
EFECTO DE LA SALINIDAD SOBRE LA GERMINACIÓN Y CRECIMIENTO VEGETATIVO DE PLANTAS DE TOMATE SILVESTRES Y CULTIVADAS

Vitelio Goykovic Cortés, Pamela Nina Alanoca y Mariela Calle Llave

RESUMEN

Con el fin de alcanzar una mejor comprensión de la respuesta de semillas y plantas de tomate de las especies *Solanum chilense*, *S. peruvianum*, *S. lycopersicoides* y *S. lycopersicum* cv. Poncho Negro, a las sales y el estrés hídrico, los efectos del NaCl y polietilenglicol (PEG) en la germinación y biomasa de las plantas en similares condiciones isosmóticas, fueron analizados. Las semillas fueron puestas a germinar en una cámara de crecimiento a temperaturas alternas 20/25°C aplicadas por 8/16h. Las plantas fueron cultivadas en macetas. La biomasa de todas las poblaciones de tomate disminuye con 100mM de NaCl y su equivalente isosmótico de PEG (-0,38MPa). A niveles de 150mM de NaCl y su equivalente isosmótico de PEG

(-0,57MPa) los efectos en la biomasa son más perjudiciales con PEG (-0,57MPa). Una mayor biomasa se registra en las plantas tratadas con NaCl respecto a los tratamientos con PEG, de modo que existe un efecto iónico del estrés salino. El estrés causado por 100mM NaCl y su equivalente isosmótico de PEG es más severo en plantas que en semillas. Pero con niveles de NaCl de 150mM y su equivalente isosmótico de PEG los efectos más perjudiciales se observan en las semillas. La especie silvestre *S. peruvianum*, que crece en el valle de Lluta, Chile, junto con la especie cultivada *S. lycopersicum* cv. Poncho Negro demostraron tener la mayor tolerancia a NaCl 100mM y a su equivalente isosmótico de PEG.

Introducción

En los ambientes áridos y semiáridos, la sequía y la salinidad son los principales agentes abióticos que limitan fuertemente la actividad agrícola, al reducir el número de especies posibles de cultivar y afectar los rendimientos, producto de la disminución del potencial hídrico del medio, que reduce la absorción de agua durante la germinación y en las otras etapas de la ontogenia de las plantas, y/o por la absorción de iones como sodio y cloruros que producen problemas de toxicidad y nutricionales (Yokoi *et al.*, 2002). Se estima que ~800×10⁶ha en el planeta están afectadas por sales, de éstas 397×10⁶ha lo son por problemas de salinidad y 434×10⁶ha por condiciones aso-

ciadas a sodicidad (FAO, 2000; Munns, 2005).

En el tomate cultivado son contadas las variedades tolerantes a salinidad debido a la restringida variabilidad genética que presenta este cultivo Rick (1976); entre éstas se encuentran la accesión Edkawy (Cuartero y Fernández-Muñoz, 1999), la accesión PI 174263 (Foolad y Lin, 1997) y el híbrido Radja (Gc-793) (Pérez-Alfonca *et al.*, 1996). De la tolerancia a la salinidad entre las especies silvestres la literatura señala a *Solanum sitiens*, *S. chilense* y *S. peruvianum* (Chetelat y Rick, 2004; Rick y Chetelat, 1995; Zegarra, 2005; Chetelat *et al.*, 2009) y como tolerantes a la sequía, a las especies *S. sitiens*, *S. chilense*, *S. lycopersicoides* y *S. peruvianum* (Suzuki *et al.*, 1995;

Zegarra, 2005; Chetelat *et al.*, 2009), de manera que una de las estrategias posibles de implementar para mejorar la tolerancia del tomate a éstos estreses es recurrir a genes presentes en las taxas silvestres del tomate cultivado.

En la macro región desértica de Chile cuatro son las especies de tomate silvestres que prosperan (Chetelat *et al.*, 2009), pero en el extremo norte de esta región, en la parte superior de la cuenca del río Lluta, es posible observar el crecimiento de *S. chilense* y *S. lycopersicoides*, mientras que en la parte baja de la cuenca, en el valle de Lluta, crece *S. peruvianum* (Contreras y Thoman, 1986; Chetelat y Rick, 2004), el cual convive en forma ruderal con cultivos comerciales (Cubillos, 1966) y entre

estos el cultivar de tomate Poncho Negro, que por décadas los agricultores lo han cultivado. Este valle se caracteriza por presentar escasas precipitaciones, un alto contenido de sales y boro en sus suelos y agua de riego disponible (Doussoulin y De la Riva, 1994; Bastías *et al.*, 2004; DGA, 2004; Albornoz *et al.*, 2007; Doussoulin y Quezada, 2008; Torres y Acevedo, 2008), de modo que estas especies en algún grado han evolucionado adaptando su sistema biológico para prosperar en este ambiente árido con limitantes hídricas y salinas. De acuerdo a Díaz *et al.* (2011) la presencia de boro en la solución suelo mitiga el efecto adverso de las sales en el cv. Poncho Negro, a través de una baja acumulación de Na⁺ en las hojas, una alta concentración

PALABRAS CLAVE / Estrés Iónico Selectivo / Estrés Osmótico / Estrés Salino / NaCl / Polietilenglicol /

Recibido: 21/01/2014. Modificado: 16/05/2014. Aceptado: 19/05/2014.

Vitelio Goykovic Cortés. Ingeniero Agrónomo, Magíster en Ciencias Agropecuarias y Doctor en Ciencias Silvoagropecuarias y Veterinarias, Universidad de Chile. Académico e Investigador, Universidad de Tarapacá

(UTA) Chile. Dirección: Departamento de Producción Agrícola, Facultad de Ciencias Agronómicas, UTA. Km 12 valle de Azapa. Casilla 6-D. Arica. Chile. e-mail: vgoykovi@uta.cl

Pamela Nina Alanoca. Ingeniera Agrónoma, UTA, Chile. Asesora Técnica, Programa de Desarrollo Local (PRODESAL), Colchane, Tarapacá, Chile. e-mail: ninagro@gmail.com

Mariela Calle Llave. Ingeniera Agrónoma, UTA, Chile. Jefa Técnica, Programa de Desarrollo Territorial Indígena (PDTI), Colchane, Tarapacá, Chile. e-mail: mariela.27@gmail.com

