

## COMPORTAMIENTO DE SIETE CULTIVARES DE *Allium cepa* L. ANTE DIFERENTES NIVELES DE ESTRÉS SALINO

Grisaly García<sup>1</sup>, Marina García<sup>2</sup> y Hugo Ramírez<sup>3</sup>

### RESUMEN

Se evaluó el comportamiento de siete genotipos de cebolla ante la salinidad a partir de la fase de trasplante. El estrés salino se indujo adicionando al sustrato de arena una solución de  $\text{CaSO}_4$ ,  $\text{MgSO}_4$  y  $\text{NaCl}$  (1:2,5:3) en diferentes concentraciones que permitieron alcanzar conductividades eléctricas (CE) de 6, 8 y 10  $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ , respectivamente, manteniendo un tratamiento control. Después de 40 días de estrés salino se midió el área foliar total, la biomasa foliar y radical, y al momento de la cosecha se determinó el diámetro y peso fresco del bulbo, expresando los resultados en porcentaje relativo al control. Con la salinidad a 6  $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ , 'Granex-429' mostró la menor reducción del área foliar respecto a las plantas no estresadas y 'Texas-502' presentó la mayor disminución, mientras que al aumentar la CE el grado de afectación fue igual entre los genotipos. El mayor porcentaje de biomasa foliar y radical en relación al control lo obtuvo 'Altagracia' a 6  $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ ; sin embargo, a 8 y 10  $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$  éste fue superado por 'Granex-429', 'Guadalupe' y 'Campo Lindo', en tanto que 'Texas-502' y 'Texas-438' fueron los más afectados en todos los tratamientos. El diámetro y peso fresco del bulbo mostraron diferencias entre genotipos sólo a 6  $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ , siendo 'Texas-502' el más afectado en ambas variables y 'Guadalupe', 'Granex-429' y 'Campo Lindo' las que alcanzaron el mayor porcentaje de peso fresco del bulbo. La CE de 6  $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$  permitió visualizar más claramente el comportamiento diferencial de los genotipos ante las sales, de los cuales 'Granex-429' y 'Texas-502' presentaron menor y mayor grado de sensibilidad, respectivamente.

**Palabras clave adicionales:** Cebolla, crecimiento, salinidad

### ABSTRACT

#### Performance in seven *Allium cepa* L. cultivars at different salt stress levels

Performance of seven onion genotypes under saline conditions in sand culture was evaluated since the transplant time. Salt stress was induced with a solution containing  $\text{CaSO}_4$ ,  $\text{MgSO}_4$  and  $\text{NaCl}$  (1:2.5:3) with electric conductivity (EC) of 6, 8 and 10  $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ , respectively, using a control treatment. Forty days after salt stress being applied, total leaf area, leaf and root biomass were measured, and diameter and fresh weight of the bulb at harvest time. At the level of 6  $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$  'Granex-429' showed lesser leaf area reduction when compared to non treated plants, while in 'Texas-502' higher reduction was observed; however, as EC increased the effect was similar in both genotypes. Higher leaf and root biomass percentage was observed in 'Altagracia' at 6  $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ ; however, these variables were even higher in 'Granex-429', 'Guadalupe' and 'Campo Lindo' at 8 and 10  $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ , while 'Texas-502' and 'Texas-438' were more affected in all treatments. Genotypes showed differences in diameter and fresh weight of the bulb only when treated with 6  $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ , being 'Texas-502' more severely affected, while 'Guadalupe', 'Granex-429' and 'Campo Lindo' were less affected. Differential performance in genotypes was more evident at EC 6  $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ , and 'Granex-429' and 'Texas-502' presented the lowest and highest degree of salt sensitivity, respectively.

