solution. In leaves, flowers and stems there were no statistical differences in the accumulation of Ca²⁺ between treatments, there is an inverse relationship between the accumulation of Ca²⁺ and NaCl in the nutrient solution, *i.e.*, higher accumulation of Ca²⁺ when the concentration of NaCl was lower. In roots, the accumulation of Ca²⁺ was not affected by added NaCl concentration in the nutrient solution (Figure 3B).

Concentration and accumulation of Mg

The concentration of Mg²⁺ in Cempaxóchitl's organs was not affected by treatment with NaCl (Figure 4A). In the accumulation of Mg²⁺, there were statistically significant differences in flowers, leaves and stems, and there was a negative relationship between it and the NaCl concentration

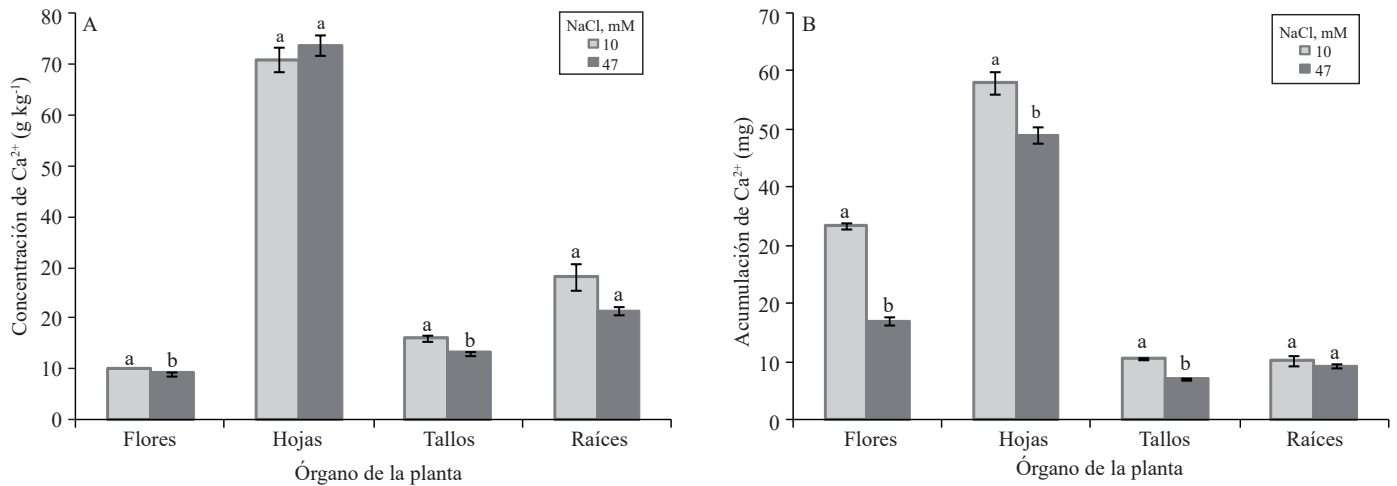


Figura 3. Concentración (A) y acumulación (B) de calcio en flores, hojas, tallos y raíces de compasúchil (*Tagetes erecta* Linn.) cv. Inca en fase de floración después de 30 días de tratamiento con dos concentraciones de NaCl. Medias ± DE con letras distintas en cada órgano indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, $p \leq 0.05$) entre tratamientos.

Figure 3. Concentration (A) and accumulation (B) of calcium in flowers, leaves, stems and roots of compasúchil (*Tagetes erecta* Linn.) Cv. Inca, flowering stage after 30 days of treatment with two concentrations of NaCl. Mean ± standard deviation with different letters in each organ indicates statistically significant differences (Tukey, $p \leq 0.05$) between treatments.