SALINITY EFFECT ON GERMINATION AND VEGETATIVE GROWTH OF WILD AND CULTIVATED TOMATO PLANTS

Vitelio Goykovic Cortés, Pamela Nina Alanoca and Mariela Calle Llave

SUMMARY

In order to provide a better understanding of the response to salt and water stress in tomato seeds and plants of the species *Solanum chilense*, *S. peruvianum*, *S. lycopersicoides* and *S. lycopersicum* cv. *Poncho Negro*, the effects of NaCl and polyethylene glycol (PEG) on germination and plant biomass were analyzed at similar iso-osmotic conditions. The seeds were placed to germinate in a growth chamber at alternating temperatures of 20/25°C applied for 8/16h. Plants were grown in pots. The biomass of all populations of tomato decreased with 100mM NaCl and equivalent iso-osmotic PEG (-0.38MPa). At levels of 150mM NaCl and equivalent iso-osmotic PEG (-0.57MPa)

biomass effects are more detrimental with PEG (-0.57MPa). Higher biomass recorded in plants treated with NaCl compared to treatment with PEG, so that there is an effect of ionic salt stress. The stress of 100mM NaCl and equivalent iso-osmotic PEG is more severe in seed than in plants. But with levels of 150mM NaCl and the equivalent iso-osmotic PEG the most damaging effects are observed in the seeds. The wild species *S. peruvianum*, found growing in the valley of Lluta, Chile, along with the cultivated species *S. lycopersicum* cv. *Poncho Negro*, were shown to have greater tolerance to 100mM NaCl and the iso-osmotic equivalent of PEG.

EFEITO DA SALINIDADE SOBRE A GERMINAÇÃO E CRESCIMENTO VEGETATIVO DE PLANTAS DE TOMATE SILVESTRES E CULTIVADAS

Vitelio Goykovic Cortés, Pamela Nina Alanoca e Mariela Calle Llave

RESUMO

A fim de alcançar uma melhor compreensão da resposta de sementes e plantas de tomate das espécies *Solanum chilense*, *S. peruvianum*, *S. lycopersicoides* e *S. lycopersicum* cv. "Poncho Negro", aos sais e o estresse hídrico, os efeitos do NaCl e polietilenoglicol (PEG) na germinação e biomassa das plantas em similares condições isosmóticas, foram analisados. As sementes foram colocadas para germinar em uma câmara de crescimento a temperaturas alternas 20/25°C aplicadas por 8/16h. As plantas foram cultivadas em jarros. A biomassa de todas as populações de tomate diminuiu com 100mM de NaCl e seu equivalente isosmótico de PEG (-0,38MPa). A níveis de 150mM de NaCl e seu equivalente isosmótico de PEG (-0,57MPa) os efeitos na

biomassa são mais prejudiciais com PEG (-0,57MPa). Uma maior biomassa se registra nas plantas tratadas com NaCl em relação aos tratamentos com PEG, de modo que existe um efeito iônico do estresse salino. O estresse causado por 100mM NaCl e seu equivalente isosmótico de PEG é mais severo em plantas que em sementes. Mas com níveis de NaCl de 150mM e seu equivalente isosmótico de PEG os efeitos mais prejudiciais se observam nas sementes. A espécie silvestre *S. peruvianum*, que cresce no vale de Lluta, Bolívia, junto com a espécie cultivada *S. lycopersicum* cv. "Poncho Negro" demonstraram ter a maior tolerância a NaCl 100mM e a seu equivalente isosmótico de PEG.

de boro en las hojas, la mantención de la concentración de K⁺ en el tejido, un aumento de la tasa de fotosíntesis y un buen estado hídrico por la acumulación de azúcares solubles y prolina. Otras investigaciones (Contreras *et al.*, 2011) relacionadas a este cultivar, que fue expuesto a concentraciones crecientes de B (5 y 20mg·l⁻¹) y NaCl (75 y 150mM), informan que las plantas fueron capaces de realizar ajuste osmótico, incrementar el turgor y no mostrar el efecto tóxico de la salinidad.

El presente trabajo tuvo como objetivos determinar el efecto del NaCl y del agente osmótico inactivo polietilenglicol (PEG 6000) en las fases de germinación de semillas y crecimiento de las plantas de to-

mate silvestres *S. chilense*, *S. lycopersicoides*, *S. peruvianum* y del tomate cultivado *S. lycopersicum* cv. *Poncho Negro*, con el propósito de detectar diferencias de tolerancia a los estreses de sequía y salinidad entre estas especies, que puedan servir de base para el mejoramiento del tomate cultivado. Para determinar estos efectos se cuantificó el porcentaje de germinación y la biomasa de las plantas.

Material y Métodos

Se llevaron a cabo dos ensayos, uno de germinación de semillas y otro de crecimiento vegetativo. Como material biológico para efectuar los experimentos del efecto iónico y osmótico sobre la germinación y

el crecimiento vegetativo se utilizaron semillas de las especies silvestres de tomate *Solanum chilense* (Schl), *S. peruvianum* (Sper) y *S. lycopersicoides* (Slyc) y del tomate cultivado *S. lycopersicum* cv. *Poncho Negro* (SIPN). Todas las semillas se extrajeron de frutos recolectados *in situ* en la cuenca del río Lluta, XV Región, Chile. La recolección correspondió a lugares en que investigadores anteriores han recolectado estas especies (Cubillos y León, 1995; Suzuki *et al.*, 1995; Maldonado *et al.*, 2003; Alburquenque, 2005). Considerando las tipologías climáticas definidas para esta zona (IREN-CORFO, 1975) la población de la acésion de *S. chilense* se recolectó en lugares bajo predominio del clima De-

sértico Marginal de Altura, la población de *S. peruvianum* se recolectó en la tipología climática Desértico Normal con Nubosidad Abundante, la acésion *S. lycopersicoides* se recolectó en sitios bajo predominio del clima Desértico Marginal de Altura. La extracción de las semillas de los frutos del cv. *Poncho Negro* (provistos por un agricultor del valle de Lluta, km 20) y de las especies silvestres, al igual que su secado, empaque y almacenaje se realizó de acuerdo a lo señalado por Hanson (1985).

