

Determination of the level of tolerance to salinity in *in vitro* conditions of the plants of tomate de árbol (*Solanum betaceum*) from different localities of the ecuatorian highlands

Determinación del nivel de tolerancia a salinidad en condiciones *in vitro* de plantas de tomate de árbol (*Solanum betaceum*) provenientes de distintas localidades de la Sierra ecuatoriana

Viviana Jaramillo¹, Venancio Arahana¹ y María de Lourdes Torres¹

¹Laboratorio de Biotecnología Vegetal, Colegio de Ciencias Biológicas y Ambientales, Universidad San Francisco de Quito.
Diego de Robles s/n y Vía Interoceánica, Quito- Ecuador.

*Autor principal/Corresponding author, e-mail: ltorres@usfq.edu.ec

Editado por/Edited by: Cesar Zambrano, Ph.D.

Recibido/Received: 05/03/2014. Aceptado/Accepted: 21/04/2014.

Publicado en línea/Published on Web: 13/06/2014. Impreso/Printed: 13/06/2014.

Abstract

Soil salinity constitutes one of the main causes for crop yield reduction. A significant part of the Ecuadorian highland soils are considered as high-salinity because of their pyroclastic nature, the effects of erosion and the poor use of irrigation water. The tree tomato (*Solanum betaceum*) grows all across the highlands and in many cases is subject to high-salinity stress. The objective of the present study was to determine the level of tolerance to sodium chloride (NaCl) for *in vitro* cultured tree tomato. Plants were obtained from seven or eight locations depending on the essay performed. Seed germination, plantlet development from simple-node culture and *in vitro* plant growth were evaluated, using different NaCl concentrations. For the seed germination assays, an average of 62 % of germination was obtained in a concentration of 50mM NaCl for the seven locations evaluated, and an average of 57 % germination in a concentration of 75mM. For plant growth from single node culture, seven locations were evaluated and growth was observed in concentrations of up to 100mM NaCl for plants from all locations except Quero. Finally, the analysis of salinity stress tolerance limits for plantlet growth showed different responses in individuals from eight sampling locations, where plantlets from Chaltura tolerated up to 175 mM NaCl. These results confirm a difference in salinity tolerance from individuals between locations. The highest tolerance level was observed in plants from Chaltura, while the lowest tolerance level was observed in plants from Quero. This information is basic for future transcriptome studies, where genes involved with salinity tolerance can be identify in this interesting Andean crop.

Keywords. *Solanum betaceum*, salinity stress, tolerance, *in vitro* culture.

Resumen

La salinidad de los suelos constituye una de las causas más importantes para la disminución de la productividad en cultivos agrícolas. Gran parte de los suelos de la Sierra ecuatoriana son considerados salinos, tanto por su naturaleza piroclástica como por la erosión y el mal uso del agua de riego. El tomate de árbol (*Solanum betaceum*) crece en la región interandina y en muchos casos se ve sometido al estrés salino. El objetivo del presente estudio fue determinar el grado de tolerancia del tomate de árbol a cloruro de sodio (NaCl) en cultivo *in vitro*. Se utilizó plantas de tomate de árbol provenientes de siete u ocho localidades dependiendo del ensayo realizado. Se evaluó la germinación de semillas, el desarrollo de plántulas a partir de nudo simple y el crecimiento de plántulas cultivadas *in vitro* en diferentes concentraciones de NaCl. En los ensayos de germinación de semillas se obtuvo un promedio de 62 % de germinación para siete localidades analizadas en una concentración de 50mM de NaCl, y un promedio de 57 % en una concentración de 75mM. En cuanto al cultivo de tomate de árbol a partir de nudo simple, se evaluó plantas de siete localidades de las cuales todas, con excepción de Quero, crecieron hasta en una concentración de 100mM de NaCl. Finalmente, en el ensayo para determinar el límite de tolerancia a NaCl en el crecimiento de plántulas, se observó diferentes respuestas al estrés salino en individuos de tomate de árbol de ocho localidades estudiadas, siendo las plántulas de Chaltura las que toleraron hasta 175 mM de NaCl. Estos resultados permiten afirmar que hubo variaciones en el grado de tolerancia a salinidad entre plantas de tomate de árbol de las diferentes localidades. La mayor tolerancia se encontró en las plantas provenientes de Chaltura, y la menor tolerancia en plantas provenientes de Quero. La información obtenida en este estudio es la base para posteriores análisis del transcriptoma donde se pueda identificar genes involucrados en la respuesta a la tolerancia a la salinidad en este interesante cultivo andino.

