

RENDIMIENTO Y ABSORCIÓN DE ALGUNOS NUTRIMENTOS EN PLANTAS DE CAMOTE CULTIVADAS CON ESTRÉS HÍDRICO Y SALINO

Alfredo Rodríguez-Delfín^{1*}; Adolfo Posadas²; Roberto Quiroz²

¹Universidad Nacional Agraria La Molina, Centro de Investigación de Hidroponía y Nutrición Mineral. Av. La Molina s/n. La Molina, Lima, PERÚ.

Correo-e: delfin@lamolina.edu.pe (*Autor para correspondencia)

²Centro Internacional de la Papa, División Sistemas de Producción y Manejo de Cultivos. Av. La Molina # 1895. La Molina, Lima, PERÚ.

RESUMEN

El camote (*Ipomoea batatas* L.) es un cultivo de bajo costo de producción que se produce casi todo el año, principalmente en países en vías de desarrollo. En regiones áridas y semiáridas, la presencia de estrés hídrico y salino puede generar disminución de los rendimientos y pérdidas en la calidad de las raíces tuberosas. Se realizó un experimento para determinar el rendimiento, la absorción de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y sodio, y contenido de prolina en plantas de dos cultivares de camote con diferente grado de tolerancia a la salinidad, cultivadas bajo tres regímenes de sales (0, 8 y 14 mmol NaCl) y dos regímenes de frecuencia de riego (riego cada dos y cada cuatro días), en condiciones del verano-otoño de 2009. La salinidad y las frecuencias de riego se controlaron mediante un sistema de cultivo sin suelo. Ambos estreses redujeron los rendimientos de raíces tuberosas. La reducción del rendimiento se explica por la reducción de la absorción de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio con el tratamiento de estrés hídrico, y un incremento de la absorción de sodio con el tratamiento de mayor salinidad. Los ajustes de salinidad y estrés hídrico se expresaron con un incremento en los contenidos de prolina en hojas y raíces tuberosas. Los resultados confirmaron que el cultivar tolerante es adaptable a los estreses abióticos, mientras que el otro cultivar obtuvo menor rendimiento y menor absorción de nutrientes. Los resultados no apoyaron la hipótesis de que cambios en los contenidos de prolina podrían ser usados como una herramienta rápida para discriminar los cultivares de camote tolerantes de los que son susceptibles.

PALABRAS CLAVE ADICIONALES: Nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, sodio, prolina.

YIELD AND NUTRIENT UPTAKE IN SWEET POTATO PLANTS GROWN WITH SALT AND WATER STRESS

ABSTRACT

Sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) is a low production cost crop that is grown during almost the whole year, mainly in developing countries. In arid and semiarid regions, the presence of salinity and water stress can generate yield reductions and losses in the quality of the tuber roots. To address these issues, an experiment was performed to determine yield, N, P, K, Ca, Mg and Na uptake and proline content in plants belonging to two sweet potato cultivars with a different degree of salt tolerance, grown under three (0, 8 and 14 mmol NaCl) salt and two watering regimes (watering after two and four days), during summer-fall conditions of 2009. Salinity and watering frequencies were controlled by using the soilless culture technique. Both water and salt stresses reduced tuber root yields. The yield reduction is explained by a reduction in the uptake of N, P, K, Ca and Mg with the water stress treatment, and an increased Na uptake in the high salinity treatment. The salt and water stress adjustments were reflected in an increment in proline content in leaves and tuber roots. The results confirm the tolerant cultivar as a hardy variety adaptable to abiotic stresses, whereas the non-tolerant variety had lower yield and nutrient uptake. The results did not support the hypothesis that changes in proline content might be used as fast screening tools to discriminate between tolerant and susceptible sweet potato cultivars.

ADDITIONAL KEYWORDS: Nitrogen, phosphorus, potassium, magnesium, calcium, sodium, proline.

INTRODUCCIÓN

La salinidad afecta cada aspecto de la fisiología de la planta y su metabolismo (Taiz y Zeiger, 2010). La alta concentración de sales ocasiona un desequilibrio iónico en el citosol y reduce el potencial osmótico a nivel celular en células vegetales, y ocurre inhibición del crecimiento que se manifiesta a través de efectos osmóticos de iones específicos y de asimilación inadecuada de nutrimentos (Alcaráz, 2012). Por otro lado, diferentes procesos fisiológicos se ven afectados por el déficit hídrico, como pérdida de turgencia celular, reducción de la tasa de expansión celular, disminución de la síntesis de pared celular y, reducción de síntesis de proteínas (Taiz y Zeiger, 2010).

La alta concentración de sales en la solución del suelo y el estrés hídrico puede afectar el crecimiento y desarrollo de las plantas a través de una alta concentración de iones potencialmente tóxicos, tales como el sodio y cloro (Gunes *et al.*, 1996). El sodio es el catión soluble que predomina en la mayoría de suelos y aguas salinas. La mayoría de cultivos exhiben una hipersensibilidad a los ambientes salinos ya que la acumulación de sodio intercelular es negativa en el metabolismo celular y puede reducir la productividad del cultivo significativamente (Cha-um y Kirdmanee, 2009).

El estrés hídrico y salino pueden causar deficiencias o desequilibrios de nutrientes, debido a la competencia del sodio y cloro con nutrientes como el potasio, calcio y nitrógeno (Hu y Schmidhalyer, 2005; Parida y Das, 2006). El aumento de la salinidad produce disminución de los niveles de calcio y magnesio (Meloni *et al.*, 2001) y deficiencia de potasio en las plantas (Parida y Das, 2006).