Experimento de germinación de semillas

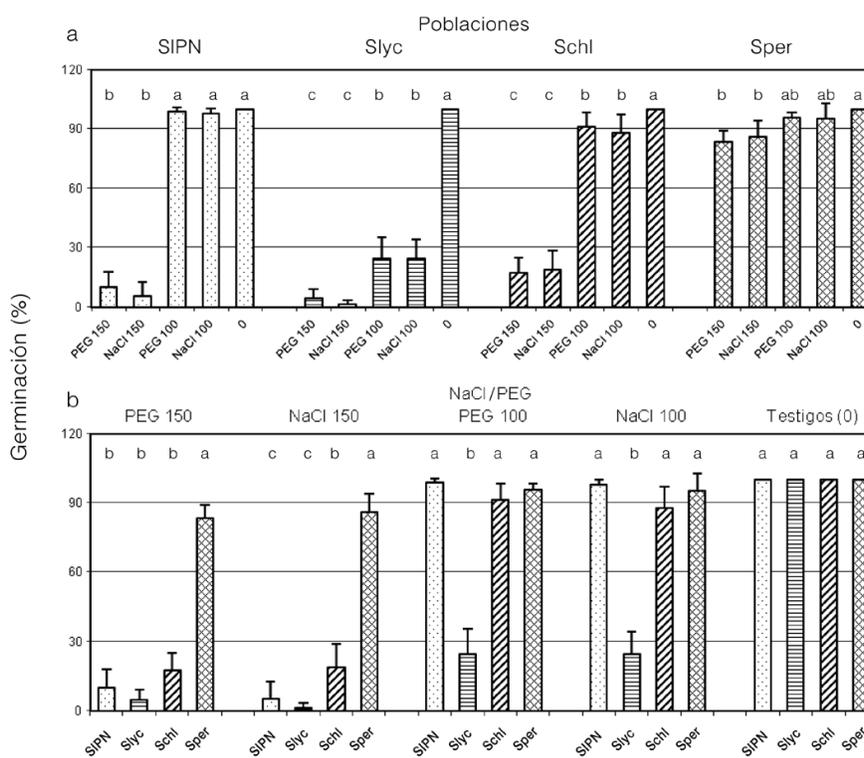
Las semillas se secaron hasta un contenido de humedad cercano al 8% y antes de la

siembra se humidificaron a una temperatura de 20°C por 48h, de forma de evitar daños en la imbibición (Rao *et al.*, 2006). Para la siembra se emplearon placas de Petri y como sustrato de germinación papel Whatman # 1. La cama de siembra constó de ocho papeles. Las semillas se seleccionaron manualmente escogiendo aquellas que presentaron tamaño uniforme, se desinfectaron con hipoclorito de sodio 1% (v/v) por 2-5min, enjuagándose posteriormente con agua destilada (Hong y Ellis, 1996). En cada placa se sembraron sobre el papel 25 semillas (unidad experimental) por tratamiento de cada población, replicándose seis veces, de modo que cada tratamiento estuvo compuesto por un total de 150 semillas.

Cada una de estas cuatro poblaciones se expusieron a dos soluciones de NaCl (100 y 150mM) y dos soluciones de polietilenglicol 6000 (PEG). Se usó agua destilada como tratamiento testigo. Las placas de Petri se cubrieron con plástico *stretch* (Europlas®) en forma hermética de modo de prevenir la evaporación.

Para determinar el potencial osmótico de las soluciones de NaCl se utilizó un osmómetro de presión de vapor marca Roebbing. Una vez determinados estos potenciales se procedió a calcular la concentración de PEG 6000 a emplear de modo de obtener las correspondientes soluciones isosmóticas.

Las placas se colocaron en una cámara de crecimiento a temperaturas alternas 20/25°C aplicadas por 8/16h. El periodo luz/oscuridad fue de 16/8h. Se optó por emplear estas temperaturas considerando los resultados obtenidos por Maldonado *et al.* (2002), quienes encontraron que el óptimo de temperatura para la germinación de *S.*



Letras distintas indican diferencias significativas. Tukey ($P \leq 0,05$)

Figura 1. Efecto iónico y osmótico en semillas. a: diferencias dentro de cada una de las especies respecto al nivel de NaCl-PEG, b: diferencias dentro de cada uno de los niveles de NaCl-PEG respecto a las poblaciones de tomate.

chilense estaba entre 15 y 25°C, como también teniendo presente lo informado por Rao *et al.* (2006), que consideran como temperatura óptima para la germinación de *S. lycopersicum* la alternancia de temperaturas 20/30°C y el empleo de luz. La fuente de luz de la cámara de crecimiento fueron tubos fluorescentes blancos considerando que su emisión espectral es débil en el infrarrojo y elevada en la región del rojo, lo que favorece la germinación (Peretti, 1994). Como semilla germinada se consideró aquella en que se evidenció la radícula. Diariamente se observó la ocurrencia de este fenómeno por un periodo de 30 días.

Al detectarse la existencia de heterocedasticidad de la varianza mediante el contraste de los residuos frente a las predicciones, utilizando el programa Statgraphics 5.1 se convirtió la variable respuesta empleando la transformación angular o arcoseno por ser considerada la más adecuada para este tipo de datos (Little y

Hills, 1984). Expresada en notación matemática ésta es $\arcsen \sqrt{x}$ donde x representa el porcentaje de germinación.

Como diseño experimental se empleó el diseño completamente al azar con estructura factorial 4x5 (cuatro poblaciones de tomate y cinco niveles de soluciones osmóticas: NaCl 100 y 150mM, PEG₁₀₀, PEG₁₅₀ y la solución testigo). Se hicieron seis repeticiones.