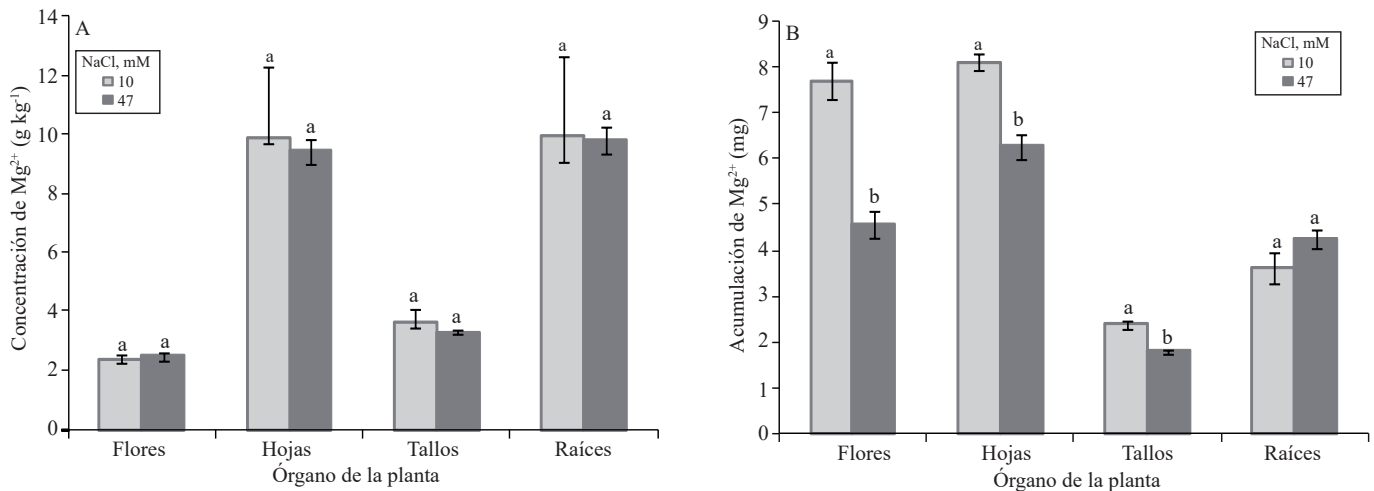


Figura 4. Concentración (A) y acumulación (B) de magnesio en flores, hojas, tallos y raíces de compasúchil (*Tagetes erecta* Linn.) cv. Inca en fase de floración después de 30 días de tratamiento con dos concentraciones de NaCl. Medias ± DE con letras distintas en cada órgano indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, $p \leq 0.05$) entre tratamientos.

Figure 4. Concentration (A) and accumulation (B) of magnesium in flowers, leaves, stems and roots of compasúchil (*Tagetes erecta* Linn.) Cv. Inca, flowering stage after 30 days of treatment with two concentrations of NaCl. Mean ± standard deviation with different letters in each organ indicates statistically significant differences (Tukey, $p \leq 0.05$) between treatments.

Concentración y acumulación de Na

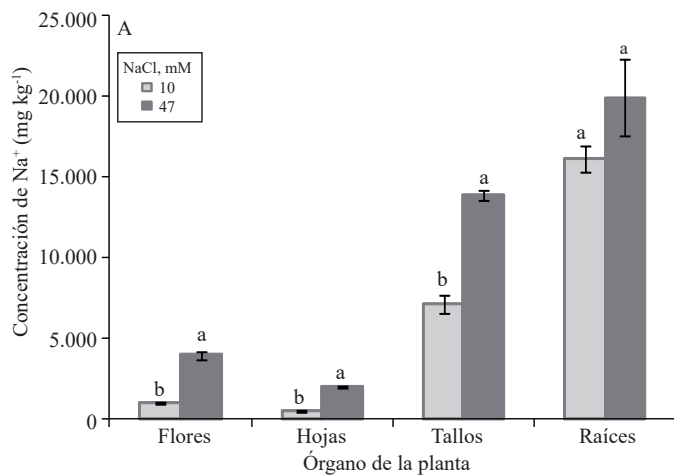
En tallos, hojas y flores se tuvieron diferencias estadísticas significativas en la concentración de Na⁺ entre tratamientos, observándose que con la mayor concentración de NaCl adicionada a la solución nutritiva se registra la mayor concentración de este elemento en todos los órganos evaluados (Figura 5A). La acumulación de Na⁺ en todos los órganos fue mayor con la concentración de 47 mM de NaCl

in the nutrient solution, *i.e.*, with the highest concentration of NaCl in the nutrient solution was recorded the lower accumulation of Mg²⁺ (Figure 4B).