**Additional key words:** Onion, plant growth, salinity

### INTRODUCCIÓN

La salinidad es uno de los principales factores ambientales que limita la productividad agrícola debido a la sensibilidad que muestra la mayoría de las plantas cultivadas ante dicha condición de estrés (Maas, 1990; Munns y Tester, 2008). Para

el sector agrícola, este problema edáfico es difícil de corregir por lo que las alternativas tradicionales aplicadas para solventar el alto grado de salinidad mediante métodos de ingeniería agrícola, basados en la lámina de riego y manejo del drenaje, vienen siendo complementadas con programas de ingeniería genética, dirigidos a reducir la

Recibido: Septiembre 17, 2014

Aceptado: Abril 14, 2015

<sup>1</sup> Decanato de Agronomía, Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado. Apdo. 400. Barquisimeto. Venezuela. e-mail: grisalygarcia@ucla.edu.ve; hramirez@ucla.edu.ve

<sup>2</sup> Instituto de Botánica, Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela. Apdo. 4579. Maracay. Venezuela. e-mail: gariam@agr.ucv.ve

sensibilidad a la salinidad en plantas cultivadas. En consecuencia, el uso de especies y genotipos menos sensibles a las sales permite alcanzar rendimientos adecuados con mínimas alteraciones del suelo y aumentando el potencial económico de áreas agrícolas, cuyo uso es limitado por el exceso de sales (Tester y Davenport, 2003; Munns y Tester, 2008).

Entre los cultivos hortícolas, la cebolla (*Allium cepa* L.) es considerada como sensible a la salinidad, estimándose su nivel umbral de conductividad eléctrica (CE) en  $1,2 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$  (Maas, 1990; Steppuhn et al., 2005). Sin embargo, la descripción referente al comportamiento de la cebolla ante este factor corresponde a investigaciones efectuadas en zonas templadas, por lo que se requiere orientar evaluaciones en regiones tropicales, utilizando genotipos de cebolla de días cortos, que son los que se adaptan a la condición latitudinal del país.

Estudios edáficos en la depresión de Quíbor, zona hortícola del estado Lara donde se genera la mayor producción nacional de cebolla, han estimado que el 80% de los suelos presenta valores de CE mayores a  $2 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ , de los cuales el 34% entran en la categoría de suelos salinos con rango de CE entre 4 a  $8 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$  (Villafañe et al., 1999). Diversas investigaciones se han realizado a fin de encontrar alternativas para mejorar las condiciones físico-químicas y/o biológicas de los suelos que influyen adversamente en la producción agrícola de esta región (Francisco y Rodríguez, 1998; Mendoza et al. 2013). Sin embargo, no se dispone de información inherente al comportamiento de la cebolla ante los tipos de sales predominantes en estos suelos; igualmente se desconoce si existe comportamiento diferencial ante las sales entre los genotipos de cebolla más comúnmente utilizados en el país. Tomando en consideración los señalamientos anteriores, se realizó un experimento a fin de evaluar el comportamiento de siete genotipos de cebolla ante el estrés salino, inducido con una solución preparada a diferentes concentraciones con los tipos de sales que predominan en la zona hortícola de Quíbor.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó en condiciones de invernáculo en las instalaciones de la empresa

“Semilleros Hortícolas”, ubicada en la localidad de El Manzano, municipio Iribarren del estado Lara, a  $10^{\circ} 05' \text{ N}$  y 550 msnm. Durante el transcurso del ensayo la temperatura diaria máxima y mínima fue de  $40$  y  $19^{\circ} \text{ C}$ , respectivamente.

Se utilizaron siete genotipos de cebolla de uso común en la zona de Quíbor, estado Lara, principal región productora de cebolla a nivel nacional; las mismas presentan características fisiológicas similares como requerimiento de fotoperíodo (días cortos) para bulbificación: ‘Century 92000’, ‘Campo Lindo’, ‘Guadalupe’, ‘Texas Grano 502’, ‘Altagracia’, ‘Granex 429’, ‘Texas Grano 438’.

En la fase de semillero se utilizaron bandejas de poliestireno anime con 288 celdas individuales que contenían una mezcla de turba y arena en proporción 4:1 y fueron mantenidas en oscuridad hasta el momento de la emergencia, lo cual ocurrió 5 días después de la siembra (dds). Posteriormente, las bandejas fueron llevadas a condiciones de invernáculo, se regó dos veces al día con agua corriente y a partir de 10 dds se inició el riego con una solución nutritiva preparada para suplir los requerimientos del cultivo de cebolla, siguiendo lo referido por Chang y Randle (2005).