Condiciones de estrés producen formas reactivas de oxígeno, las que disparan señales de desintoxicación, complejas respuestas moleculares como la expresión de proteínas y producción de osmolitos, previniendo el daño a las estructuras celulares (Alcaráz, 2012). En condiciones severas de estrés hídrico, causado por salinidad o sequía, las plantas detienen el crecimiento y acumulan solutos en células para mantener el volumen y turgencia celular contra la deshidratación. Este proceso es referido como ajuste osmótico (Volkmar *et al.*, 1998; Nonami, 1998; Taiz y Zeiger, 2010). La acumulación de prolina es una respuesta metabólica común en plantas superiores al estrés por déficit de agua y salinidad, como una manera de proteger a las enzimas contra la deshidratación y acumulación de sales (Thomas, 1990). La acumulación endógena de prolina en plantas estresadas por sales ha sido usada como un indicador efectivo de la tolerancia a sales (Cha-um y Kirdmanee, 2009) y se ha sugerido como un parámetro de evaluación para la programación de riego y selección de variedades tolerantes a la sequía. La respuesta de la planta al estrés depende de la naturaleza de las sales presentes y del estado de crecimiento (Pérez-Alfocea *et al.*, 1993; Gunes *et al.*, 1996).

INTRODUCTION

Salinity affects every aspect of plant physiology and metabolism (Taiz and Zeiger, 2010). High salt concentration causes an ionic imbalance in the cytosol and reduces the osmotic potential at the cellular level in plant cells, and growth inhibition occurs that is manifested through osmotic effects of specific ions and inadequate nutrient uptake (Alcaraz, 2012). On the other hand, various physiological processes are affected by water deficit such as cell turgor loss, reduction of the cellular expansion rate, decrease of cell wall synthesis and reduction of protein synthesis (Taiz and Zeiger, 2010).

The high salt concentration in the soil solution and water stress can affect plant growth and development through a high concentration of potentially toxic ions, such as sodium and chlorine (Gunes *et al.*, 1996). Sodium is the predominant soluble cation in most saline soils and water. Most crops present hypersensitivity to saline environments because the accumulation of intracellular sodium is negative in cell metabolism and can significantly reduce crop productivity (Cha-um and Kirdmanee, 2009).

Water and saline stress can cause nutrient deficiencies or imbalances due to sodium and chlorine competition with nutrients such as potassium, calcium and nitrogen (Hu and Schmidhalyer, 2005; Parida and Das, 2006). Increased salinity causes a reduction in calcium and magnesium levels (Meloni *et al.*, 2001) and potassium deficiency in plants (Parida and Das, 2006).

Stress conditions produce reactive oxygen species, which trigger detoxification signs and complex molecular responses such as protein synthesis and osmolyte production, forewarning of impending damage to cell structures (Alcaraz, 2012). Under severe water stress conditions caused by salinity or drought, plants stop growing and accumulate solutes in their cells to maintain cell volume and turgor against dehydration. This process is referred to as osmotic adjustment (Volkmar *et al.*, 1998; Nonami, 1998; Taiz and Zeiger, 2010). Proline accumulation is a common metabolic response in higher plants to stress caused by water deficit and salinity, as a way to protect enzymes against dehydration and salt accumulation (Thomas, 1990). Endogenous proline accumulation in salt-stressed plants has been used as an effective indicator of tolerance to salt (Cha-um and Kirdmanee, 2009), and it has been suggested as an evaluation parameter for watering scheduling and selection of drought-tolerant varieties. Plant response to stress depends on the nature of the salts present and the growth stage (Pérez-Alfocea *et al.*, 1993; Gunes *et al.*, 1996).

The aim of this research was to study the effect of three salinity levels and two watering frequencies on yield, nutrient uptake and proline content of two sweet potato cultivars with different levels of tolerance to water and salt stress.

El objetivo del presente trabajo fue estudiar el efecto de tres niveles de salinidad y dos frecuencias de riego en el rendimiento, absorción de nutrimentos y contenido de prolina de dos cultivares de camote con diferente grado de tolerancia al estrés hídrico y salino.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó en el Centro de Investigación de Hidroponía y Nutrición Mineral de la Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú, (12° 05' 06" latitud sur, 76° 51' 00" longitud oeste, a 243 m de altitud) en condiciones del verano-otoño del año 2009.

Se evaluaron dos cultivares de camote con diferente respuesta a la salinidad: 1) Huambachero, de hoja simple lobulada con 5 lóbulos (menos tolerante), y 2) Untacip, hoja simple triangular (tolerante). Se obtuvieron plantas de esquejes de 25 cm de longitud, trasplantados a arena de cantera (densidad real, 2.60 g·cm⁻³; densidad aparente 1.63 g·cm⁻³; espacio poroso total 37.31 %; capacidad de aireación, 32.01 %; capacidad de retención de agua 5.3 %; pH, 6.60; conductividad eléctrica, 0.3 dS·m⁻¹) previamente lavada, con tamaño de partículas de 0.5 a 1.0 mm, en contenedores de madera de 1.5 x 1.0 x 0.3 m forrados interiormente con polietileno de color negro de 6 micras de espesor. El distanciamiento entre plantas fue 0.3 x 0.3 m. Las plantas fueron cultivadas a campo abierto.

La solución nutritiva empleada para alimentar a las plantas tuvo la siguiente concentración (mg·litro⁻¹): N 125; P 20; K 200; Ca 160; Mg 40; S 98; Fe 1.0; Mn 0.5; B 0.6; Zn 0.15; Cu 0.10 y Mo 0.05. Los valores de pH variaron de 6.0 a 6.5. Para ajustar el pH se usó ácido sulfúrico. El efecto salinidad fue obtenido a través del uso de esta solución nutritiva con tres niveles de NaCl: 0, 8 y 14 mmol (con conductividades eléctricas (CE) de 2.0, 3.0 y 3.5 dS·m⁻¹, para incrementar la salinidad de las soluciones nutritivas se usó una solución madre de NaCl 1 M.