Palabras Clave. *Solanum betaceum*, estrés salino, tolerancia, cultivo *in vitro*.

Introducción

La salinidad del suelo es uno de los principales factores de estrés abiótico que reduce el rendimiento de los cultivos hasta en un 50 % [1]. Entre las principales causas de salinización de los suelos están la meteorización de rocas volcánicas, la acumulación de sales por el ascenso capilar de agua freática y el acarreo de sales por agua de riego [2]. De acuerdo a los últimos datos de la FAO (2005), el 6 % del total del suelo cultivable a nivel mundial, es decir, 800 millones de hectáreas de tierra están afectadas por salinidad o sodicidad [3]. Un suelo se clasifica como salino cuando posee una conductividad eléctrica mayor a 4dS/m. En la Tabla 1 se presenta un resumen de la clasificación de los suelos por su salinidad según datos del Departamento de Agricultura de Estados Unidos [2].

La salinidad del suelo tiene un efecto muy importante sobre los cultivos agrícolas. El incremento de sales dificulta la capacidad de las raíces para absorber agua, lo que conduce a un progresivo decrecimiento en el desarrollo y rendimiento. Los principales efectos de la salinidad en las plantas se deben a un desbalance osmótico, toxicidad, oxidación y finalmente muerte celular [3]. Ciertas especies tienen tolerancia a la salinidad, es decir, una mejor capacidad de sobrevivencia frente al estrés salino. De acuerdo a la FAO, los cultivos altamente tolerantes resisten concentraciones de sal en el extracto de saturación mayores a 10g/L. Los moderadamente tolerantes mayores a 5g/L y las sensitivas menores a 2.5g/L [4].

El tomate de árbol (*Solanum betaceum*) es un frutal andino que en Ecuador se cultiva solamente para consumo interno pero que tiene un gran potencial económico y comercial debido a su exótico sabor y su alto contenido de vitaminas A, C y antioxidantes. El desarrollo de este cultivo está limitado, entre otros factores, por estreses bióticos y abióticos que afectan su producción. El cultivo no requiere condiciones agroecológicas muy exigentes. Crece en clima templado seco y sub cálido húmedo, temperatura entre 13 y 24°C, humedad entre 70 y 80 %, pluviosidad entre 600 y 1500mm, altitud entre 1800 y 2800msnm, en bosques húmedos montano bajo y secos montano bajo. En cuanto a los requerimientos edáficos, se lo encuentra en suelos francos, franco arenosos, con buen drenaje, aireación y que sean ricos en materia orgánica [5]. Este cultivo se extiende en todo el callejón interandino, cuyos suelos tienen diferentes niveles de material piroclástico y algunos de ellos pueden ser catalogados como salinos [6]. Se puede suponer entonces, que las variedades de tomate de árbol que crecen en suelos con elevados niveles de salinidad tienen activados mecanismos de tolerancia para sobrevivir en dichas condiciones. Esto, vuelve al tomate de árbol un candidato interesante para estudiar sus mecanismos de respuesta frente al estrés salino.

El objetivo del presente estudio fue determinar la tolerancia a salinidad de individuos de tomate de árbol reco-

lectados de varias localidades de la Sierra ecuatoriana. El conocimiento de la tolerancia a salinidad en este cultivo permitirá utilizarlo como un candidato para la identificación de genes responsables de dicha tolerancia, lo cual constituye un primer paso para futuros ensayos de mejoramiento genético en esta especie y otras relacionadas.

Materiales y Métodos

Material Vegetal

Para los diferentes ensayos realizados, se recolectó frutos de tomate de árbol de la variedad puntón común de ocho localidades en tres provincias de la Sierra ecuatoriana. Santiago del Rey, Imbaya, Violeta y Chaltura en Imbabura; ciudad de Ambato, Cevallos y Quero en Tungurahua, y Tumbaco en Pichincha.