Una vez que las plantas desarrollaron de tres a cuatro hojas (40 dds) se realizó el trasplante, colocándolas en bolsas de polietileno de 2 L de capacidad que contenían arena lavada de río previamente desinfectada. Al transcurrir 10 días, las plantas fueron agrupadas en cuatro lotes por genotipo: un grupo control siguió recibiendo la solución nutritiva base y a los tres restantes se les aplicó una solución salina con conductividad eléctrica (CE) de 6, 8 y  $10 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ , respectivamente, las cuales fueron preparadas utilizando la solución nutritiva base a la que se le añadieron tres sales ( $\text{CaSO}_4$ ,  $\text{MgSO}_4$  y  $\text{NaCl}$ ) en proporción de 1:2,5:3 considerando la solubilidad de las mismas y en las cantidades indicadas en el Cuadro 1; estas sales han sido reconocidas como predominantes tanto en el suelo, como en el agua subterránea utilizada para riego en la zona de Quíbor (Villafañe et al., 1999). La aplicación de las soluciones salinas se realizó en forma progresiva incrementando  $1/5$  de su concentración diariamente hasta llegar a su concentración definitiva; en cada riego se utilizó el volumen

necesario para saturar el sustrato y garantizar el reemplazo de la solución remanente. El estrés salino se prolongó por un lapso de 70 días (120 dds), hasta finalizar la fase de bulbificación, lo cual se evidenció por el doblez del pseudotallo.

**Cuadro 1.** Componentes, concentración y conductividad eléctrica (CE) de las soluciones salinas evaluadas

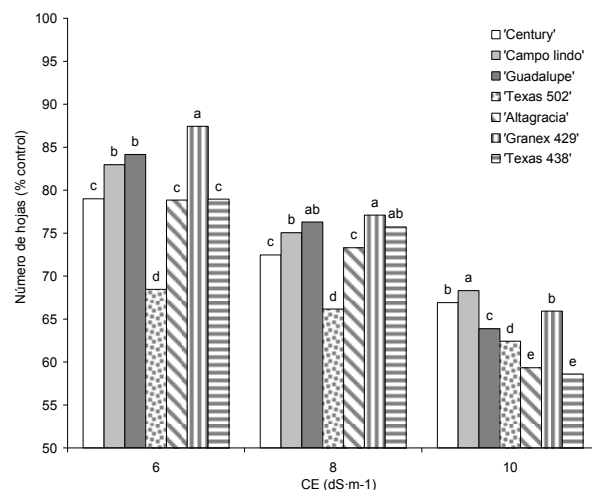
| Solución salina | Sales           | Concentración ( $\text{mol}\cdot\text{m}^{-3}$ ) | CE ( $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ ) |
|-----------------|-----------------|--------------------------------------------------|--------------------------------------|
| A               | $\text{CaSO}_4$ | 6                                                | 6                                    |
|                 | $\text{MgSO}_4$ | 15                                               |                                      |
|                 | $\text{NaCl}$   | 18                                               |                                      |
| B               | $\text{CaSO}_4$ | 9                                                | 8                                    |
|                 | $\text{MgSO}_4$ | 22,5                                             |                                      |
|                 | $\text{NaCl}$   | 27                                               |                                      |
| C               | $\text{CaSO}_4$ | 12                                               | 10                                   |
|                 | $\text{MgSO}_4$ | 30                                               |                                      |
|                 | $\text{NaCl}$   | 36                                               |                                      |

Se evaluaron siete genotipos y cuatro tipos de solución de riego (tres soluciones salinas y un grupo control) para un total de 28 plantas por repetición en un experimento completamente al azar con cuatro repeticiones. Transcurridos 40 días después de iniciado el estrés salino, se contó el número de hojas presentes en cada planta seleccionada, incluyendo las hojas emergentes con al menos 10 mm de longitud, consideradas como hojas en expansión de este cultivo, según el criterio sugerido por Mondal et al. (1986). Además se determinó el área foliar total por planta, midiendo las dimensiones necesarias para aplicar la ecuación propuesta por Brewster y Barnes (1981) para cebolla:  $A = L \times A_{\text{máx}} \times 1,4$ . En esta fórmula, A corresponde al área foliar, L es la longitud de la lámina,  $A_{\text{máx}}$  es el ancho máximo de la misma medido en la zona basal, aproximadamente en el  $\frac{1}{4}$  inferior de su longitud. Al momento de la cosecha se determinó la acumulación de biomasa radical y foliar, para lo cual en cada planta se separó la totalidad del sistema radical, así como el conjunto de hojas, incluyendo la lámina foliar y la porción basal que conforma el pseudotallo; finalmente se obtuvo el peso seco de ambas partes luego de colocarlas en estufa a 70 °C durante 48 horas. Además se midió el peso fresco del bulbo y su diámetro ecuatorial, que corresponde a la parte más ensanchada del mismo, utilizando un vernier digital.