Para el análisis estadístico se realizó un análisis de varianza con $P \leq 0,05$ y para la comparación de las medias se empleó la prueba de rango múltiple de Tukey ($P \leq 0,05$). Como herramienta computacional de análisis de datos se empleó el programa estadístico InfoStat (2004). El modelo estadístico empleado fue

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + (AB)_{ij} + \epsilon_{k(ij)}$$

Experimento de crecimiento vegetativo

Respecto a las plantas empleadas para analizar el efecto iónico y osmótico, estas se

desarrollaron en macetas de polietileno de 250ml, cultivándose una planta por maceta, el sustrato empleado fue una mezcla de perlita y vermiculita humedecida (1:1 v/v) la cual se lavó cuatro veces con agua desionizada. Las plantas se expusieron a idénticas soluciones de NaCl y de polietilenglicol 6000 (PEG). La aplicación de NaCl y de PEG 6000 comenzó cuando las plántulas tenían la cuarta hoja verdadera expandida y duró 30 días. Cumplido este periodo las plantas se extrajeron de las macetas, removiéndoles el sustrato adherido a las raíces, luego se secaron en una estufa con circulación de aire a 70°C por 48h y finalmente

fueron pesadas en una balanza analítica para cuantificar su peso seco. Los tratamientos testigos de cada población se regaron sólo con la solución nutriente Hoagland (Hernández, 2002). Los maceteros se ubicaron en un invernadero con cubierta de policarbonato. El diseño experimental, análisis de varianza y modelo estadístico empleado fue el mismo al utilizado en los experimentos de germinación.

Resultados

Germinación de semillas

La germinación de las semillas de las poblaciones SIPN y Sper tratadas con NaCl 100mM y PEG₁₀₀ (Figura 1a) no fueron afectadas por las sales ni por el agente osmótico. Con dosis de NaCl 150mM y su equivalente isosmótico PEG₁₅₀, las cuatro poblaciones presentaron una disminución en la germinación de las semillas, pero ésta fue menos notable en la población Sper.

Dentro de cada nivel de NaCl-PEG (Figura 1b) los tratamientos con PEG₁₀₀ y NaCl

100mM la germinación de las semillas en las poblaciones SIPN, Schl y Sper fue bastante alta, entre 91,2 y 98,6%. A nivel de NaCl 150mM o PEG₁₅₀ la población Sper fue significativamente superior al resto de las poblaciones.

Biomasa de las plantas

Al interior de cada población (Figura 2) el NaCl en dosis de 100mM (-0,38MPa) afectó la biomasa de las cuatro poblaciones de tomate, pues todos los tratamientos con esta concentración de sal fueron significativamente inferiores a los controles (0/0). La mayor reducción en la biomasa la registró la población Slyc al reducirse en 60,47%, le siguen en orden descendente la población Schl con 48,62%, Sper con 45,43% y SIPN, con una reducción en su biomasa de 38,32%.

Con PEG₁₀₀ (al mismo potencial osmótico que el NaCl 100mM, -0,38MPa) las cuatro poblaciones de tomate fueron afectadas adversamente, en un grado superior al producido por el NaCl, la población que más redujo su biomasa fue nuevamente la población Slyc que la disminuyó en 86,05%, mientras que la menos afectada fue de nuevo la población SIPN que la redujo en 79,24%.

Al comparar la biomasa entre los tratamientos NaCl 100mM y PEG₁₀₀, los que presentan el mismo potencial de solutos (-0,38MPa), en todas las poblaciones se registró una significativa mayor biomasa con el NaCl. Dosis de 150mM de NaCl (-0,57MPa) en la solución de riego afectaron fuertemente la biomasa de las plantas en mucho mayor grado que la solución de 100mM de NaCl, a pesar que la población Slyc registró una biomasa aparentemente inferior a la que presentó con 100mM de NaCl, pero ésta es estadísticamente igual. Las poblaciones más afectadas fueron Slyc y Schl

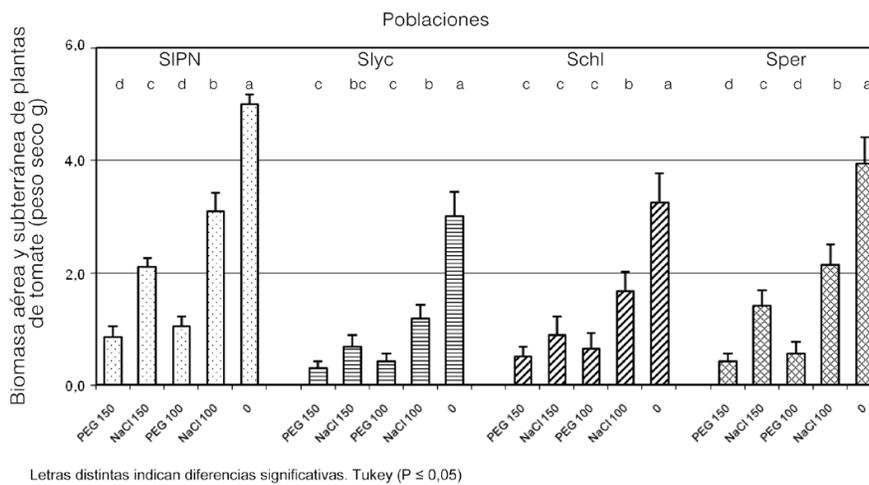


Figura 2. Biomasa aérea y subterránea de plantas de tomate. Peso seco (g).

que redujeron su biomasa en 77,08% y 72,31% respectivamente en relación a los testigos. Mientras que las poblaciones Sper y SIPN la disminuyeron 63,96% y 58,08% respectivamente en relación a los testigos.

Con PEG₁₅₀ al mismo nivel osmótico (-0,57MPa) que el NaCl 150mM, también se observaron efectos negativos en la biomasa de las poblaciones de tomate, todas ellas fueron estadísticamente inferiores a los testigos; sin embargo, al compararlas con PEG₁₀₀ no se registraron diferencias estadísticas en todas ellas, de modo que su biomasa fue similar.

Al comparar la biomasa entre los tratamientos NaCl 150mM y PEG₁₅₀, los tratamientos salinos presentaron mayor biomasa, la cual fue significativa solo en las poblaciones SIPN y Sper.

Discusión

Germinación de semillas

Las poblaciones SIPN y Sper tratadas con NaCl mM y PEG₁₀₀ (Figura 1a) presentaron una germinación del 98 y 95,2% respectivamente, valores similares a los controles. Estos valores, así como los resultados obtenidos por El-Habbasha *et al.* (1966), quienes señalan que al tratar cvs. de tomate con NaCl el cv. más tolerante presentó una germinación del 90% al someterlo a una concentración de 85,5mM de

NaCl, sugieren que tanto el cultivar SIPN como la especie silvestre presentan una gran habilidad para germinar en un medio caracterizado por un bajo potencial de solutos, producto del efecto osmótico que generan el NaCl y el PEG. También indican que el efecto de los iones Na⁺ y Cl⁻ aportados por la sal a 100mM, sobre el metabolismo celular o en la expresión de algún grado de toxicidad, no fue suficiente para afectar en términos significativos la germinación.