Germinación in vitro de semillas de tomate de árbol en presencia de NaCl

Las semillas extraídas de frutos colectados de siete localidades (Santiago del Rey, Imbaya, Violeta, Chaltura, Ambato, Cevallos y Quero) fueron sembradas in vitro después de un proceso de esterilización que consistió en un lavado con alcohol al 70 % por 3 minutos, seguido de una inmersión en una solución de hipoclorito de sodio 2.5 % + tween 20 durante 15 minutos con agitación constante y varios enjuagues con agua destilada estéril. La siembra se realizó en medio MS [7] con 30gL⁻¹ de sacarosa, 7gL⁻¹ de Bacto Agar, pH 5.8 y cloruro de sodio en concentraciones de 50mM, 75mM, 100mM, 150mM y 200mM, y sin NaCl como control. La selección de las concentraciones de NaCl utilizadas se realizó a partir del estudio de Lui y Baird (2003) realizado en girasol [8]. Se sembró 4 frascos de cada localidad para cada concentración de NaCl. Las semillas sembradas se cultivaron en un fotoperiodo de 16 horas luz- 8 horas oscuridad a una temperatura promedio de 22°C.

Cultivo de plántulas de tomate de árbol a partir de nudo simple en presencia de NaCl

Segmentos nodales de plántulas de tomate de árbol de siete localidades (Santiago del Rey, Imbaya, Violeta, Chaltura, Ambato, Cevallos y Quero) propagadas previamente in vitro se cultivaron mediante la técnica de nudo simple. Los cultivos se realizaron en medio MS con distintas concentraciones de NaCl (50mM, 75mM, 100mM, 120mM, 150mM y 200mM) seleccionadas a partir del estudio de Lui y Baird (2003) realizado en girasol [8]. De cada localidad se cultivó 4 frascos para cada concentración de NaCl con 4 segmentos nodales en cada uno. El material vegetal se mantuvo en un fotoperiodo de 16 horas luz- 8 horas oscuridad a una temperatura promedio de 22°C.

CE a 25° C (dS/m)	Efecto sobre la cosecha	Clasificación del suelo
0-2	Comúnmente despreciable	No salino
2-4	Cultivos muy sensibles afectados	Poco Salino
4-8	Muchos cultivos afectados	Medianamente salino
8-16	Solamente cultivos tolerantes crecen bien	Muy salino
>16	Solamente crecen cultivos muy tolerantes	Extremadamente salino

Tomado de Fassbender y Bornemisza, 1987. CE: conductividad eléctrica.

Tabla 1: Resumen elaborado por la USDA que indica la clasificación de los suelos de acuerdo a su salinidad medida en base a su conductividad eléctrica.

Provincia	Localidad	Concentración NaCl	Tiempo de germinación
Imbabura	Santiago del Rey	50mM	29 días
		75mM	30 días
		100mM	No hubo germinación
		150mM	No hubo germinación
		200mM	No hubo germinación
	Imbaya	50mM	28 días
		75mM	30 días
		100mM	No hubo germinación
		150mM	No hubo germinación
		200mM	No hubo germinación
	Violeta	50mM	28 días
		75mM	31 días
		100mM	No hubo germinación
		150mM	No hubo germinación
		200mM	No hubo germinación
Chaltura	50mM	22 días	
	75mM	25 días	
	100mM	No hubo germinación	
	150mM	No hubo germinación	
	200mM	No hubo germinación	
Ambato	50mM	31 días	
	75mM	31 días	
	100mM	No hubo germinación	
	150mM	No hubo germinación	
	200mM	No hubo germinación	
Tungurahua	Quero	50mM	30 días
		75mM	33 días
		100mM	No hubo germinación
		150mM	No hubo germinación
		200mM	No hubo germinación
Cevallos		50mM	29 días
		75mM	31 días
		100mM	No hubo germinación
		150mM	No hubo germinación
		200mM	No hubo germinación

Tabla 2: Tiempo de germinación de semillas de tomate de árbol en diversas concentraciones de NaCl.

Crecimiento de plántulas de tomate de árbol en presencia de NaCl

Plántulas de tomate de árbol de aproximadamente 3cm cultivadas in vitro se trasplantaron a medio MS con diferentes concentraciones de NaCl: 75mM, 100mM, 120mM, 150mM, 175mM, 200mM y 250mM seleccionadas a partir del estudio de Lui y Baird (2003) realizado en girasol [8]. De cada localidad se cultivó 2 frascos con 3 plántulas en cada uno para cada concentración de sal. Las plántulas se cultivaron en un fotoperiodo de 16 horas luz- 8 horas oscuridad a una temperatura promedio

de 22°C.