Los resultados para cada una de las variables fueron transformados a valores relativos o porcentuales, estableciendo comparación con el grupo control correspondiente de cada genotipo. Así, el experimento se analizó mediante un arreglo factorial de tratamientos 7 x 3 (7 genotipos x 3 valores de CE) para analizar las variables número de hojas, área foliar, diámetro y peso fresco del bulbo, mientras que la variable acumulación de biomasa se ajustó a un factorial 7 x 3 x 2 (7 genotipos x 3 valores de CE x 2 componentes de la planta), a fin de comparar la producción de biomasa seca entre la parte radical y aérea de la planta. En cada variable se confirmó el cumplimiento de los supuestos correspondientes al análisis y en los casos donde fueron detectadas diferencias significativas, se aplicó la prueba de medias de Tukey. Adicionalmente, se aplicó un análisis multivariado de varianza (MANOVA), en conjunción al análisis de variables canónicas (CVA), considerando la prueba de relación de posibilidades de Wilks para detectar diferencias significativas entre los grupos analizados mediante el programa Statistical Analysis System (SAS) versión 9.1.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**Efecto del estrés salino sobre el desarrollo foliar.** La aplicación de soluciones salinas durante el período previo a la bulbificación provocó un descenso en el número porcentual de hojas respecto al grupo control en todos los genotipos, observándose que la CE de la solución afectó de manera diferencial la producción de hojas en los siete genotipos evaluados (Figura 1). Al inducir el estrés salino a 6  $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$  la respuesta más contrastante en cuanto al desarrollo foliar se presentó entre los genotipos ‘Granex 429’ y ‘Texas 502’; el primero mostró el 32 % del número de hojas respecto al grupo control, mientras que el segundo sólo presentó el 12 %. Al incrementar la CE a 8 y 10  $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$  los valores de los genotipos fueron más cercanos entre sí, aunque mantuvieron sus diferencias estadísticas. Además, se evidenció la tendencia de mayor grado de afectación sobre dicha variable en ‘Texas 502’, tanto a 6 como a 8  $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ , mientras que ‘Granex 429’ y ‘Campo Lindo’ por el contrario, mostraron la menor influencia por parte de los tratamientos salinos.

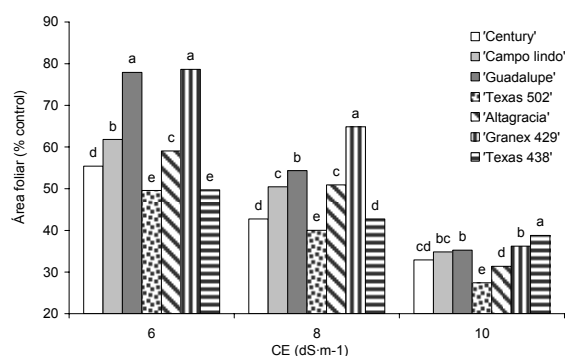


**Figura 1.** Número porcentual de hojas respecto al grupo control en siete genotipos de cebolla tratados con soluciones salinas a diferente CE en el período de pre-bulbificación. Letras iguales en barras correspondientes a cada CE indican similitud estadística según prueba de Tukey ( $P \leq 0,05$ )