Inicialmente se regaron las plantas sólo con agua para promover el crecimiento de raíces adventicias. Los riegos con solución nutritiva empezaron a los siete días después del trasplante (DDT) y se aplicó cada dos días, frecuencia de riego que mantiene la turgencia de las plantas. La solución nutritiva (250 ml) fue aplicada sobre el sustrato al pie de cada planta. A partir de los 65 DDT se aplicaron dos frecuencias de riego con solución nutritiva: Control (C), después de dos días, y Estrés Hídrico (EH), después de cuatro días. Antes de iniciar los tratamientos de frecuencia de riego (los primeros 64 DDT), cada planta recibió 250 ml de solución nutritiva por riego. Una vez que se iniciaron los tratamientos (65 a 140 DDT) para mantener la misma concentración de nutrimentos, la concentración de las soluciones nutritivas fueron ajustadas para aportar una solución isonutritiva: se aplicó la mitad de dosis en el tratamiento Control y, la dosis completa de la solución nutritiva para el tratamiento de EH. Al final

MATERIALS AND METHODS

The experiment was performed at the Centro de Investigación de Hidroponía y Nutrición Mineral at the Universidad Nacional Agraria La Molina, in Lima, Peru, (12° 05' 06" S, 76° 51' 00" W, at 243 m altitude) under 2009 summer-autumn conditions.

Two sweet potato cultivars with different response to salinity were evaluated: 1) Huambachero, simple five-lobed leaf (less tolerant), and 2) Untacip, simple triangular leaf (tolerant). Plants were obtained from 25-cm-long cuttings, transplanted into previously-washed quarry sand (true density, 2.60 g·cm⁻³; bulk density, 1.63 g·cm⁻³; total pore space, 37.31 %; aeration capacity, 32.01 %; water retention capacity, 5.3 %; pH 6.60; electric conductivity, 0.3 dS·m⁻¹), with 0.5-1.0 mm particle size, in wooden containers of 1.5 x 1.0 x 0.3 m internally lined with 6-micron-thick black polyethylene. The distance between plants was 0.3 x 0.3 m. Plants were grown under field conditions.

The nutrient solution used to feed the plants had the following concentration (mg·liter⁻¹): N 125; P 20; K 200; Ca 160; Mg 40; S 98; Fe 1.0; Mn 0.5; B 0.6; Zn 0.15; Cu 0.10 and Mo 0.05. The pH values ranged from 6.0 to 6.5. Sulfuric acid was used to adjust the pH. The salinity effect was obtained by using this nutrient solution with three levels of NaCl: 0, 8 and 14 mmol (with electric conductivities (EC) of 2.0, 3.0, and 3.5 dS·m⁻¹, a stock solution of NaCl 1 M was used to increase the salinity of the nutrient solutions.

Initially, the plants were irrigated only with water to promote adventitious root growth. The nutrient solution watering started seven days after transplanting (DAT) and was applied every other day, the watering frequency that maintains the turgidity of plants. The nutrient solution (250 ml) was applied on the substrate at the base of each plant. From 65 DAT, two watering frequencies with nutrient solution were applied: control (C), after two days, and water stress (WS), after four days. Before starting the watering frequency treatments (the first 64 DAT), each plant received 250 ml of nutrient solution per watering. Once the treatments were initiated (65 to 140 DAT) to maintain the same nutrient concentration, the nutrient solution concentrations were adjusted to provide an isonutritive solution: a half dose of the nutrient solution was applied in the control treatment, and a full dose was applied for the WS treatment. At the end of the crop cycle, each plant had received a total of 34 and 24 liters of nutrient solution for the C and WS treatments, respectively.

Composite samples of leaves were taken to analyze the N, P, K, Ca, Mg and Na concentrations, and to calculate nutrient uptake. Total N was determined by micro-Kjeldahl, P by phospho-vanado-molybdate colorimetry, K, Ca, Mg and Na by atomic absorption spectrophotometry (Temminghoff and Houba, 2004). An Analytic Jena Contra 300 Model

del ciclo de cultivo, cada planta recibió un total de 34 y 24 litros de solución nutritiva para los tratamientos C y EH, respectivamente.

Se tomaron muestras compuestas de hojas para analizar las concentraciones de N, P, K, Ca, Mg y Na y calcular la absorción de nutrimentos. El N total fue determinado por micro Kjeldahl; el P, por colorimetría del fosfo-vanadomolibdato; el K, Ca, Mg y Na, por espectrofotometría de absorción atómica (Temminghoff y Houbba, 2004). El espectrofotómetro usado fue Modelo Contra 300, Analytic Jena. La absorción de nutrimentos en hojas se estimó multiplicando el peso seco de hojas (PSH) por la concentración de nutriente (g-planta^{-1}).

Para evaluar el efecto de los factores estresantes en las plantas, se determinó el contenido de prolina, según el método descrito por Bates *et al.* (1973). Se extrajeron muestras de hojas y raíces tuberosas (1 g) con ácido sulfosalicílico (3 % v/v), las cuales fueron filtradas con papel filtro Whatman #1. Las soluciones extraídas (2 ml) fueron hervidas por una hora agregando ácido acético glacial (2 ml) y ninhidrina (2 ml); luego se agregó tolueno frío (4 ml). La concentración de prolina fue medida con el espectrofotómetro (LW Scientific, Modelo V325XS) a 520 nm y fue calculada como $\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$ de peso seco. Se usó como estándar L-prolina.

Se usó un diseño experimental completamente al azar, con un arreglo de tratamientos factorial $2 \times 3 \times 2$ (dos cultivares, tres niveles de salinidad y dos frecuencias de riego) y cuatro repeticiones. El número total de plantas fue 432. Los datos fueron analizados con el programa estadístico SAS V. 9.2. Cuatro plantas por tratamiento fueron elegidas al azar y fueron cosechadas a los 140 DDT. Se registraron peso fresco (PFRT) y peso seco de raíces tuberosas (PSRT); PSH y área foliar (AF). Con el PSH y el AF se obtuvo el área foliar específica (AFE).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Crecimiento (AF y AFE)

Las condiciones de estrés hídrico y salinidad y sus interacciones afectaron significativamente el AF y AFE (Cuadro 1). Aunque el cultivar Huambachero presentó mayor AF que Untacip, el AFE, fue mayor en el cultivar Untacip que en Huambachero. El AFE, definida como la razón entre el área foliar y el PSH, refleja una estrategia de distribución de fotosintatos dentro de cada hoja, la cual está influida por cambios internos y externos percibidos por la planta (Wilson *et al.*, 1999; Pérez-Amaro *et al.*, 2004; Milla *et al.*, 2008), como puede ser una condición adversa. Mayores valores de AFE, el tamaño y forma de las hojas (Milla *et al.*, 2008) han sido asociados con una mejor distribución de fotosintatos hacia los órganos sumideros, lo que ayudaría a explicar los mayores valores de rendimiento obtenidos por Untacip, aún en condiciones limitantes.

spectrophotometer was used. Nutrient uptake in leaves was estimated by multiplying leaf dry weight (LDW) by nutrient concentration ($\text{g}\cdot\text{plant}^{-1}$).