Parámetros considerados para evaluar la tolerancia a salinidad de las plántulas

Para evaluar la tolerancia de las plántulas a salinidad en los tres ensayos realizados (germinación de semillas, crecimiento de segmentos nodales y crecimiento de plántulas) se tomó datos cada 10 días. Para la germinación de semillas el parámetro evaluado fue el tiempo que tardó la germinación. Para el crecimiento de segmentos nodales se consideró la velocidad de crecimiento de los segmentos y características morfológicas de las

Provincia	Localidad	Máxima concentración de NaCl a la cual se observó crecimiento	Tiempo en el que las plántulas alcanzaron un promedio de 6cm de altura	Características de las plántulas en diferentes concentraciones de NaCl
Imbabura	Santiago del Rey	100mM	30 días	Puntos amarillos en hojas Hojas color verde pálido Pocas raíces
	Imbaya	100mM	30 días	Puntos amarillos en hojas Hojas color verde pálido Pocas raíces
	Violeta	100mM	30 días	Puntos amarillos en hojas Hojas color verde pálido Pocas raíces
	Chaltura	120mM	35 días	Hojas color verde pálido Puntos amarillos en hojas Pocas raíces
Tungurahua	Ambato	100mM	No se alcanzó crecimiento mayor a 3cm	Ausencia de raíces Hojas color amarillo
	Cevallos	100mM	No se alcanzó crecimiento mayor a 3cm	Ausencia de raíces Hojas color amarillo
	Quero	75mM	47 días	Hojas color verde pálido Pocas raíces

Tabla 3: Comparación del crecimiento de plántulas de tomate de árbol a partir de nudo simple provenientes de siete localidades de la Sierra ecuatoriana.

plántulas desarrolladas (tamaño de las plántulas, color de los segmentos, color de hojas, tiempo de aparición de raíces y oxidación de las plántulas). Para el crecimiento de las plántulas se observó las mismas características morfológicas descritas anteriormente y se midió el crecimiento de las plántulas por un período de dos meses.

Resultados y Discusión

Germinación in vitro de semillas de tomate de árbol en presencia de NaCl

El porcentaje de germinación de semillas provenientes de las siete localidades estudiadas en medio MS sin NaCl fue del 94 % entre los 16 y 21 días. Con respecto a la germinación en presencia de NaCl, los resultados fueron variables (Tabla 2). En 50mM de NaCl (menor concentración analizada), el porcentaje de germinación promedio se redujo al 62 % y tardó entre 22 y 31 días. El menor tiempo de germinación se obtuvo para las semillas de Chaltura (Imbabura) y el mayor para las de Ambato (Tungurahua). A una concentración de 75mM de NaCl, el promedio de germinación fue del 57 %, el tiempo varió entre 25 y 33 días, siendo el menor para semillas de Chaltura y el mayor para semillas de Quero (Tungurahua). En medio MS con concentraciones altas de NaCl (100, 150 y 200mM), la germinación fue inhibida por completo. Durante la fase inicial del proceso de germinación de la semilla se produce un ingreso de agua al interior, proceso conocido como imbibición [9]. El desbalance osmótico generado por la presencia de sal justifica la reducción de la eficiencia de germinación a medida que se incrementa la concentración de sal.

Cultivo de plántulas de tomate de árbol a partir de nudo simple en presencia de NaCl