Concentration and accumulation of Na

In stems, leaves and flowers there were statistically significant differences in the concentration of Na⁺ between treatments, showing that with the highest concentration

en la solución nutritiva. Se destaca la menor acumulación de este elemento en hojas (Figura 5B), contrario a lo observado para los nutrimentos K^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} .



of NaCl added to the nutrient solution has the highest concentration of this element in all organs tested (Figure 5A). The accumulation of Na^+ in all organs was higher with

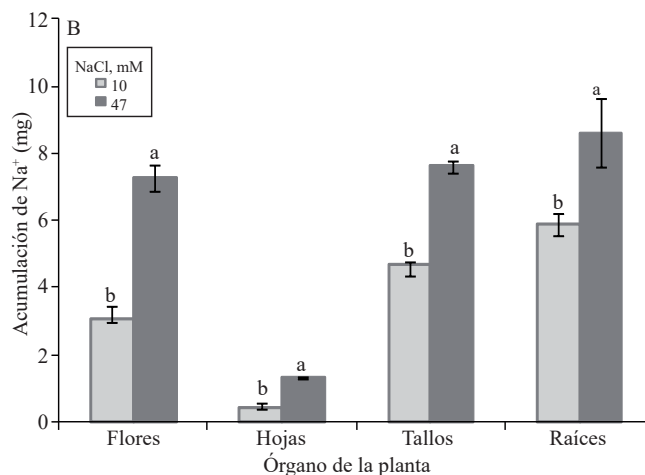


Figura 5. Concentración (A) y acumulación (B) de sodio en flores, hojas, tallos y raíces de cempasúchil (*Tagetes erecta* Linn.) cv. Inca en fase de floración después de 30 días de tratamiento con dos concentraciones de NaCl. Medias \pm DE con letras distintas en cada órgano indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, $p \leq 0.05$) entre tratamientos.

Figure 5. Concentration (A) and accumulation (B) of sodium in flowers, leaves, stems and roots of cempasúchil (*Tagetes erecta* Linn.) Cv. Inca, flowering stage after 30 days of treatment with two concentrations of NaCl. Mean \pm standard deviation with different letters in each organ indicates statistically significant differences (Tukey, $p \leq 0.05$) between treatments.

Discusión

La sensibilidad de los cultivos a la salinidad varía de una fase de desarrollo a otra (Bernstein y Hayward, 1958). A medida que las plantas maduran, se vuelven progresivamente más tolerantes a la salinidad, particularmente en etapas avanzadas del ciclo. En tomate (*Solanum lycopersicum*), por ejemplo, al evaluar la tolerancia a la salinidad en la fase de crecimiento vegetativo temprano, en la fase de floración y a partir del desarrollo del fruto, ésta incrementó a medida que el tratamiento de salinidad se retrasó (del Amor *et al.*, 2001). Para el caso de producción de biomasa de hojas y raíces, los resultados de la presente investigación coinciden con lo anterior, ya que los tratamientos con NaCl iniciaron con la aparición del primer botón floral, aunque para flores y tallos si se observan diferencias significativas por efecto de los tratamientos (Figura 1), lo cual puede tener explicación debido al genotipo evaluado.

Valdez-Aguilar *et al.* (2009a) evaluaron cinco niveles de conductividad eléctrica (2, 4, 6, 8 y 10 $dS m^{-1}$) en la solución nutritiva sobre la biomasa seca de los cultivares Flagstaff y Yellow Climax de cempasúchil y reportaron que a 4 $dS m^{-1}$,

the concentration of 47 mM NaCl in the nutrient solution. It highlights the lower accumulation of this element in the leaves (Figure 5B), contrary to that observed for the nutrients K^+ , Ca^{2+} and Mg^{2+} .