En cambio, las poblaciones Slyc y Schl presentan una significativa menor germinación al ser expuestas a 100mM de NaCl, dando cuenta de su mayor sensibilidad al efecto combinado que producen las sales de reducir el potencial hídrico del medio como también de generar un efecto iónico por el ingreso y/o acumulación de iones en la semilla o plántula (Dodd y Donovan, 1999) los cuales pueden inducir cambios en ciertas actividades enzimáticas y hormonales de las semillas (Jamil *et al.*, 2006; Yildirim y Guvenc, 2006). Al no detectarse diferencias significativas en la germinación entre los tratamientos con NaCl 100mM y PEG₁₀₀ en ninguna de las cuatro poblaciones de tomate, se puede señalar que no hubo un efecto iónico del estrés salino. Estos resultados difieren de los de otros autores (Ruiz y Parera, 2013), quienes al trabajar con semillas de *Atriplex nummularia* expuestas

a soluciones isosmóticas de NaCl y PEG registraron que las mismas son más afectadas cuando el soluto empleado es NaCl. Del mismo modo difieren de los resultados informados por Demir y Mavi (2008) al exponer semillas de la especie *Capsicum annuum* L. cv. Sera Demre a soluciones isosmóticas crecientes de NaCl y PEG, detectando mayores porcentajes de germinación en los tratamientos con NaCl; respuestas

semejantes obtuvieron Alam *et al.* (2002) al analizar el efecto de estos solutos en la germinación de cuatro cultivares de arroz que informan de un mayor efecto inhibitorio del PEG en relación al NaCl.

Las respuestas diferentes en la germinación obtenidas dentro de cada nivel de NaCl (Figura 1b) permiten afirmar que existe variabilidad genética entre las especies silvestres y entre éstas y la especie cultivada, resultados que coinciden con lo informado por Cuartero y Fernández-Muñoz (1999), Al-Karakí (2000), Camejo y Torres (2000), y Srinivas (2001), al tratar semillas de especies silvestres y cultivares de tomate con diferente niveles de NaCl.

Los resultados de germinación en todas las especies tratadas con NaCl 150mM y PEG₁₅₀ (Figura 1a) son semejantes dentro de cada especie, y son significativamente bajos en las especies silvestres Slyc, Schl y en la cultivada SIPN, hecho que reflejaría su mayor sensibilidad al efecto de éstos solutos a estos niveles. Estos resultados, especialmente en las especies silvestres Slyc, Schl y en la cultivada SIPN, siguen el mismo patrón de otras especies glicófitas como *Pisum sativum* L. (Okçu *et al.*, 2005), *Chorisia speciosa* St. Hil. (Fanti y Gualtieri, 2004) y *Zea mays* (Lainez-Garsaball *et al.*, 2007), que sometidas a una creciente disminución del potencial de solutos reducen el

porcentaje de germinación. Como tampoco en ninguna de estas especies de tomate se detectaron diferencias entre el NaCl y PEG al mismo nivel isosmótico, no existió un efecto iónico del estrés salino de tal forma que las semillas fueron afectadas principalmente por el efecto osmótico.

Dentro de cada nivel de NaCl/PEG (Figura 1b) se puede observar que la especie Sper tratada con PEG₁₅₀ o NaCl 150mM se diferenció significativamente del resto de las especies. Al respecto, estudios realizados por Srinivas (2001) al evaluar accesiones de *S. peruvianum*, *S. pimpinellifolium* y de tomate cultivado usando NaCl, reportó que tres de veinte accesiones de *S. peruvianum* fueron más tolerantes a la salinidad, al registrar una mejor germinación y crecimiento de la plúmula/radicula hasta una conductividad eléctrica de 10,2dS·m⁻¹, mientras que el resto de las accesiones mostraron efectos perjudiciales a niveles >4,95dS·m⁻¹. Los resultados obtenidos indican que Sper presenta la mayor tolerancia salina. En los tratamientos con PEG₁₀₀, los resultados de germinación en las poblaciones SIPN, Schl y Sper sugieren que la diferencia entre el potencial de solutos de las células de la semilla y el medio es suficiente para que éstas especies no presenten inconvenientes en la absorción de agua y puedan finalizar en buenos términos el proceso de germinación.

En resumen, los resultados de los experimentos de germinación demostraron que *S. peruvianum* y el cv. Poncho Negro presentaron el mayor porcentaje de germinación cuando fueron sometidos a 100mM NaCl. Al incrementarse la concentración a 150mM NaCl solamente la especie *S. peruvianum* fue significativamente superior al resto de las especies. Estos resultados indican que *S. peruvianum* presenta un valor genético superior para tolerancia al estrés salino. El cv. Poncho Negro mostró en la germinación una respuesta semejante a la de poblaciones de la especie *S. peruvianum* a 100mM

NaCl, de modo que también puede tipificarse como germoplasma de gran utilidad para el mejoramiento de los cultivares de *S. lycopersicum*, teniendo la ventaja, por tratarse ya de una planta cultivada, de facilitar las labores relacionadas a la transmisión de los caracteres vinculados a la salinidad. Tanto esta especie silvestre como el cultivar se encuentran creciendo en la parte baja de la cuenca del río Lluta, en el valle de Lluta, en el cual la conductividad eléctrica del agua es alta variando entre 3,37 y 5,26dS·m⁻¹ según la estación del año (DGA, 2004).

Biomasa de las plantas

Al registrarse dentro de cada población diferencias significativas entre los tratamientos testigos y aquellos con 100mM de NaCl (Figura 2) las sales afectaron el crecimiento, respuesta que puede estar relacionada a una menor absorción de agua, puesto que se altera su absorción por las raíces (Shannon y Grieve, 1999), situación que afecta adversamente procesos morfofisiológicos y bioquímicos (Dominguez *et al.*, 2012) y al desencadenamiento de desequilibrios iónicos por la absorción de sodio y cloruros, los que generan efectos secundarios (Yokoi *et al.*, 2002) tales como problemas de toxicidad y nutricionales vinculados a la absorción de otros iones esenciales para el crecimiento y desarrollo. Resultados semejantes a los aquí obtenidos informan Morales *et al.* (2010) al analizar la respuesta del cv. de tomate Amalia tratado con 10mM NaCl, donde observaron al finalizar el periodo del estrés salino una menor tasa de crecimiento a nivel foliar y radical, no así a nivel del tallo.