To evaluate the effect of stressing factors in the plants, proline content was determined by the method described by Bates *et al.* (1973). Leaf and tuberous root samples (1 g) were extracted with sulfosalicylic acid (3 % v/v) and filtered with Whatman # 1 filter paper. The extracted solutions (2 ml) were boiled for one hour, adding glacial acetic acid (2 ml) and ninhydrin (2 ml); then cold toluene (4 ml) was added. Proline concentration was measured with the spectrophotometer (LW Scientific, Model V325XS) at 520 nm and it was calculated as $\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$ of dry weight. L-proline was used as standard.

A completely randomized experimental design was used, with a $2 \times 3 \times 2$ factorial treatment arrangement (two cultivars, three salinity levels and two watering frequencies) and four replications. The total number of plants was 432. Data were analyzed with SAS V.9.2 statistical software. Four plants per treatment were randomly selected and harvested at 140 DAT. Tuberous root fresh weight (TRFW) and dry weight (TRDW), LDW and leaf area (LA) were recorded. Specific leaf area (SLA) was obtained based on LDW and LA.

RESULTS AND DISCUSSION

Growth (LA and SLA)

Water stress and salinity conditions and their interactions significantly affected LA and SLA (Table 1). Although the Huambachero cultivar presented greater LA than the Untacip one, SLA was greater in the Untacip cultivar than in the Huambachero one. The SLA, defined as the ratio between leaf area and LDW, reflects a photosynthate distribution strategy within each leaf, which is influenced by internal and external changes perceived by the plant (Wilson *et al.*, 1999; Pérez-Amaro *et al.*, 2004; Milla *et al.*, 2008), as it can be an adverse condition. High SLA values and leaf size and shape (Milla *et al.*, 2008) have been associated with a better distribution of photosynthates to the below-ground organs, which helps explain the higher yield values obtained by Untacip, even under limiting conditions.

Nutrient uptake

The Huambachero cultivar showed higher N, P, K, Ca, Mg and Na uptake levels than the Untacip cultivar (Table 2). The WS caused a significant reduction in N, P, K, Ca, Mg and Na uptake. The reduction in N, P, K, Ca and Mg uptake reached 17 %, 28 %, 35 %, 27 % and 25 %, respectively, while the reduction in Na uptake was 42 % compared to plants watered every two days (Table 2). Lower P, K, Ca, Mg and Na uptake was observed in the Huambachero cultivar due to WS, whereas the uptake of these five nutrients in the Untacip cultivar was similar (Table 3).

CUADRO 1. Efecto del estrés hídrico y salino sobre el AFE y el PFRT en dos cultivares de camote, Huambachero y Untacip. Significancia de efectos principales de los promedios y sus respectivos errores estándar (\pm EE).TABLE 1. Effect of salt and water stress on SLA and TRFW in two sweet potato cultivars, Huambachero and Untacip. Significance averages of main effects and their respective standard errors (\pm SE).

	AF / LA (dm ²)	AFE / SLA (cm ² ·g ⁻¹)	PSRT / TRDW (kg·10m ⁻²)	PFRT / TRFW (kg·10m ⁻²)
Efecto Principal / Main Effect				
Cultivar	*	*	*	*
Huambachero	20.84a	62.39b ^z	3.54a	14.07b
Untacip	16.30b	99.57a	3.05b	15.60a
E.E. / S.E.	0.92	5.28	0.13	0.56
Frecuencia riego / Watering frequency	*	*	*	*
Control	21.12a	93.52a	3.49a	16.11a
Estrés hídrico / Water stress	16.02b	68.44b	3.10b	13.56b
E.E. / S.E.	0.92	5.28	0.13	0.56
Salinidad / Salinity (mmol NaCl)	*	*	*	*
0.0	19.93a	95.11a	3.77a	18.19a
8.0	19.47a	76.17b	3.17b	13.96b
14.0	16.30b	71.67b	2.94b	12.35b
E.E. / S.E.	1.12	6.47	0.16	0.68
Interacciones / Interactions				
Cultivar*frecuencia riego / Cultivar*watering frequency	NS	NS	*	NS
Cultivar*salinidad / Cultivar*salinity	*	*	NS	*
Frecuencia riego*salinidad / Watering frequency*salinity	NS	*	NS	*
Cultivar*frecuencia riego*salinidad / Cultivar*watering frequency*salinity	*	*	NS	NS

AF, área foliar; AFE, área foliar específica; PSRT, peso seco raíz tuberosa; PFRT, peso fresco raíz tuberosa.

^zMedias con la misma letra, dentro de columnas, son iguales de acuerdo con la prueba de (Tukey $P \leq 0.05$). NS; no significativo, *; significativo ($P \leq 0.05$).

LA, leaf area; SLA, specific leaf area; TRDW, tuberous root dry weight; TRFW, tuberous root fresh weight.

^zMeans with the same letter, within columns, are equal (Tukey, $P \leq 0.05$). NS; not significant, *; significant ($P \leq 0.05$).