Discussion

Crop sensitivity to salinity varies from one stage of development to another (Bernstein and Hayward, 1958). As plants mature, they become progressively more tolerant to salinity, particularly in advanced stages of the cycle. In tomato (*Solanum lycopersicum*), for example, to assess tolerance to salinity in the early vegetative growth stage, at the stage of flowering and fruit development from, it increased as salinity treatment was delayed (del Amor *et al.*, 2001). In the case of biomass production of leaves and roots, the results of this study agree with the above, since NaCl treatments began with the appearance of the first flower bud, flowers and stems although significant differences if the effect treatments (Figure 1), which can be explained due to the genotype evaluated.

el peso seco de vástago disminuyó hasta 30%; y que el estrés salino adicional no afectaba la producción de biomasa seca. También reportaron que el número y diámetro de flores son afectados negativamente con CE superior a 8 dS m⁻¹. En la presente investigación, dado que los tratamientos de NaCl fueron aplicados en la fase de floración, la biomasa seca en flores fue la más afectada; en éste órgano se observó una reducción de 42.6% al adicionar 47 mM de NaCl (solución nutritiva con CE de 5.25 dS m⁻¹), en comparación con la adición de 10 mM de NaCl (solución nutritiva con CE de 1.25 dS m⁻¹).

Los iones Na⁺ y K⁺ comparten algunas propiedades similares y los transportadores no discriminan entre ellos, por lo que excesos de Na⁺ pueden no sólo afectar negativamente la absorción de K⁺ sino también conducen a la acumulación de Na⁺ en las células vegetales (Pardo y Quintero, 2002). Esta tendencia es observada en la disminución de la concentración de K⁺ en tallos y raíces de plantas tratadas con la mayor concentración de NaCl (47 mM). En hojas, la concentración de K⁺ no fue afectada significativamente por la presencia de NaCl, mientras que en flores la concentración de este elemento fue mayor cuando la dosis de NaCl se incrementó (Figura 2 A); no obstante al observar la acumulación de K⁺ en los órganos evaluados (Figura 2 B) se observó un antagonismo de Na⁺ sobre K⁺.

Las concentraciones de K⁺ en hojas del cv. Inca en esta investigación corresponden en porcentaje a 1.48 y 1.43 para los tratamientos con 10 y 47 mM de NaCl, respectivamente (Figura 2 A). Valdez-Aguilar *et al.* (2009b) reporta concentraciones foliares de K⁺ de aproximadamente 1.5% en los cultivares Flagstaff y Yellow Climax regados con una solución nutritiva con un pH de 6.4 y una CE de 2 dS m⁻¹; éstos se reducen en ambos cultivares a menos de 0.7% con el aumento de la CE a 10 dS m⁻¹. En el cv. Double Eagle de la especie en estudio, Ahmad *et al.* (2011) reportaron concentraciones de K⁺ en hoja entre 2.8 y 2.9%, en tanto que en el cv. Siracole, Pal y Ghosh (2010) determinaron concentraciones foliares de K⁺ entre 3.4 y 4%. Sin embargo, ninguno de estos estudios reporta intervalos de suficiencia nutrimental para ésta especie.

La reducción en la relación de concentraciones K⁺/Na⁺ en hojas ha sido considerada como un indicador de desbalance iónico en diversas especies como arroz (Ash *et al.*, 2000; García-Morales *et al.*, 2012) y algodón (Ali *et al.*, 2008), entre otros. En este sentido, al considerar los resultados de concentración de K⁺ y Na⁺ en hojas (Figuras 2 A y 5 A),

Valdez-Aguilar *et al.* (2009a) assessed five levels of electrical conductivity (2, 4, 6, 8 and 10 dS m⁻¹) in the nutrient solution on dry biomass, cultivars Flagstaff and Yellow Climax and reported that at 4 dS m⁻¹, the stem dry weight decreased 30% and that the additional salt stress did not affect the production of dry biomass. They also reported that, the number and diameter of the flowers are negatively affected by higher EC of 8 dS m⁻¹. In the present paper, since NaCl treatments were applied at the flowering stage, the flowers dry biomass was the most affected, in this body there was a reduction of 42.6% by adding 47 mM NaCl (EC nutrient solution 5.25 dS m⁻¹), compared with the addition of 10 mM NaCl (EC nutrient solution of 1.25 dS m⁻¹).