Al obtenerse en todos los tratamientos con NaCl 100mM, dentro de cada especie, una mayor biomasa que en los tratamientos con PEG₁₀₀ (Figura 2), es posible inferir que existió un efecto iónico. Ello debido a que el PEG, al ser un agente osmótico incapaz de penetrar a las células por su gran peso molecular (Gangopa-

dhyay *et al.*, 1997) y no ionizarse en forma apreciable en el agua (Méndez *et al.*, 2010) de modo que su interferencia metabólica es limitada (Holh y Schopfer, 1991), difícilmente puede contribuir a reducir el potencial de solutos en las células; en cambio, los iones Na⁺ y Cl⁻ aportados por la sal sí pueden atravesar las membranas celulares y contribuir a disminuir el potencial de solutos y por tanto establecer un mayor flujo de agua (Almansouri *et al.*, 2001; Bajji *et al.*, 2002), lo que se tradujo en una mayor biomasa de las poblaciones tratadas con 100mM de NaCl. Mientras que el PEG al no contribuir a reducir el potencial de solutos a nivel celular no contribuye a establecer un gradiente de potencial hídrico inhibiendo la absorción de agua. Esta mayor respuesta de las plantas a la exposición de NaCl respecto al PEG es consistente con los resultados de Alam *et al.* (2002), quienes reportan que el crecimiento de la plúmula y radícula de cultivares de arroz expuestos a estos solutos era mucho más bajo en los tratamientos con PEG, y con los publicados por Okçu *et al.* (2005), que también informan que el NaCl tuvo un menor efecto en el peso seco de cultivares de *Pisum sativum* L. respecto al PEG al mismo nivel isosmótico.

Como a niveles de NaCl 150mM y PEG₁₅₀ ocurrió una respuesta semejante en las poblaciones SIPN y Sper, en éstas tuvo lugar un efecto iónico. Cabe señalar que la mejor respuesta en la generación de biomasa de los tratamientos con NaCl no sólo se debe a la acción de los iones Na⁺ y Cl⁻ sino también a una mayor concentración de prolina, soluto osmocompatible que no interfiere en el metabolismo celular (Kuznetsov y Shevyakova, 1997) y que aumenta ante un estrés salino (Amini y Akbar, 2005; Claussen, 2005; Mohamed *et al.*, 2007), y que también contribuye a reducir el potencial de solutos (Viswanathan *et al.*, 2005). En otros experimentos realizados (no documentados), la concentración de este ami-

noácido aumentó en presencia de 100mM NaCl.

Al analizar la respuesta de las semillas y las plantas al estrés impuesto por NaCl y PEG, el estrés no fue igual en estos dos estados de desarrollo, ni entre las especies. En el caso del NaCl 100mM en semillas, las especies que mostraron más tolerancia fueron las poblaciones SIPN y Sper, ambas presentes en el valle de Lluta, caracterizado por presentar niveles superiores de sales por efecto de algunos afluentes que aportan alta salinidad y la existencia de niveles freáticos poco profundos (Torres y Acevedo, 2008). La población Slyc resultó ser la más sensible a la acción del NaCl 100mM, pues su germinación disminuyó en 75,25%. Al observar las respuestas al NaCl 100mM, en el estado de plantas, las cuatro especies muestran una significativa menor biomasa respecto a los testigos, siendo sensibles al efecto de las sales.

Los efectos impuestos por el PEG₁₀₀ en las semillas presentaron una respuesta similar a los tratamientos con NaCl 100mM, de modo que la disminución del potencial de solutos impuesta por este agente osmótico produce los mismos efectos que el NaCl a idéntico nivel osmótico (-0,38MPa). En cambio, la influencia del PEG₁₀₀ en las plantas fue mayor, ya que todas las poblaciones de tomate presentaron una significativa menor biomasa que los controles. Esa mayor habilidad que mostraron las poblaciones SIPN y Sper para que sus semillas germinasen, no se manifiesta en el estado de plantas. Estos resultados probablemente estén relacionados con el potencial hídrico, puesto que en el estado de semillas éste es bastante negativo. De acuerdo a Berry y Bewley (1992) el potencial hídrico del endosperma y embrión maduros, en *S. lycopersicum* presenta valores entre -1,6 y -2,2MPa, mientras que el potencial hídrico cuantificado en las plantas varió entre -0,19MPa para SIPN y

-0,26MPa para Schl. Por lo tanto el flujo de agua se ve favorecido en las semillas dado que éste es directamente proporcional a la diferencia de potencial hídrico (García *et al.*, 2006).

En conclusión, la germinación en tomate difiere según la especie y el nivel de NaCl o PEG a que son expuestas las semillas. En este caso la especie silvestre Sper, que se encuentra creciendo en el valle de Lluta, y la especie cultivada SIPN, demostraron tener la mayor tolerancia a 100mM NaCl y a PEG₁₀₀, pero niveles osmóticos superiores afectaron fuertemente a la especie cultivada.

El estrés causado por 100mM NaCl y su equivalente isosmótico de PEG es más severo en plantas que en semillas. Pero con niveles de NaCl 150mM y su equivalente isosmótico de PEG los efectos más perjudiciales se observan en las semillas. La biomasa de todas las poblaciones de tomate disminuye con 100mM NaCl y su equivalente isosmótico de PEG. A niveles de 150mM NaCl y su equivalente isosmótico de PEG los efectos en la biomasa son más perjudiciales con PEG₁₅₀. Una mayor biomasa se registra en las plantas tratadas con NaCl respecto a los tratamientos con PEG.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el patrocinio del Centro de Investigaciones del Hombre en el Desierto (CIHDE), Chile.