La tolerancia a salinidad de plantas de tomate de árbol provenientes de siete localidades de la Sierra ecuatoriana se evaluó también realizando cultivo de nudo simple. Los segmentos nodales aislados de estas plantas no crecieron en concentraciones de 150mM y 200mM de NaCl. La oxidación y muerte de estos segmentos nodales se observó aproximadamente 20 días después de iniciado el cultivo. En general, en las restantes concentraciones de NaCl, se observó menor crecimiento de los segmentos nodales en comparación con los controles sin sal para las siete localidades evaluadas. A pesar de esto se pudo observar diferencias en el crecimiento de plántulas entre localidades (Tabla 3). Las plántulas más tolerantes correspondieron a la localidad Chaltura (provincia de Imbabura) y las menos tolerantes a Quero (provincia de Tungurahua). Para las plántulas de Chaltura, el crecimiento promedio en medio MS sin NaCl fue de 9cm en 22 días, mientras que en la máxima concentración de NaCl tolerada (120mM) se observó un crecimiento reducido de 6cm alcanzado en un promedio de 35 días. En cuanto a las plántulas de Quero, el máximo crecimiento se observó en MS + 75mM de NaCl, donde se obtuvo plantas de 6cm en un periodo promedio de 47 días. Las plántulas del resto de localidades también se vieron afectadas por la presencia de NaCl. Los segmentos nodales que no crecieron se ennegrecieron y oxidaron aproximadamente 20 días después de iniciado el cultivo. En las plántulas que crecieron en presencia de NaCl, se pudo observar diferencias morfológicas en comparación con el crecimiento de plántulas control. La principal diferencia fue el color de las plántulas que

Provincia	Localidad	Concentración de NaCl a la cual se observó síntomas de estrés salino	Concentración de NaCl a la cual no se observó crecimiento	Tiempo en el cual se observó el efecto del estrés salino en plántulas	Características de las plántulas en diferentes concentraciones de NaCl
	Ambato	100mM	175mM	30 días	Pérdida de hojas Amarillamiento de hojas y tallos Raíces secas
Tungurahua	Quero	75mM	150mM	15 días	Raíces secas Hojas caídas Muerte de plántulas
	Cevallos	150mM	175mM	15 días	Pérdida de hojas Raíces secas Plántulas de color verde pálido
	Santiago del Rey	100mM	120mM	45 días	Crecimiento reducido Amarillamiento de hojas Raíces secas
Imbabura	Imbaya	150mM	175mM	30 días	Raíces y yemas secas Amarillamiento de hojas
	Violeta	150mM	175mM	45 días	Raíces secas Puntos amarillos en hojas
	Chaltura	175mM	200mM	30 días	Plántulas de color verde pálido Hojas secas
Pichincha	Tumbaco	150mM	175mM	30 días	Raíces y yemas secas Crecimiento reducido Plántulas de color verde pálido

Tabla 4: Comparación del crecimiento de plántulas de tomate de árbol en diferentes concentraciones de NaCl.

lucían de un verde pálido, algunas hojas amarillas, en algunos casos puntos amarillos en las hojas y con muy pocas o sin raíces. La presencia de manchas amarillas y el color pálido de las plantas han sido explicadas en función de la toxicidad generada por la sal y, adicionalmente, a que uno de los principales efectos del NaCl es que limita el ingreso de nutrientes a las células [10].

La máxima concentración de NaCl a la cual se obtuvo crecimiento de plántulas de todas las localidades analizadas con excepción de Quero, fue de 100mM. Esta concentración de sal en el medio de cultivo equivaldría a una conductividad eléctrica en el suelo de 9.5948dS/m [11]. De acuerdo a la clasificación de la FAO, las plántulas que pueden crecer en suelos con esta conductividad eléctrica se clasifican como moderadamente tolerantes a la salinidad [4]. En muchos estudios se utiliza la concentración de 100mM de NaCl como tratamiento de estrés salino en plantas [12, 13]. Esta información sumada al crecimiento observado de las plántulas de tomate de árbol a diferentes concentraciones de sal determinó que se seleccione la concentración de NaCl 100mM para ensayos posteriores relacionados con la identificación de genes que participan en la respuesta a salinidad en esta

especie.

Crecimiento de plántulas de tomate de árbol en presencia de NaCl

El último ensayo realizado para evaluar la tolerancia a salinidad de las plántulas de tomate de árbol provenientes de ocho localidades (Santiago del Rey, Imbaya, Violeta, Chaltura, Ambato, Quero, Cevallos y Tumbaco), consistió en cultivar plántulas de aproximadamente 3cm, desarrolladas previamente en condiciones in vitro, en un medio MS con distintas concentraciones de NaCl (75mM, 100mM, 120mM, 150mM, 175mM, 200mM y 250mM). Los principales resultados observados frente al estrés salino fueron: reducción en la velocidad de crecimiento de las plántulas, pérdida de intensidad en el color verde de las plántulas, amarillamiento de las hojas, caída de hojas y yemas, y raíces secas. Estos cambios coinciden con los reportados previamente por otros estudios de los efectos del estrés salino en cultivos agrícolas [3, 7, 14]. Muchos de los síntomas que se observan en las plantas expuestas a NaCl se deben a la toxicidad generada por la sal y la limitación en el ingreso de nutrientes a las células [3, 7]. Adicionalmente la pérdida