The Na⁺ and K⁺ share some similar properties and the transporters do not discriminate between them, so that excess of Na⁺ may not only adversely affect the absorption of K⁺ but also lead to the accumulation of Na⁺ in the plant's cells (Pardo and Quintero, 2002). This tendency is observed in the reduction in the concentration of K⁺ in stems and roots of plants treated with the highest concentration of NaCl (47 mM). In leaves, the K⁺ concentration was not significantly affected by the presence of NaCl, while in the flowers concentration of this element was higher when the dose of NaCl got increased (Figure 2A); however, in order to observe the accumulation of K⁺ in organs tested (Figure 2B) an antagonism of Na⁺ over K⁺ was observed.

The concentrations of K⁺ in leaves of cv. Inca in this study correspond to 1.48 and 1.43 percent for the treatments with 10 and 47 mM NaCl, respectively (Figure 2A). Valdez-Aguilar *et al.* (2009b) reported foliar concentrations of K⁺ of about 1.5% in cultivars Flagstaff and Yellow Climax irrigated with a nutrient solution with a pH of 6.4 and an EC of 2 dS m⁻¹, they are reduced in both cultivars with less than 0.7%, with EC increased to 10 dS m⁻¹. In the cv. Double Eagle of the species under study, Ahmad *et al.* (2011) reported concentrations of K⁺ in leaf between 2.8 and 2.9%, while in cv. Siracole Pal and Ghosh (2010) determined leaf K⁺ concentrations between 3.4 and 4%. However, none of these studies reported nutrient sufficiency ranges for this species.

The reduction in the concentration ratio of K⁺/Na⁺ in the leaves has been considered as an indication of ionic imbalance in various species such as rice (Ash *et al.*, 2000; García-Morales *et al.*, 2012) and cotton (Ali *et al.*, 2008), among others. In this sense, considering the results of concentration of K⁺ and Na⁺ in the leaves (Figures 2A and 5A), there was a decrease in the value of this ratio in the leaves

se observa una disminución en el valor de esta relación en las hojas de cempasúchil de más de cuatro veces (30.6 vs 7.3) cuando la concentración de NaCl es incrementada de 10 a 47 mM en la solución nutritiva, lo que indica que la concentración de NaCl de 47 mM ocasiona desbalance iónico en hojas de cempasúchil.

La concentración de Ca^{2+} en hoja no fue afectada significativamente por la concentración de NaCl en la solución nutritiva) y se encontraron valores superiores a 7% en ambos tratamientos (Figura 3A), lo cual es contrario a lo reportado por Valdez-Aguilar *et al.* (2009b) para los cultivares Flagstaff y Yellow Climax, dado que el incremento en la conductividad eléctrica en la solución nutritiva causó una disminución generalizada de la concentración foliar de Ca^{2+} , por lo que las concentraciones foliares de Ca^{2+} en éstos cultivares variaron entre 5.4 y 5.7%, cuando fueron regados con soluciones nutritivas con CE de 2 dS m^{-1} , mientras que cuando la CE fue de 10 dS m^{-1} la variación fue de entre 4.8 y 5%.

En flores y tallos, el incremento en la concentración de NaCl en la solución nutritiva redujo significativamente la concentración de calcio (Figura 3 A). En este sentido, Ebert *et al.* (2002) señalan que las relaciones catiónicas en vástago, como la de $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^{+}$ tienen una gran influencia sobre la tolerancia a la salinidad más que los niveles absolutos de sodio. La presencia de altas concentraciones de calcio inducen señales y la diferencia de concentración a través de la membrana plasmática resulta en un gradiente electroquímico que favorece el influjo de calcio. La relación de concentración $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^{+}$ en el tratamiento consistente en la adición de 10 mM de NaCl a la solución nutritiva fue de 146.1; mientras que con el suministro de 47 mM de NaCl fue de 37.5.