Absorción de Nutrientes

El cultivar Huambachero mostró mayores niveles de absorción de N, P, K, Ca, Mg y Na que el cultivar Untacip (Cuadro 2). El EH causó una reducción significativa en la absorción de N, P, K, Ca, Mg y Na. La reducción de la absorción de N, P, K, Ca y Mg llegó a 17 %, 28 %, 35 %; 27 % y 25 %, respectivamente, mientras que, la reducción de la absorción de Na fue 42 % en relación con las plantas regadas cada dos días (Cuadro 2). En el cultivar Huambachero se observó menor absorción de P, K, Ca, Mg y Na debido al EH, mientras que la absorción de estos cinco nutrientes en Untacip fue similar (Cuadro 3).

La salinidad no afectó la absorción de N y Ca. La absorción de P y Mg fue reducida en 25 % pero sólo para el mayor nivel de salinidad, comparado con el nivel más bajo. En contraste, el incremento de la salinidad sobre el nivel más bajo, aumentó significativamente la absorción de Na por encima de 31 %. En relación a la absorción de K, éste disminuyó 28 % al au-

Salinity did not affect N and Ca uptake. The P and Mg uptake was reduced by 25 % but only for the highest salinity level, compared to the lowest level. By contrast, the increased salinity in the lowest level significantly increased Na uptake above 31 %. The K uptake decreased by 28 % when the salinity level increased to 14.0 mmol NaCl. K uptake decreases when plants are grown with high salinity levels, which affects yield (Rodríguez *et al.*, 2012). One of the harmful effects of salt stress, produced by increased Na and Cl concentrations, is the disruption of the plant's homeostasis mechanisms (Katiyar-Agarwal *et al.*, 2005). The excess of Na uptake affects the uptake of N, P, K (Katiyar-Agarwal *et al.*, 2005) and Ca in plant cells (Essa, 2002). The excess of Na, accumulated in the cytosol, inhibits numerous enzymes (Jaleel *et al.*, 2008).

Yield

The yield (TRFW and TRDW) of tuberous roots (Table 1) was affected by the cultivar, watering frequency, salinity, and the

mentar el nivel de salinidad a 14.0 mmol NaCl. La absorción de K disminuye cuando las plantas son cultivadas con niveles altos de salinidad, lo que afecta el rendimiento (Rodríguez *et al.*, 2012). Uno de los efectos dañinos del estrés salino, producido por el incremento de las concentraciones de Na y Cl, es la interrupción del mecanismo de homeostasis de la planta (Katiyar-Agarwal *et al.*, 2005). El exceso de absorción

interaction of watering frequency and salinity. The Untacip cultivar presented a higher average yield than Huambachero. Both cultivars were affected by salinity, which reduced TRFW yield by 23 % and 32 % when the NaCl levels increased from 0 to 8.0 and from 0 to 14.0 mmol, respectively. The WS reduced yield by about 16 %, a response also observed by Indira and Kabeerathumma (1988) in other cultivars, particularly when

CUADRO 2. Efecto del estrés hídrico y salino sobre absorción de nutrientes en dos cultivares de camote, Huambachero y Untacip. Significación de efectos principales de los promedios y sus errores estándar (\pm EE).

TABLE 2. Effect of salt and water stress on nutrient uptake in two sweet potato cultivars, Huambachero and Untacip. Significance averages of main effects and their respective standard errors (\pm SE).

	N	P	K	Ca	Mg	Na
	(mg-planta ⁻¹) / (mg-plant ⁻¹)					
Efecto Principal / Main Effect						
Cultivar	*	*	*	*	*	*
Huambachero	0.66a ^z	0.032a	0.35a	0.25a	0.09a	0.28a
Untacip	0.44b	0.022b	0.21b	0.19b	0.06b	0.13b
E.E. / S.E.	0.03	0.002	0.017	0.026	0.006	0.013
Frecuencia riego / Watering frequency	*	*	*	*	*	*
Control	0.59a	0.032a	0.34a	0.26a	0.08a	0.26a
Estrés hídrico / Water stress	0.47b	0.023b	0.22b	0.19b	0.06b	0.15b
E.E. / S.E.	0.03	0.003	0.017	0.026	0.006	0.01
Salinidad / Salinity (mmol NaCl)	NS	*	*	NS	*	*
0.0	0.58a	0.029ab	0.32a	0.22a	0.08a	0.16b
8.0	0.59a	0.030a	0.29a	0.25a	0.07ab	0.25a
14.0	0.49a	0.022b	0.23b	0.20a	0.06b	0.21a
E.E. / S.E.	0.04	0.003	0.021	0.032	0.007	0.02
Interacciones / Interactions						
Cultivar*F. riego / Cultivar*watering F.	NS	*	*	*	*	*
Cultivar*salinidad / Cultivar*salinity	NS	NS	NS	NS	NS	*
F.Riego*salinidad / Watering F.*salinity	NS	NS	NS	NS	NS	NS
C*F.riego*salinidad / C*Watering F.*salinity	NS	NS	NS	NS	NS	NS

^zMedias con la misma letra, dentro de columnas, son iguales (Tukey, $P \leq 0.05$). NS; no significativo, *; significativo ($P \leq 0.05$).

^zMeans with the same letter, within columns, are equal (Tukey, $P \leq 0.05$). NS; not significant, *; significant ($P \leq 0.05$).

CUADRO 3. Efectos simples de la interacción frecuencia de riego x cultivar sobre la absorción de P, K, Ca, Mg y Na en hojas.

TABLE 3. Simple watering frequency x cultivar interaction effects on P, K, Ca, Mg and Na uptake in leaves.

F. Riego / Watering F.	Cultivar	P	K	Ca	Mg	Na
		(g-planta ⁻¹) / (g-plant ⁻¹)				
Control	Huambachero	0.042a	0.451a	0.321a	0.108a ^z	0.368a
Estrés hídrico / Water stress	Huambachero	0.026b	0.249b	0.185b	0.066b	0.198b
Control	Untacip	0.022b	0.221b	0.192b	0.061b	0.152bc
Estrés hídrico / Water stress	Untacip	0.019b	0.200b	0.188b	0.061b	0.106c

^zMedias con la misma letra, dentro de columnas, son iguales (Tukey a una $P \leq 0.05$).