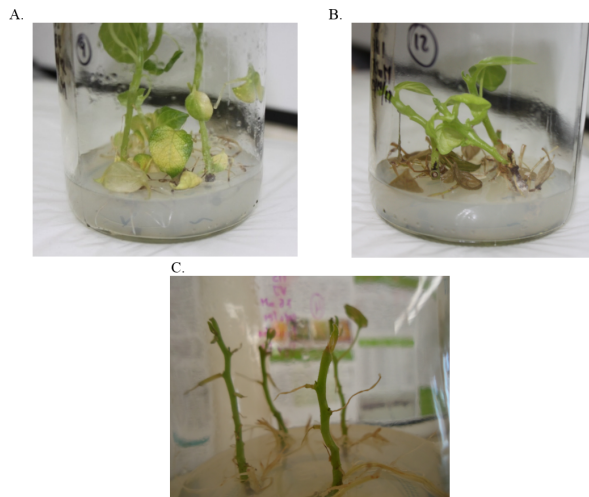


Figura 1: Características de plántulas de tomate de árbol en presencia de NaCl. A) Plántulas de Pichincha, localidad Tumbaco expuestas a una concentración de 150mM de NaCl. Se observa plántulas de color pálido, amarillamiento de hojas, caída de hojas, raíces secas. B) Plántulas de la misma localidad (Tumbaco, Pichincha) expuestas a una concentración de 175mM de NaCl. Se observa raíces secas, hojas caídas, y disminución del crecimiento. C) Plántulas de Imbaya, Imbabura, en una concentración de 150mM de NaCl. Se observa poco crecimiento, caída de hojas, yemas secas, raíces secas. Fotos tomadas 1 mes después de iniciado el cultivo in vitro en presencia de NaCl.

de coloración y amarillamiento están relacionados con un efecto adicional generado por el NaCl que es la reducción de la capacidad fotosintética de las células. Esta reducción se debe al cierre de estomas y al fuerte daño que causa el cloruro de sodio a la enzima rubisco. En presencia de NaCl se reduce la actividad catalítica de rubisco principalmente debido a la acción de radicales libres que aparecen por efecto del estrés y que alteran la estructura química de esta enzima [14]. La sintomatología observada se presenta en la Figura 1. Entre las plántulas provenientes de las ocho diferentes localidades fue posible observar claras diferencias de crecimiento (Tabla 4). Ninguna plántula creció en las concentraciones de 200mM y 250mM de NaCl. La menor tolerancia se observó en plántulas provenientes de Quero (Tungurahua). Estas plántulas crecieron hasta una concentración de 75mM de NaCl; en el resto de concentraciones de NaCl las plántulas murieron en un tiempo aproximado de 15 días con todos los síntomas de respuesta al estrés salino previamente mencionados. Por el contrario, la mayor tolerancia se observó en las plántulas provenientes de Chaltura (Imbabura). En estas plántulas el crecimiento ocurrió hasta una concentración de NaCl de 175mM (Figura 2). Los resultados de este ensayo coinciden con los obtenidos en la germinación de semillas y en el cultivo de segmentos nodales. En el país se conoce muy poco acerca del impacto real que tiene la salinización de los suelos en la productividad de los cultivos, y se ha reportado previamente la necesidad de llevar a cabo estos estudios con la finalidad de conocer mejor las condiciones edáficas de la Sierra ecuatoriana. Adicionalmente, la Dirección Nacional de Biodiversidad ha desarrollado programas con el fin de mejorar los