El estrés osmótico causado por alta salinidad conduce a déficit hídrico, lo que reduce la transpiración y afecta negativamente el transporte a larga distancia de iones de baja movilidad como el calcio, creando deficiencia de este elemento, particularmente en tejidos de rápido crecimiento (Maathuis, 2006). Reflejo de éste estrés osmótico es el efecto negativo del NaCl sobre la acumulación de Ca^{2+} en flores, hojas y tallos (Figura 3 B).

En el caso de Mg^{2+} , no se observa efecto de la salinidad sobre la concentración en los órganos evaluados (Figura 4A); por el contrario, en flores, hojas y tallos se evidencia una relación negativa entre la acumulación de Mg^{2+} y la concentración suministrada de NaCl (Figura 4B).

of Cempaxóchitl over four times (30.6 vs. 7.3), when the NaCl concentration is increased from 10 to 47 mM in the nutrient solution, indicating that the NaCl concentration of 47 mM in causes ionic imbalance in leaves of Cempaxóchitl.

Ca^{2+} concentration in leaf was not significantly affected by the NaCl concentration in the nutrient solution) and found values higher than 7% in both treatments (Figure 3A), which is contrary to that reported by Valdez-Aguilar *et al.* (2009b) for cultivars Flagstaff and Yellow Climax, as the increase in electrical conductivity in the nutrient solution caused a general decrease in the foliar concentration of Ca^{2+} , so foliar concentrations of Ca^{2+} in these cultivars ranged between 5.4 and 5.7%, when they were irrigated with nutrient solutions with EC 2 dS m^{-1} , while the EC was 10 dS m^{-1} the variation was between 4.8 and 5%.

In flowers and stems, the increase in the NaCl concentration in the nutrient solution significantly reduced the calcium concentration (Figure 3 A). In this sense, Ebert *et al.* (2002) noted that in stem cationic relations, such as $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^{+}$ have a great influence on the salinity tolerance rather than absolute levels of sodium. The presence of high calcium concentrations induces signals and the concentration difference across the plasma membrane results in an electrochemical gradient that favors calcium influx. The concentration ratio of $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^{+}$ in the treatment consisting of the addition of 10 mM NaCl to the nutrient solution was 146.1, while the supply of 47 mM NaCl was 37.5.

Osmotic stress caused by high salinity leads to water deficit, reducing perspiration and adversely affects long-distance transport of low mobility ions such as calcium, creating deficiency of this element, particularly in rapidly growing tissues (Maathuis, 2006). Reflecting this osmotic stress is the negative effect of NaCl on the accumulation of Ca^{2+} in the flowers, leaves and stems (Figure 3B).

In the case of Mg^{2+} , we did not observed effect of the salinity on the concentrations in the organs tested (Figure 4A), in contrast, flowers, leaves and stems is evidence of a negative relationship between the accumulation of Mg^{2+} and concentration provided NaCl (Figure 4B). Valdez-Aguilar *et al.* (2009b) reported increases in the foliar concentration of Mg^{2+} as increases the electrical conductivity of the water used for irrigation in *T. erecta*, with values ranging from 1.33 to 2.86% in cv. Flagstaff and 1.02 to 2.67% for cv. Yellow Climax, a EC of the solution used for the irrigation of 2 to 10 dS m^{-1} , respectively, for both cases. Plants differ

Valdez-Aguilar *et al.* (2009b) reportan incrementos en la concentración foliar de Mg^{2+} a medida que se incrementa la conductividad eléctrica del agua empleada para el riego en *T. erecta*, con valores que oscilan entre 1.33 a 2.86% en el cv. Flagstaff y de 1.02 a 2.67% para el cv. Yellow Climax, con una CE de la solución empleada para el riego de 2 a 10 $dS\ m^{-1}$, respectivamente, en ambos casos. Las plantas difieren en sus respuestas a la salinidad y muchas especies tolerantes a este estrés acumulan Na^{+} en todos sus tejidos; algunas otras, como las halófitas tienen mecanismos efectivos de exclusión mediante los cuales restringen la acumulación de niveles potencialmente tóxicos de Na^{+} en sus hojas (Munns y Tester, 2008).