^zMeans with the same letter, within columns, are equal (Tukey, $P \leq 0.05$).

de Na afecta la absorción de N, P, K (Katiyar-Agarwal *et al.*, 2005) y Ca en las células vegetales (Essa, 2002). El exceso de Na, acumulado en el citosol, inhibe numerosas enzimas (Jaleel *et al.*, 2008).

Rendimiento

El rendimiento (PFRT y PSRT) de raíces tuberosas (Cuadro 1) fue afectado por el cultivar, frecuencia de riego, salinidad y, por la interacción frecuencia de riego y salinidad. El cultivar Untacip presentó un promedio de rendimiento mayor que Huambachero. Ambos cultivares fueron afectados por la salinidad, la cual redujo el rendimiento de PFRT en 23 % y 32 % cuando los niveles aumentaron de 0 a 8.0 y, de 0 a 14.0 mmol de NaCl, respectivamente. El EH redujo el rendimiento alrededor de 16 %, una respuesta también observada por Indira y Kabeerathumma (1988) en otros cultivares, particularmente cuando el estrés ocurrió al terminar la estación de crecimiento (Bok *et al.*, 2000). Los efectos positivos de riegos más frecuentes sobre el rendimiento fueron neutralizados por el incremento de la salinidad, ya que las plantas regadas cada dos días presentaron rendimientos similares que las plantas expuestas a EH, cuando la salinidad superó los 8.0 mmol de NaCl (Cuadro 4).

Untacip, comparado con Huambachero, mostró una marcada disminución del rendimiento a medida que aumentaba la salinidad. Aunque Untacip superó en rendimiento

the stress occurred at the end of the growing season (Bok *et al.*, 2000). The positive effects of more frequent watering on yield were neutralized by the salinity increase, since plants watered every other day presented yields similar to those plants exposed to WS, when salinity exceeded 8.0 mmol of NaCl (Table 4).

Untacip, compared to Huambachero, showed a marked decrease in yield while salinity increased. Although Untacip had a higher yield than Huambachero at the lowest salinity level, its percent yield loss as a function of salinity was higher than that of Huambachero (38.7 % and 24.0 %, respectively) and the gap in yield between the two cultivars was reduced to zero within the high salinity levels tested (Table 5). Ali *et al.* (2004) suggested that yield responses such as the ones observed in this experiment could be explained by a decrease in water uptake, sodium and chloride toxicity in plant cells, and a reduced photosynthesis rate caused by salinity. It has also been reported that high amounts of NaCl disturb the ionic balance of plant cells, causing nutrient imbalances, which would affect plant growth (Jamil *et al.*, 2007; Munns and Tester, 2008).

Proline content

In relation to proline, the Huambachero cultivar presented a significantly lower concentration in the tuberous roots than Untacip, but no differences were found in the leaves (Table

CUADRO 4. Efectos simples de la interacción frecuencia de riego x salinidad sobre el rendimiento (PFRT).

TABLE 4. Simple watering frequency x salinity interaction effects on yield (TRFW).

Frecuencia riego / Watering frequency	Salinidad / Salinity (mmol NaCl)	PFRT / TRFW (kg·10m ⁻²)
Control	0.0	20.91a ^z
Estrés hídrico / Water stress	0.0	15.47b
Control	8.0	14.80bc
Estrés hídrico / Water stress	8.0	13.12c
Control	14.0	12.63c
Estrés hídrico / Water stress	14.0	12.08c

PFRT, peso fresco raíz tuberosa.

^zMedias con la misma letra, dentro de columnas, son iguales (Tukey, $P \leq 0.05$).

TRFW, tuberous root fresh weight.

^zMeans with the same letter, within columns, are equal (Tukey, $P \leq 0.05$).

a Huambachero al menor nivel de salinidad, su porcentaje de pérdida de rendimiento como una función de la salinidad fue mayor que la de Huambachero (38.7 % y 24.0 %, respectivamente) y la brecha del rendimiento entre ambos cultivares fue reducida a cero dentro de los niveles altos de salinidad probados (Cuadro 5). Ali *et al.* (2004) sugirieron que las respuestas de rendimiento como fueron observadas en este experimento podrían explicarse por una disminución de la asimilación de agua, toxicidad de sodio y cloro en

6). In general, the WS increased proline levels in tuberous roots, but not in leaves. Furthermore, proline levels in tuberous roots and leaves were increased when salinity increased from 0 to 8.0 (2.0 to 3.0 dS·m⁻¹) or 14.0 mmol of NaCl (3.5 dS·m⁻¹). The high proline levels in leaves and tuberous roots caused by the increased salt concentration and WS coincided with the results observed in sweet potato (Indira and Kabeerathumma, 1988), tomato (Pérez-Alfocea *et al.*, 1993) and pepper (Gunes *et al.*, 1996). It has been reported that

CUADRO 5. Efectos simples de la interacción salinidad x cultivar sobre el rendimiento (PFRT).

TABLE 5. Simple salinity x cultivar interaction effects on yield (TRFW).

Salinidad / Salinity (mmol NaCl)	Cultivar	PFRT / TRFW (kg·10m ⁻²)
0.0	Untacip	19.99a ^z
0.0	Huambachero	16.38b
8.0	Untacip	14.54bc
8.0	Huambachero	13.38c
14.0	Huambachero	12.44c
14.0	Untacip	12.26c

PFRT, peso fresco raíz tuberosa.

^zMedias con la misma letra, dentro de columnas, son iguales (Tukey $P \leq 0.05$).

TRFW, tuberous root fresh weight.

^zMeans with the same letter, within columns, are equal (Tukey, $P \leq 0.05$).CUADRO 6. Efecto del estrés hídrico y salino sobre el contenido de prolina en dos cultivares de camote, Huambachero y Untacip. Significación de efectos principales de los promedios y sus errores estándar (\pm EE).TABLE 6. Salt and water stress effect on proline content in two sweet potato cultivars, Huambachero and Untacip. Significance averages of main effects and their respective standard errors (\pm SE).