REFERENCIAS

- Alam MZ, Stuchbury T, Taylor REL (2002) Effect of NaCl and PEG induced osmotic potentials on germination and early seedling growth of rice cultivars differing in salt tolerance. *Pak. J. Biol. Sci.* 5: 1207-1210.
- Albornoz F, Torres A, Tapia ML, Acevedo E (2007) Cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) hidropónico con agua desalinizada y desborificada en el valle de Lluta. *Idesia* 25: 73-80.
- Alburquenque JO (2005) *Evaluación de la Germinación bajo Estrés Salino-Bórico* de *Lycopersicon esculentum* cv. *Poncho Negro* y *Especies Silvestres de Tomate* (*L. chilense*, *L. peruvianum* y *S. lycopersicoides*) *Presentes en el Valle de Lluta, I Región, Chile*. Tesis. Universidad de Tarapacá. 94 pp.
- Al-Karaki GN (2000) Germination of tomato cultivars as influenced by salinity. *Crop-Research-Hisar.* 19: 225-229.
- Almansouri M, Kinet JM, Lutts S (2001) Effect of salt osmotic stresses on germination durum wheat (*Triticum durum* Desf.). *Plant Soil.* 231: 243-254.
- Amini F, Akbar AE (2005) Soluble proteins, proline, carbohydrates and Na⁺/K⁺ changes in two tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) Cultivars under *in vitro* salt stress. *Am. J. Biochem. Biotechnol.* 1: 212-216.
- Bajji M, Kinet JM, Lutts S (2002). Osmotic and ionic effects of NaCl on germination, early seedling growth, and ion content of *Atriplex halimus* (Chenopodiaceae). *Can. J. Bot.* 80: 297-304.
- Bastías EI, González-Moro MB, González-Murua C (2004) *Zea mays* L. amyloacea from the Lluta valley (Arica-Chile) tolerates salinity stress when high levels of boron are available. *Plant Soil.* 267: 73-84.
- Berry T, Bewley JD (1992) A role for the surrounding fruit tissues in preventing the germination of tomato (*Lycopersicon esculentum*) seeds: A consideration of the osmotic environment and abscisic acid. *Plant Physiol.* 100: 951-957.
- Camejo D, Torres W (2000) La salinidad y sus efectos en los estadios iniciales de desarrollo de dos cultivares de tomate (*Lycopersicon esculentum*, Mill.). *Cult. Trop.* 21: 23-26.
- Claussen W (2005) Proline as a measure of stress in tomato plants. *Plant Sci.* 168: 241-248.
- Contreras A, Thomann RG (1986) Prospección de recursos fitogenéticos en el norte de Chile. *Idesia* 10: 61-64.
- Contreras C, Montoya A, Pacheco P, Martínez-Ballesta MC, Carvajal M, Bastías E (2011) The effects of the combination of salinity and excess boron on the water relations of tolerant tomato (*Solanum lycopersicum* L.) cv. Poncho Negro, in relation to aquaporin functionality. *Sp. J. Agric. Res.* 9: 494-503.
- Cuartero J, Fernández-Muñoz R (1999) Tomato and salinity. *Sci. Hort.* 78: 83-125.
- Cubillos AP (1996) *Principios para la Conservación in situ de Parientes Silvestres de Plantas Cultivadas: El Caso de las Especies de Lycopersicon en Chile*. Seminario taller: Conservación in situ de especies silvestres del género *Lycopersicon*. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Ministerio de Agricultura. Chile. Serie la Platina 68: 1-15.
- Cubillos AP, León PL (1995) Antecedentes para planificar una colecta de especies de *Lycopersicon* en la zona norte de Chile. Recursos genéticos. *Centro regional de Investigación La Platina. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Santiago. Chile.* 29 p.
- Chetelat RT, Pertuzé RA, Faúndez L, Graham EB, Jones CM (2009) Distribution, ecology and reproductive biology of wild tomatoes and related nightshades from the Atacama desert region of Northern Chile. *Euphytica* 167: 77-93.
- Chetelat RT, Rick CM (2004) Tomato Genetics Resource Center Department of Vegetable Crops. University of California. Davis, CA, EEUU. <http://tgrc.ucdavis.edu>
- Demir I, Mavi K (2008) Effect of salt and osmotic stresses on the germination of pepper seeds of different maturation stages. *Braz. Arch. Biol. Technol.* 51: 897-902.
- DGA (2004) *Diagnóstico y Clasificación de los Cursos y Cuerpos de Agua según Objetivos de Calidad. Cuenca del Río Lluta*. Dirección General de Aguas. Ministerio de Obras Públicas. Gobierno de Chile. 99 pp.
- Díaz M, Bastías E, Pacheco P, Tapia L, Martínez-Ballesta MC, Carvajal M (2011) Characterization of the physiological response of the highly-tolerant tomato cv. Poncho Negro to salinity and excess boron. *J. Plant Nutr.* 34: 1254-1267.
- Dodd G, Donovan L (1999) Water potential and ionic effects on germination and seedling growth of cold desert shrubs. *Am. J. Bot.* 86: 1146-1153.
- Domínguez A, Mita N, Alemán S, Pérez Y, Sosa M, Fuente L (2012) Algunos indicadores morfológicos y bioquímicos de cinco variedades de *Phaseolus vulgaris* L. bajo condiciones de sequía. *Avanzada Cient.* 15: 1-18.
- Doussoulin EE, De La Riva FM (1994) El aprovechamiento de recursos hídricos marginales en el desarrollo agrícola de la macroregión norte de Chile. *Idesia* 13: 73-80.
- Doussoulin EE, Quezada CL (2008) Introducción al problema de los suelos de las zonas áridas de Chile. En Quezada CL, Sandoval ME, Zagal EV (Eds.) *Manejo de Suelos en Zonas Áridas*. Chile. pp. 22-30.
- El-Habbasha KM, Shaheen AM, Rizk FA (1996) Germination of some tomato cultivars as affected by salinity stress condition. *Egypt. J. Hort.* 23: 179-190.
- Fanti SC, Gualtieri SCJ de AP (2004) Proceso germinativo de semillas de paineira sob estresses hídrico e salino. *Pesq. Agrop. Bras.* 39: 903-909.
- FAO. (2000). Global network on integrated soil management for sustainable use of salt-affected soils. Rome, Italy: FAO Land and plant nutrition management.
- Foolad MR and Lin GY (1997) Genetic potential for salt tolerance during germination in *Lycopersicon* species. *HortScience* 32: 296-300.
- Gangopadhyay G, Basu S, Baran BM, Gupta S (1997) Effects of salt and osmotic shocks on unadapted and adapted callus lines of tobacco. *Plant Cell Tiss. Org. Cult.* 49: 45-52.
- García JB, Santamarina MPS, Roselló JC, García FJB (2006) *Introducción al Funcionamiento de las Plantas*. Universidad Politécnica de Valencia. España 184 pp.
- Hanson J (1985) IBPGR. International Board for Plant Genetic Resources. Procedures for Handling Seeds in Genebanks. Practical manuals for genebanks: no. 1. Rome, Italy.
- Hernández RG (2002) *Nutrición Mineral de las Plantas*. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Universidad de Los Andes. Venezuela. www.forest.ula.ve/~rubenhg
- Hohl M, Schopfer P (1991) Water relations of growing maize coleoptiles. Comparison between mannitol and polyethylene glycol 6000 as external osmoticum for adjusting turgor pressure. *Plant Physiol.* 95: 716-722.
- Hong TD, Ellis RH (1996) *A Protocol to Determine Seed Storage Behaviour*. IPGRI Technical Bulletin N° 1. International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy. 62 pp.
- Infostat (2004) *InfoStat versión 2004*. Grupo InfoStat. FCA, Universidad Nacional de Córdoba. Argentina.
- IREN-CORFO (1975) *Inventario de Recursos Naturales por Método de Percepción del Satélite Landsat. I Región-Tarapacá*. Vol. 1. Convenio IREN-SER-PLAC. Santiago, Chile. 200 pp.
- Jamil M, Bae DL, Yong KJ, Ashraf M, Chun SL, Shik ER (2006) Effect of salt (NaCl) stress on germination and early seedling growth of four vegetables species. *J. Centr. Eur. Agric.* 7: 273-282.
- Kuznetsov W, Shevyakova NI (1997) Stress responses of tobacco cells to high temperature and salinity. Proline accumulation and phos-