La salinidad disminuyó el área foliar con distinto grado de severidad entre los genotipos y en mayor intensidad al incrementar la CE. Al aplicar la solución salina de 6 dS·m<sup>-1</sup> el área foliar en 'Guadalupe' y 'Granex 429' se redujo aproximadamente 20% en relación al control, mientras que 'Texas 502' y 'Texas 438' la disminución fue en más del 50%. Por su parte, 'Century', 'Campo Lindo' y 'Altagracia' exhibieron un comportamiento intermedio respecto a los dos grupos anteriores. Al incrementar la CE de la solución de riego a 8 dS·m<sup>-1</sup>, se evidenció que 'Texas 502' y 'Granex 429' manifestaron la mayor y menor afectación en el área foliar, respectivamente, aunque la diferencia entre éstos fue sólo de 15%. El tratamiento de 10 dS·m<sup>-1</sup>, provocó una reducción en el área foliar de todos los genotipos en más del 60% en comparación al grupo control, detectando pocas diferencias entre los mismos (Figura 2).

El efecto adverso de las sales sobre el desarrollo foliar mostrado por todos los genotipos de cebolla evaluados, podría estar relacionado con la disminución en la capacidad de expansión de las células en crecimiento, ya que cuando la planta se somete a condiciones salinas, el bajo potencial osmótico de la solución del suelo limita la absorción de agua y causa un descenso en la

presión de turgor celular, el cual es necesario para el proceso de expansión celular (Munns 2002 a,b; Bartels y Sunkan, 2005). Asimismo, se conoce que la salinidad provoca una reducción en la tasa de división celular en el tejido foliar, acorta la elongación de las células y/o acelera la diferenciación celular, es decir, se hace adulta precozmente (Hu y Schmidhalter, 2008; Munns y Tester, 2008), procesos que están íntimamente relacionados con el crecimiento que pudieron afectar la formación de nuevas hojas, así como el desarrollo del área foliar como lo observado en los genotipos de cebolla.



**Figura 2.** Área foliar respecto al grupo control en siete genotipos de cebolla tratados con soluciones salinas a diferente CE en el período de pre-bulbificación. Letras iguales en barras correspondientes a cada CE indican similitud estadística según Prueba de Tukey ( $P \leq 0,05$ )

Por otra parte, se detectó que la salinidad, indistintamente de su magnitud, afectó más severamente al área foliar que al número de hojas en los genotipos de cebolla probados, dado que al aplicar soluciones de 6, 8 y 10 dS·m<sup>-1</sup>, éstos mostraron un promedio de 62, 49 y 34% del área foliar en relación al control, en cada caso, mientras que el número porcentual de hojas respecto al control fue 80, 74 y 64%, respectivamente. Asimismo, otros autores (Yadav et al., 1998; Lima y Bull, 2008) han encontrado en diferentes cultivares de cebolla, que la salinidad afecta con mayor intensidad otras variables relacionadas con el crecimiento vegetativo, y en menor magnitud el número de hojas.

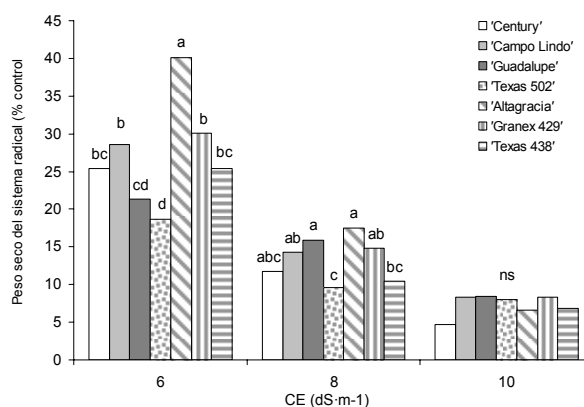
La disminución en el número de hojas y área foliar observada en los genotipos de cebolla por incidencia de las sales también fue observada por Wannamaker y Pike (1987), en cinco genotipos de