	Raíz Tuberosa / Tuberous Root (μ mol·g PS ⁻¹) / (μ mol·g DW ⁻¹)	Hojas / Leaves
Efecto Principal / Main Effect		
Cultivar	**	NS
Huambachero	12.2b ^z	14.1a
Untacip	13.6a	14.1a
E.E. / S.E.	0.3	0.6
Frecuencia riego / Watering Frequency	*	NS
Control	11.4b	13.7a
Estrés hídrico / Water stress	14.3a	14.5a
E.E. / S.E.	0.3	0.6
Salinidad / Salinity (mmol NaCl)	*	*
0.0	11.9b	12.4b
8.0	13.0a	13.9a
14.0	13.7a	14.5a
E.E. / S.E.	0.4	0.6
Interacciones / Interactions		
Cultivar*Frecuencia riego / Cultivar*watering frequency	NS	NS
Cultivar*salinidad / Cultivar*salinity	NS	NS
Frecuencia riego*salinidad / Watering frequency*salinity	NS	NS

^zMedias con la misma letra, dentro de columnas, son iguales (Tukey $P \leq 0.05$). NS; no significativo, *; significativo a ($P \leq 0.05$).^zMeans with the same letter, within columns, are equal (Tukey, $P \leq 0.05$). NS; not significant, *; significant at ($P \leq 0.05$).

las células vegetales, y por una reducida tasa de fotosíntesis, causada por salinidad. También se ha reportado que altas cantidades de NaCl disturba el balance iónico de las células vegetales, que provoca desequilibrios en los nutrientes, lo cual afectaría el crecimiento de la planta (Jamil *et al.*, 2007; Munns y Tester, 2008).

stress conditions reduce the activity of enzymes that degrade proline (Kandpal *et al.*, 1981).

CONCLUSIONS

The tuberous root yields of the sweet potato cultivars

Contenido de Prolina

En relación a la concentración de prolina, el cultivar Huambachero exhibió significativamente menor concentración en raíces tuberosas que Untacip, pero no se registraron diferencias en las hojas (Cuadro 6). En general, el EH incrementó los niveles de prolina en raíces tuberosas pero no en hojas. También, los niveles de prolina en raíces tuberosas y hojas fueron incrementadas cuando la salinidad aumentó de 0 a 8.0 (2.0 a 3.0 dS·m⁻¹) ó 14.0 mmol de NaCl (3.5 dS·m⁻¹). Los niveles altos de prolina en hojas y raíces tuberosas causados por el incremento de la concentración de sales y el EH coincidieron con los resultados observados en camote (Indira y Kabeerathumma, 1988), tomate (Pérez-Alfocea *et al.*, 1993) y pimiento (Gunes *et al.*, 1996). Se ha reportado que condiciones de estrés reducen la actividad de enzimas que degradan la prolina (Kandpal *et al.*, 1981).

CONCLUSIONES

Los rendimientos de raíces tuberosas de los cultivares de camote Huambachero y Untacip fueron afectadas por la restricción de agua y por la salinidad. El cultivar Untacip fue superior en rendimiento en condiciones favorables, pero fue más afectado por las condiciones desfavorables que el cultivar Huambachero.

El estrés hídrico causó una menor absorción de N, P, Ca, Mg, K y Na. El estrés salino provocó una menor absorción de P, K y Mg, y una mayor absorción de Na. Ambas condiciones de estrés causaron un incremento de los niveles en prolina, principalmente en raíces tuberosas.

El cultivar Huambachero mostró menor absorción de P, K, Ca, Mg y Na debido al estrés hídrico, mientras que en el cultivar Untacip la absorción de esos cinco nutrimentos fue similar. No se encontraron diferencias entre cultivares en el rendimiento de raíces tuberosas sometidas a un alto nivel de estrés salino.

Los resultados sugieren que en las condiciones probadas el cultivar Untacip es más tolerante que Huambachero.

Los resultados indican que diferencias en algunas respuestas fisiológicas no necesariamente afectan el rendimiento de los cultivares en una forma similar cuando se comparan sus respuestas individuales con estrés y sin él.

LITERATURA CITADA

- ALI, Y.; ASLAM, Z.; ASHRAF, M. Y.; TAHIR, G. R. 2004. Effect of salinity on chlorophyll concentration, leaf area, yield and yield components of rice genotypes grown under saline environment. *International Journal of Environment Science and Technology* 1(3):221-225. doi: 10.1007/BF03325836
- ALCARAZ, F. J. 2012. Salinidad y vegetación, pp. 144-153. *In*: Geobotánica. ALCARAZ, F. J. (ed.). Universidad de Murcia,

Huambachero and Untacip were affected by water restriction and salinity. The Untacip cultivar was superior in yield under favorable conditions, but it was more affected by unfavorable conditions than the Huambachero cultivar.

Water stress caused reduced N, P, Ca, Mg, K and Na uptake. Salt stress caused lesser P, K and Mg uptake, and higher Na uptake. Both stress conditions caused an increase in proline levels, mainly in tuberous roots.

The Huambachero cultivar showed lower P, K, Ca, Mg, and Na uptake due to water stress, while in the Untacip cultivar the uptake of these five nutrients was similar. No differences were found between cultivars in the yield of tuberous roots subjected to a high salt stress level.

The results suggest that under the conditions tested the Untacip cultivar is more tolerant than Huambachero.

The results indicate that differences in some physiological responses do not necessarily affect the yield of the cultivars in a similar manner when their individual responses with stress and without it are compared.