- phorylation of polypeptides. *Physiol. Plant.* 100: 320-326.
- Lainez-Garsaball JA, Méndez JR, Mayz-Figueroa J (2007) Efecto de la salinidad del suelo sobre la germinación de semillas de maíz de diferentes pesos en el oriente venezolano. *Temas Agr.* 12: 62-73.
- Little TM, Hills JF (1984) *Métodos Estadísticos para la Investigación en Agricultura*. Trillas. México. 270 pp.
- Maldonado C, Pujado E, Squeo FA (2002) El efecto de la disponibilidad de agua durante el crecimiento de *Lycopersicon chilense* sobre la capacidad de sus semillas para germinar a distintas temperaturas y concentraciones de manitol y NaCl. *Rev. Chil. Hist. Nat.* 75: 651-660.
- Maldonado C, Squeo F, Ibacache E (2003) Phenotypic response of *Lycopersicon chilense* to water deficit. *Rev. Chil. Hist. Nat.* 76: 129-137.
- Méndez JN, Ybarra FP, Merazo JP (2010) Germinación y desarrollo de plántulas de tres híbridos de maíz bajo soluciones osmóticas. VI. Comparación entre cinco soluciones osmóticas. *Rev. Tecnol. ESPOL-RTE* 23: 55-60.
- Mohamed AN, Rahman MH, Alsdon AA, Islam R (2007) Accumulation of proline in NaCl treated callus of six tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivars. *Plant Tissue Cult. Biotech.* 17: 217-220.
- Morales CD, Dell'Amico CJ, Rodríguez CP, Torrecillas A, Sánchez-Blanco MJ (2010) Efecto del estrés por NaCl en el crecimiento y las relaciones hídricas en plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) durante el período vegetativo. *Cultrop* 31(4).
- Munns R (2005) Genes and salt tolerance: Bringing them together. *New Phytol.* 167: 645-660.
- Okçu G, Demir MK, Atak M (2005) Effects of salt and drought stresses on germination and seedling growth of pea (*Pisum sativum* L.). *Turk J. Agri. For.* 29: 237-242.
- Peretti A (1994) *Manual para Análisis de Semillas*. Hemisferio Sur. Buenos Aires, Argentina 282 pp.
- Pérez-Alfocea F, Balibrea ME, Santa-Cruz A, Estañ MT (1996) Agronomical and physiological characterization of salinity tolerance in a commercial tomato hybrid. *Plant Soil* 180: 251-257.
- Rao NK, Hanson J, Dulloo ME, Ghosh K, Nowell D, Larinde M (2006) *Manual of Seed Handling in Genebanks*. Handbooks for Genebanks N° 8. Bioversity International. Rome, Italy. 163 pp.
- Rick CM (1976) Tomato. En Simmonds NW (Ed.) *Evolution of Crop Plants*. Longman. London, RU. pp. 268-273.
- Rick CM, Chetelat RT (1995) Utilization of related wild species for tomato improvement. *Acta Hort.* 412: 21-38.
- Ruiz MB, Parera CA (2013) Efectos del estrés hídrico y salino sobre la germinación de *Atriplex nummularia* (Chenopodiaceae). *Acta Biol. Colomb.* 18: 99-106.
- Shannon MC, Grieve CM (1999) Tolerance of vegetable crops to salinity. *Sci. Hort.* 78: 5-38.
- Sirinivas TR (2001) Salinity tolerance of tomato germplasm during germination. *Seed Sci. Technol.* 29: 673-677.
- Suzuki S, Okawara Y, Sato T, Rojas L, Matus I, Pezoa A (1995) *Informe de Colecta. Especies Género Lycopersicon*. Proyecto de recursos genéticos INIA-JICA. INIA Intihuasi. Chile. 18 pp.
- Torres AH, Acevedo EH (2008) El problema de salinidad en los recursos suelo y agua que afectan el riego y cultivos en los valles de Lluta y Azapa en el norte de Chile. *Idesia* 26: 31-44.
- Viswanathan C, Jagendorf A, Zhu JK (2005) Understanding and improving salt tolerance in plants. *Crop Sci.* 45: 437-448.
- Yildirim E, Guvenc I (2006) Salt tolerance of pepper cultivars during germination and seedling growth. *Turk. J. Agric. For.* 30: 347-353.
- Yokoi S, Bressan RA, Mike HP (2002) Salt stress tolerance of plants. *JIRCAS Working Report*. pp. 25-33.
- Zegarra R (2005) Biodiversidad y taxonomía de la flora desértica sur peruana: familia solanácea. *Idesia.* 22: 64-69.