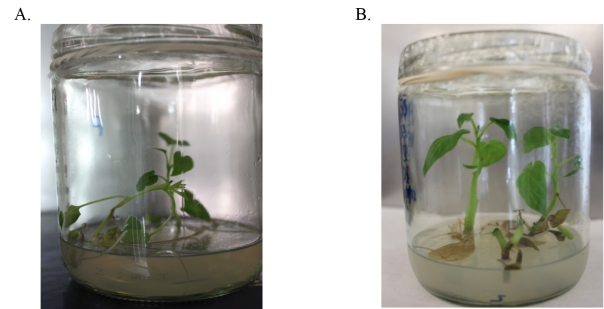


Figura 2: Crecimiento de plántulas de tomate de árbol provenientes de la localidad más y menos tolerante a salinidad. A) Plántulas de Quero en 75mM de NaCl, se observa crecimiento reducido B) Plántulas de Chaltura en 175mM de NaCl. Se observa hojas y raíces secas, crecimiento reducido. Fotos tomadas 1 mes después de iniciado el cultivo in vitro en presencia de NaCl.

sistemas de agua de riego en los territorios agrícolas del país. El objetivo de estos programas es la reducción de la desertificación de ciertas zonas, evitar problemas de salinización de suelos y así mejorar la productividad de los cultivos [15, 16]. A pesar de que existen muy pocos estudios sobre el grado de salinización de las zonas agrícolas de nuestro país, se conoce que muchos sectores de la provincia de Imbabura, incluyendo la localidad de Chaltura, está gravemente afectados por estrés salino [17]. Por esta razón, haber encontrado la mayor tolerancia a estrés salino en plántulas provenientes de esta zona es consecuente con la información existente sobre esta temática en el país.

Conclusiones

Como resultado del presente estudio se obtuvo información importante acerca de la respuesta del tomate de árbol a estrés salino en condiciones de cultivo in vitro. Se pudo identificar los individuos más y menos tolerantes a salinidad dentro de las siete u ocho localidades evaluadas en los diferentes ensayos realizados. Las plantas de tomate de árbol más tolerantes provinieron de Chaltura (provincia de Imbabura) y las menos tolerantes de Quero (provincia de Tungurahua). Este resultado fue consistente al evaluar el tiempo que demoraron las semillas en germinar, el crecimiento de segmentos nodales y el crecimiento de plántulas transferidas a medio MS con diferentes concentraciones de NaCl. El promedio de germinación de semillas fue de 62 % en 50mM de NaCl y 57 % en 75mM de NaCl, en comparación con un 94 % en MS sin NaCl. Al cultivar segmentos nodales, la máxima concentración de NaCl a la cual se observó crecimiento en los individuos de Chaltura fue de 120mM mientras que en individuos de Quero fue de 75mM. En el cultivo de plántulas de tomate de árbol en diferentes concentraciones de NaCl, la máxima concentración tolerada por plántulas de Chaltura fue 175mM y 75 mM por plántulas de Quero. Adicionalmente, en este estudio se identificó que la máxima concentración de NaCl a la cual crecieron plántulas a partir de segmentos nodales fue de 100mM en las siete localidades analizadas. Esta concentración permite clasificar a esta especie como

moderadamente tolerante a salinidad de acuerdo a datos de la FAO. Los resultados obtenidos en esta investigación son la base para realizar estudios futuros de la respuesta a salinidad del tomate de árbol a nivel genético. Entender los mecanismos y los genes que se activan en plantas tolerantes a este tipo de estrés abiótico es el primer paso para utilizar estos recursos en programas de mejoramiento de ésta u otras especies. Haber identificado al tomate de árbol como un cultivo moderadamente tolerante a la salinidad, lo convierte en un buen candidato para la identificación potencial de nuevos genes.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Universidad San Francisco de Quito por el financiamiento para esta investigación a través del Small Grant 2008-2009, a Mario Caviedes, por sus comentarios a lo largo de la ejecución de este proyecto y a Bernardo Gutiérrez por la revisión del manuscrito.