End of English Version

España. <http://www.um.es/docencia/geobotanica/ficheros/tema18.pdf>

- BATES, L. S.; WALDREN, R. P.; TEARE, I. D. 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant and Soil* 39(1): 205-207. doi: 10.1007/BF00018060
- BOK, I.; HAMMES, P. S.; STEYN, J. M. 2000. Effect of water stress at different growth stages on yield and quality of sweet potato. *African Potato Association Conference Proceedings* 5: 205-208.
- CHA-UM, S.; KIRDMANEE, C. 2009. Effect of salt stress on proline accumulation, photosynthetic ability and growth characters in two maize cultivars. *Pakistan Journal of Botany* 41(1): 87-98. <http://www.pakbs.org/pjbot/PDFs/41%281%29/PJB41%281%29087.pdf>
- ESSA, T. A. 2002. Effect of salinity stress on growth and nutrient composition of three soybean (*Glycine max* L. Merrill) cultivars. *Journal of Agronomy and Crop Science* 188(2): 86-93. doi: 10.1046/j.1439-037X.2002.00537.x
- GÜNES, A.; INAL, A.; ALPASLAN, M. 1996. Effect of salinity on stomatal resistance, proline, and mineral composition of pepper. *Journal of Plant Nutrition* 19(2): 389-396. doi: 10.1080/01904169609365129
- HU, Y.; SCHMIDHALTER, U. 2005. Drought and salinity: a comparison of their effects on mineral nutrition of plants. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 168(4): 541-549. doi: 10.1002/jpln.200420516
- INDIRA, P.; KABEERATHUMMA, S. 1988. Physiological response of sweet potato under water stress 1. Effect of water stress

- during the different phases of tuberization. *Journal of Root Crops* 14(2): 37-40.
- JALEEL, C. A.; SANKAR, B.; SRIDHARAN, R.; PANNEERSELVAM; R. 2008. Soil salinity alters growth, chlorophyll content, and secondary metabolite accumulation in *Catharanthus roseus*. *Turkish Journal of Biology* 32(2): 79-83. <http://journals.tubitak.gov.tr/biology/issues/biy-08-32-2/biy-32-2-2-0709-7.pdf>
- JAMIL, M.; REHMAN, S. U., S.; LEE, K. J.; KIM, J. M.; KIM, H. S.; RHA, E. S. 2007. Salinity reduced growth PS2 photochemistry and chlorophyll content in radish. *Science in Agriculture* 64(2): 111-118. doi: 10.1590/S0103-90162007000200002
- KANDPAL, R. P.; VAIDYANATHAN, C. S.; KUMAR, M. U.; SASTRY, K. S.; RAO, N. A. 1981. Alterations in the activities of the enzymes of proline metabolism in Ragi (*Eleusine coracana*) leaves during water stress. *Journal of Biosciences* 3(4): 361-370. doi: 10.1007/BF02702623
- KATIYAR-AGARWAL, S.; VERSLUES, P.; ZHU, J. K. 2005. Mechanisms of salt tolerance in plants. *Plant Nutrition for Food Security, Human Health and Environmental Protection* 23: 44-45. <https://ag.purdue.edu/hla/zhulab/Documents/Publications/2005/SKA.pdf>
- MELONI, D. A.; OLIVA, M. A.; RUÍZ, H. A.; MARTÍNEZ, C. A. 2001. Contribution of proline and inorganic solutes to osmotic adjustment in cotton under salt stress. *Journal of Plant Nutrition*. 24(3): 599-612. doi: 10.1081/PLN-100104983
- MILLA, R.; REICH, P. B.; NIINEMETS, Ü; CASTRO-DÍEZ, P. 2008. Environmental and developmental controls of specific leaf area are little modified by leaf allometry. *Functional Ecology* 22(4): 565-576. doi: 10.1111/j.1365-2435.2008.01406.x
- MUNNS, R.; TESTER, M. 2008. Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology* 59: 651-681. doi: 10.1146/annurev.arplant.59.032607.092911
- NONAMI, H. 1998. Plant water relations and control of cell elongation at low water potentials. *Journal of Plant Research* 111(3): 373-382. doi: 10.1007/BF02507801
- PARIDA, A. K.; DAS, A. B. 2006 Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. *Ecotoxicology and environmental safety* 60(3): 324-339. doi: 10.1016/j.ecoenv.2004.06.010
- PÉREZ-ALFOCEA, F.; ESTAN, M. T.; SANTA C., A. ; BOLARÍN, M. C. 1993. Effect of salinity on nitrate, total nitrogen, soluble protein and free amino acid levels in tomato plants. *Journal of Horticultural Science* 68(6): 1021-1027.
- PÉREZ A., J. A.; GARCÍA M., E.; ENRIQUEZ Q., J. F.; QUERO C., A.; PÉREZ P., J.; HERNÁNDEZ G., A. 2004. Análisis de crecimiento, área foliar específica y concentración de nitrógeno en hojas de pasto "mulato" (*Brachiaria* híbrido, cv). *Tecnología Pecuaria Mexicana* 42(3):447-458. www.tecnicapecuaria.org.mx/trabajos/200410182383.pdf
- RODRÍGUEZ-DELFIN, A.; POSADAS, A.; LEÓN-VELARDE, C.; MARES, V.; QUIROZ, R. 2012. Effect of salt and water stress on the proline and total chlorophyll content and nutrients uptake on two sweet potato cultivars grown on soilless culture. *Acta Horticulturae* 947:55-62. http://www.actahort.org/books/947/947_4.htm
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. 2010. *Plant Physiology*. Sinauer Associates Inc. Publishers. Sunderland, Massachusetts. USA. 782 p.
- TEMMINGHOFF, J. M.; HOUBA, V. J. G. 2004. *Plant Analysis Procedures*. 2da. ed. Kluwer Academic Publishers. 179 p.
- THOMAS, H. 1990. Osmotic adjustment in *Lolium perenne*; its heritability and the nature of solute accumulation. *Annals of Botany* 66(5): 521-530. <http://aob.oxfordjournals.org/content/66/5/521.short>
- VOLKMAR, K. M.; HU, Y.; STEPPUHN, H. 1998. Physiological responses of plants to salinity: A review. *Canadian Journal of Plant Science* 78(1):19-27. doi: 10.4141/P97-020
- WILSON, P. J.; THOMPSON, K. E. N.; HODGSON, J. G. 1999. Specific leaf area and leaf dry matter content as alternative predictors of plant strategies. *New Phytologist* 143(1): 155-162. doi: 10.1046/j.1469-8137.1999.00427.x