A pesar de la disminución de los valores en las relaciones de concentración de cationes esenciales y Na^{+} en hoja previamente indicados, la baja concentración de Na^{+} en hojas en comparación con la concentración de este elemento en raíces, así como la baja acumulación de este elemento en hojas en comparación con el resto de los órganos; evidencian la capacidad de exclusión de Na^{+} del cv. Inca de esta especie (Figura 5). Mecanismos de exclusión de Na^{+} en hojas en dos cultivares de *T. erecta* Linn. (Flagstaff y Yellow Climax) y en el cv. French Vanilla de *T. patula* fueron reportados por Valdez-Aguilar *et al.* (2009b).

Conclusiones

La adición de 47 mM de NaCl en la solución nutritiva suministrada a plantas de cempasúchil durante la fase de floración redujo significativamente la acumulación de cationes esenciales en parte aérea (flores, tallos y hojas) en comparación con el tratamiento de 10 mM de NaCl (testigo). Sin embargo, también se observó capacidad de exclusión de Na^{+} en hojas en este cultivar, el cual ha sido reportado como un mecanismo de tolerancia a Na^{+} en especies vegetales.

Agradecimiento

Los autores(as) agradecen a la Línea Prioritaria de Investigación 4 Agronegocios, Agroecoturismo y Arquitectura del Paisaje del Colegio de Postgraduados, por los apoyos y facilidades brindadas para la realización del presente estudio.

in their responses to salinity and many species tolerant to this stress accumulate Na^{+} in all their tissues, some others, such as halophytes have effective mechanisms of exclusion, restricting the accumulation of potentially toxic levels of Na^{+} in their leaves (Munns and Tester, 2008).

Despite the decrease of the values in the concentration ratio of essential cations and Na^{+} in the leaves, as previously indicated, the low concentration of Na^{+} in leaves compared with the concentration of this element in roots and the low accumulation of this element in leaves compared with other organs, demonstrate the capability of excluding Na^{+} for cv. Inca of this species (Figure 5). Mechanisms of exclusion of Na^{+} in leaves of two cultivars of *T. erecta* Linn. (Flagstaff and Yellow Climax) and cv. French Vanilla of *T. patula* were reported by Valdez-Aguilar *et al.* (2009b).

Conclusions

The addition of 47 mM of NaCl in the nutrient solution supplied to Cempaxóchitl plants during the flowering stage significantly reduced the accumulation of essential cations in the aerial part (flowers, stems and leaves) compared with the treatment of 10 mM of NaCl (control). However, we also observed capacity of exclusion of Na^{+} in the leaves on this cultivar, which has been reported as a mechanism of Na^{+} tolerance in plants.

End of the English version



Literatura citada

- Alcántar, G. G. y Sandoval, M. V. 1999. Manual de análisis químico de tejido vegetal. Publicación especial. Núm. 10. SMCS. Chapingo, México. 150 p.
- Ali, L.; Rahmtullah; Aziz, T.; Maqsood, M. A.; Kanwal, S. and Ashraf, M. 2008. Pattern of potassium and sodium distribution in two cotton varieties. Pak. J. Agri. Sci. 45(1):25-33.
- Asch, F.; Dingkuhn, M.; Dörffling, K. and Miezán, K. 2000. Leaf K/Na ratio predicts salinity induced yield loss in irrigated rice. Euphytica 113(2):109-118.
- Bernstein, L. and Hayward, H. E. 1958. Physiology of salt tolerance. Annu. Rev. Plant Physiol. 9:25-46.
- Bosiacki, M. and Wojciechowska, E. 2012. Phytoextraction of nickel by selected ornamental plants. Ecol. Chem. Eng. S. 19(3):331-345.
- Del Amor, F. M.; Martínez, V. and Cerdá, A. 2001. Salt tolerance of tomato plants as affected by stage of plant development. HortSci. 36(7):1260-1263.