este cultivo tratados con una solución salina (NaCl y  $\text{CaCl}_2$  1:1), a una CE de  $6 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$  durante la fase juvenil. Sin embargo, estos autores no detectaron un efecto diferencial de la salinidad sobre los genotipos; no obstante, entre los materiales evaluados por dichos investigadores, ‘Texas 502’ manifestó la mayor sintomatología de daño por efecto de las sales, coincidiendo con lo observado en el presente estudio para este genotipo al ser sometido al tratamiento con solución salina a  $6 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ . Al-Harbi et al. (2002), aunque observaron una reducción del número de hojas en 10 genotipos de cebolla al ser tratados con soluciones salinas con NaCl y  $\text{CaCl}_2$  a una CE de 4, 6 y  $8 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ , encontraron el mismo grado de afectación entre ese grupo de genotipos. Contrariamente, Yadav et al. (1998) no detectaron disminución en el número de hojas en tres genotipos de cebolla, sometidos a estrés con una mezcla de sales ( $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{MgSO}_4$  y  $\text{NaHCO}_3$ ), con CE de  $4 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$  durante 30 días después del trasplante; sin embargo, al incrementar la CE a  $8 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ , estos autores observaron que todos los materiales genéticos presentaron valores cercanos a 87% del número de hojas formadas por el control, lo cual representa un efecto menos severo a las sales que el mostrado por los genotipos de cebolla evaluados en la presente investigación.

Las consideraciones anteriores evidencian que el número de hojas y el área foliar en los genotipos de cebolla son variables que puede ser afectadas con distinta severidad, lo cual depende entre otros factores, de la composición de las sales, la concentración de la mismas, la duración del estrés, así como del componente genético del material utilizado (Bartels y Sunkan, 2005); esto último destaca la diversidad de comportamiento ante el estrés salino que pueden manifestar los distintos genotipos de cebolla, en relación a estos aspectos del desarrollo foliar.

**Efecto del estrés salino sobre la acumulación de biomasa radical y foliar.** La salinidad inducida desde el postrasplante y prolongada hasta el momento de la cosecha (70 después del estrés salino), redujo significativamente el peso seco en el sistema radical en los siete genotipos de cebolla evaluados. La respuesta más contrastante entre éstos se manifestó a la CE de  $6 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ , con una diferencia de 20% entre ‘Altagracia’ y ‘Texas 502’ que alcanzaron el mayor y menor peso seco de raíces en comparación al control,

respectivamente; con el tratamiento salino de  $8 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$  la máxima diferencia en cuanto a esta variable fue sólo de 7% y con la solución salina de mayor CE la disminución en la biomasa radical fue similar entre genotipos (Figura 3).

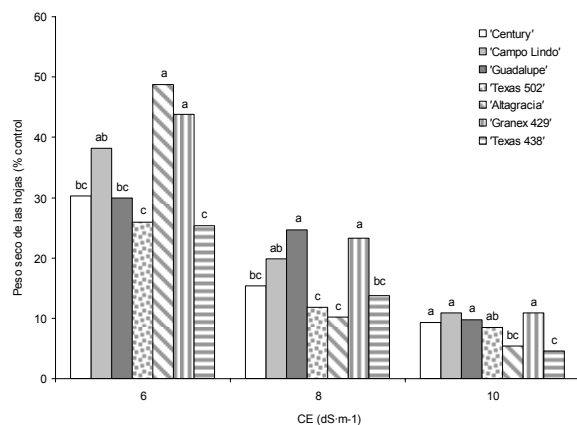


**Figura 3.** Peso seco del sistema radical respecto al grupo control en siete genotipos de cebolla tratados con soluciones salinas a diferente CE ( $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ ) después del pos-trasplante por 70 días. Letras iguales en barras correspondientes a cada CE indican similitud estadística según prueba de Tukey ( $P \leq 0,05$ )

La acumulación de biomasa foliar descendió por efecto del estrés salino en todos los genotipos probados; con la solución salina de  $6 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$  ‘Altagracia’ y ‘Granex 429’ fueron los menos afectados, mientras que la reducción más drástica se presentó en ‘Texas 502’ y ‘Texas 438’, observándose una diferencia de hasta 24% entre ambos grupos. Con los tratamientos salinos de CE a 8 y  $10 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$  el peso seco foliar de los genotipos más contrastantes sólo difirió en 12 y 6%, respectivamente (Figura 4). Además, se encontró que los genotipos ‘Texas 502’ y ‘Texas 438’ acumularon menor biomasa foliar en relación al control en todos los tratamientos salinos. Es de hacer notar que aunque a una CE de  $6 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ , ‘Altagracia’ alcanzó el mayor porcentaje de biomasa aérea en relación al control, este genotipo fue el más afectado al aumentar la CE a  $8 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ , situación que no sucedió con ‘Granex 429’ y ‘Campo Lindo’, por lo que se considera que ‘Altagracia’ logró tolerar niveles moderados de salinidad pero una vez que comienza a afectarse, su crecimiento disminuye muy rápidamente, mostrando un efecto más adverso por la salinidad

al compararlo con estos dos genotipos (Figura 4).