Referencias

- [1] Wang, W.; Vinocur, B.; Altman, A. 2003. "Plant responses to drought, salinity and extreme temperatures: towards genetic engineering for stress tolerance". *Planta*, 18:1–14.
- [2] Fassbender, H.; Bornemisza, E. 1987. "Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina". 2da Edición. San José, C.R.: IICA, 1994.
- [3] Munns, R. 2005. "Genes and salt tolerance: bringing them together". *New Phytologist*, 167:645–663.
- [4] Brouwer, C.; Goffeau, A.; Heibloem, M. 1985. "Irrigation water management: Training Manual No. 1- Introduction to Irrigation". *FAO Corporate Document Repository* <<http://www.fao.org/docrep/R4082E/r4082e00.htm#Contents>>.
- [5] Prohens, J.; Nuez, F. 2000. "The Tamarillo (*Cyphomandra betacea*); A Review of a Promising Small Fruit Crop". *Small Fruits Review*, 1(2).
- [6] Feicán, C.; Encalada, C.; Larriva, W. 1999. "El Cultivo del Tomate de Árbol". *Estación Chuquipata Granja Experimental Bullcay*. INIAP. Cuenca.
- [7] Murashige, T.; Skoog, F. 1962. "A revised Medium for Rapid Growth and Bio Assays with Tobacco Tissue Cultures". *Physiologia Plantarum*, 15(3):473–497.
- [8] Liu, X.; Baird, V. 2003. "Differential Expression of Genes Regulated in Response to Drought or Salinity Stress in Sunflower". *Crop Science*, 43:678–687.
- [9] Nabors, M. 2006. "Introducción a la botánica". 1era Edición. Addison-Wisley Iberoamericana. Madrid-España.
- [10] Padilla, W. 2007. "El suelo componente importante del ecosistema". *Grupo Clínica Agrícola. Quito-Ecuador*.
- [11] Bagley, C.; Kotuby-Amacher, J.; Farrell-Poe, K. 2004. "Análisis de la Calidad del Agua para el Ganado". *Estern Beef Resource Committee. Edición Español*.
- [12] Umezawa, T.; Sakurai, T.; Totoki, Y.; Toyoda, A.; Seki, M.; Ishiwata, A.; Akiyama, K.; Kurotani, A.; Yoshida, T.; Mochida, K.; Kasuga, M.; Todaka, D.; Maruyama, K.; Nakashima, K.; Enju, A.; Mizukado, S.; Ahmed, S.; Yoshiwara, K.; Harada, K.; Tsobokura, Y.; Hayashi, M.; Sato, S.; Anai, T.; Ishimoto, M.; Funatusuki, H.; Teraishi, M.; Osaki, M.; Shinano, T.; Akashi, R.; Sasaki, Y.; Yamaguchi-Shinozaki, K.; Shinozaki, K. 2008. "Sequencing and Analysis of Approximately 40 000 soybean ADNc clones from a full-length-enriched ADNc Library". *DNA Research*, 15:333–346.
- [13] Aoki, K.; Yano, K.; Suzuki, A.; Kawamura, S.; Sakurai, N.; Suda, K.; Kurabayashi, A.; Suzuki, T.; Tsugane, T.; Watanabe, M.; Ooga, K.; Torii, M.; Narita, T.; Shin-I, T.; Kohara, Y.; Yamamoto, N.; Takahashi, H.; Watanabe, Y.; Egusa, M.; Kodama, M.; Ichinose, Y.; Kikuche, M.; Fukushima, S.; Okabe, A.; Arie, T.; Sato, Y.; Yazawa, K.; Satoh, S.; Omura, T.; Ezura, H.; Shibata, D. 2010. "Large-scale analysis of full-length ADNc from the tomato (*Solanum lycopersicum*) cultivar Micro-Tom, a reference system for the Solanaceae genomics". *BMC Genomics*, 11:210.
- [14] Seeman, J.; Sharkey, T. 1986. "Salinity and Nitrogen Effects on Photosynthesis, Ribulose-1,5- Biphosphate Carboxylase and Metabolite Pool Sizes in *Phaseolus vulgaris L*". *Plant Physiol*, 82:555–560.
- [15] Dirección Nacional de Biodiversidad y Áreas Protegidas - Ministerio del Ambiente de la República del Ecuador. 2004. "Programa de acción nacional de lucha contra la desertificación y mitigación de la sequía". <<http://www.unccd.int/ActionProgrammes/ecuador-spa2004.pdf>>.
- [16] Zebrowski, C. 1996. "Los suelos con cangahua en el Ecuador". *Memorias del III Simposio Internacional sobre Suelos Volcánicos endurecidos*. 128:128–137.
- [17] Barriga, S. 2003. "Diagnóstico de la Salinidad de los Suelos Cultivados en las Principales Áreas Bajo Riego en el Ecuador". *Universidad Central del Ecuador. Tesis de Pregado. Quito*.