- Ebert, G. J.; Eberle, H.; Ali, D. and Ludders, P. 2002. Ameliorating effects of $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ on growth, mineral uptake and photosynthesis of NaCl-stressed guava seedling (*Psidium guajava* L.). *Scientia Hort.* 93:125-135.
- Escalona, A.; Valverde, J.; Dos Santos Coutinho, C. and Salas, M. C. 2012. Preliminary study of the response of ornamental plants to the NaCl case I. *Tagetes erecta* L. *Acta Hort.* 937:955-962.
- García-Morales, S.; Trejo-Téllez, L. I.; Gómez-Merino, F. C.; Caldana, C.; Espinosa-Victoria, D. and Herrera-Cabrera, B. E. 2012. Growth, photosynthetic activity, and potassium and sodium concentration in rice plants under salt stress. *Acta Scientiarum Agron.* 34(3):317-324.
- Huang, Z. T. and Cox, D. A. 1988. Salinity effects on annual bedding plants in a peat-perlite medium and solution culture. *J. Plant Nutr.* 11:145-159.
- Maathuis, F. J. M. 2006. The role of monovalent cation transporters in plant responses to salinity. *J. Exp. Bot.* 57(5):1137-1147.
- Munns, R. 2002. Comparative physiology of salt and water stress. *Plant Cell Environ.* 25:239-250.
- Munns, R. and Tester, M. 2008. Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Rev. Plant Biol.* 59:651-681.
- Nikkon, F.; Habibb, M. R.; Saud, Z. A. and Karim, M. R. 2011. *Tagetes erecta* Linn. and its mosquitocidal potency against *Culex quinquefasciatus*. *Asian Pacific J. Trop. Biom.* doi:10.1016/S2221-1691(11)60024-5.
- Pal, P. and Ghosh, P. 2010. Effect of different sources and levels of potassium on growth, flowering and yield of African marigold (*Tagetes erecta* Linn.) cv. "Siracole". *Indian J. Natural Products Res.* 1(3):371-375.
- Pardo, J. M. and Quintero, F. J. 2002. Plants and sodium ions: keeping company with the enemy. *Genome Biol.* 3(6):1-4.
- Pessarakli, M. and Szabolcs, I. 2010. Soil salinity and sodicity as particular plant/crop stress factors. *In: handbook of plant and crop stress.* Pessarakli, M. (Ed.). 3rd (Ed.). CRC Press, Taylor & Francis Publishing Company Florida. 3-21 pp.
- Rodríguez-Elizalde, M. A.; Delgado-Alvarado, A.; González-Chávez, M. C. A.; Carrillo-González, R.; Mejía-Muñoz, J. M. y Vargas-Hernández, M. 2010. Emergencia y crecimiento de plantas ornamentales en suelos contaminados por residuos de mina. *Interciencia* 35(1):26-32.
- Ruiz Cerda, E.; Aldaco, R. A.; Montemayor, J. A.; Fortis, M.; Olague, J. y Villagómez, J. C. 2007. Aprovechamiento y mejoramiento de un suelo salino mediante el cultivo de pastos forrajeros. *Téc. Pec. Mex.* 45:19-24.
- Statistical Analysis System (SAS) Institute. 2010. SAS/STAT® User's Guide. Version 9.3 SAS Institute Inc., Cary, N C.
- Steiner, A. 1984. The universal nutrient solution. *In: ISOSC Proceedings 6th International Congress on Soilless Culture.* The Netherlands. 633-649 pp.
- Tian, Z.; Wang, F.; Zhang, W.; Liu, Ch. and Zhao, X. 2012. Antioxidant mechanism and lipid peroxidation patterns in leaves and petals of marigold in response to drought stress. *Hort. Environ. Biotechnol.* 53(3):183-192.
- Valdez-Aguilar, L. A.; Grieve, C. M. and Poss, J. 2009a. Salinity and alkaline pH in irrigation water affect marigold plants: I. Growth and shoot dry weight partitioning. *HortSci.* 44(6):1719-1725.
- Valdez-Aguilar, L. A.; Grieve, C. M., Poss, J. and Layfield, D. A. 2009b. Salinity and alkaline pH in irrigation water affect marigold plants: II. Mineral ion relations. *HortSci.* 44(6):1726-1735.
- Zhu, J.-K. 2007. Plant salt stress. *Encyclopedia of life science.* University of California, Riverside, California, USA.