Se conoce que la salinidad de los suelos afecta de manera sustancial el crecimiento del cultivo de cebolla (Maas, 1990; Steppuhn et al., 2005) y los resultados observados en este estudio, en cuanto a la producción de biomasa tanto radical como foliar en los siete genotipos de cebolla evaluados, sustentan ese señalamiento. Por otra parte, estos materiales manifestaron respuestas diferenciales en la producción de biomasa radical, principalmente al aplicar solución salina de  $6 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ , mientras que otros autores como Miyamoto et al. (2008) utilizando un grado de salinidad similar ( $5,2 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ ) en dos genotipos de cebolla, observaron que ambos alcanzaron cerca del 20 % de la biomasa radical obtenida por el control, siendo semejante al comportamiento intermedio mostrado por un grupo de genotipos evaluados en el presente estudio bajo el tratamiento de  $6 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ .



**Figura 4.** Peso seco de las hojas respecto al grupo control en siete genotipos de cebolla tratados con soluciones salinas a diferente CE después del pos-trasplante por 70 días. Letras iguales en barras correspondientes a cada CE indican similitud estadística según prueba de Tukey ( $P \leq 0,05$ )

Las investigaciones relacionadas con el efecto de las sales sobre la acumulación de materia seca de la raíz en este cultivo son escasas; no obstante, se ha determinado que el NaCl causa inhibición de la división celular en el meristema radical, lo cual se ha comprobado por la disminución en el índice mitótico que ocurre en el ápice de la raíz de cebolla bajo condiciones de estrés salino, lo que genera una reducción en el crecimiento del

sistema radical (Teerarak et al., 2009) y por ende en su capacidad de acumular biomasa, tal como se observó en los siete materiales genéticos evaluados.

La reducción observada en el peso seco de las hojas en los siete genotipos de cebolla por efecto de la salinidad, fue menos severa que la encontrada por Wannamaker y Pike (1987) en cinco genotipos tratados con solución salina a 6 y  $8 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ , los cuales alcanzaron un promedio de 20 y 12% de la biomasa foliar acumulada por plantas no estresadas, respectivamente, sin mostrar diferencias significativas entre sí, en ninguno de los tratamientos salinos.

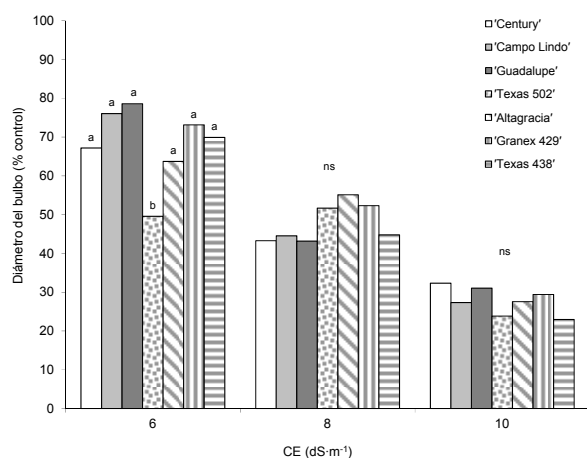
Por otra parte, la disminución en la producción de materia seca en las hojas detectada en los genotipos de cebolla al ser sometidos a  $6 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ , fue de menor magnitud a la observada por Miyamoto et al. (2008) en los genotipos de cebolla 'Chaco' y 'BR-1', bajo una condición salina de  $5,2 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ , los cuales mostraron valores cercanos a 24% del peso seco foliar obtenido por el grupo control, respectivamente, sin evidenciar diferencias entre ellos; no obstante, dichos materiales genéticos fueron afectados con distinta severidad por las sales en tratamientos con menor grado de CE (aproximadamente 2 y  $4 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ ).

Los resultados revelaron que el efecto adverso de las sales fue levemente superior en la producción de materia seca en el sistema radical que en las hojas, lo que coincide con lo observado en otros cultivos como el trigo (Ashraf y Khanum, 2000), arroz (Hussain et al., 2003) y caña de azúcar (García y Medina, 2009). Se ha descrito que los genotipos tolerantes al estrés salino, tienden a incrementar o mantener la acumulación de biomasa radical, respecto a lo que la planta es capaz de producir en condiciones no salinas, lo cual representa un mecanismo que mejora la posibilidad de absorción de agua y sales, y que adicionalmente puede ser de utilidad para retener sales en la raíz y restringir su ascenso a la parte aérea (Bartels y Sunken, 2005).

**Efecto del estrés salino sobre el rendimiento del cultivo.** La salinidad provocó una reducción significativa en el diámetro del bulbo en todos los genotipos de cebolla evaluados, siendo este efecto más severo al incrementar la CE de la solución. Con el tratamiento salino de  $6 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$  el genotipo 'Texas 502' sólo alcanzó el 50% del valor obtenido por el control, mientras que los seis

genotipos restantes mostraron una menor reducción en esta variable ante dicho estrés, sin presentar diferencias entre ellos. A 8 y 10  $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$  no fue posible detectar diferencias en cuanto al diámetro del bulbo entre los materiales probados (Figura 5).

El peso fresco del bulbo disminuyó severamente por efecto de los tratamientos salinos; a una CE de 6  $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$  el genotipo menos afectado fue 'Guadalupe', seguido de 'Campo Lindo' y 'Granex 429'; 'Texas 438' y 'Century' presentaron valores intermedios, mientras que 'Texas 502' y 'Altagracia' mostraron la mayor reducción en esta variable. La diferencia entre los genotipos con respuesta más contrastantes, en cuanto al efecto de este tratamiento salino sobre el peso seco del bulbo, fue de aproximadamente 25%. Por otra parte, a una CE de 8 y 10  $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$  no se detectaron diferencias intraespecíficas en el porcentaje del peso fresco respecto al control, lo que demuestra que fueron igualmente afectados por este nivel salino (Figura 6).

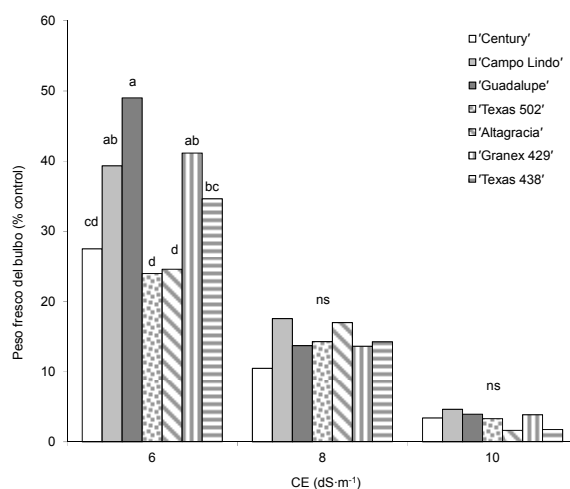


**Figura 5.** Diámetro del bulbo respecto al control en siete genotipos de cebolla tratados con soluciones salinas a diferente CE después del pos-trasplante por 70 días. Letras iguales en barras correspondientes a cada CE indican similitud estadística según prueba de Tukey ( $P \leq 0,05$ )

La tendencia observada entre los genotipos en cuanto al efecto de las sales sobre el diámetro y peso fresco del bulbo fue similar, dado que en ambos casos 'Texas 502' fue el más afectado, mientras que 'Guadalupe', 'Campo Lindo' y 'Granex 429' presentaron la menor disminución

en dichas variables.

El efecto de las sales sobre el diámetro del bulbo en los siete genotipos de cebolla, fue menos severo que el descrito por Al-Harbi et al. (2002), quienes evaluaron 10 materiales ampliamente utilizados en Arabia Saudita tratados con solución salina ( $\text{NaCl}$  y  $\text{CaCl}_2$ ) de 6  $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ , y encontraron que los mismos alcanzaron un diámetro de bulbo promedio de 53% en relación a las plantas no estresadas; también resultaron diferencias entre genotipos, de hasta 26% entre aquellos con respuestas más contrastantes. Igualmente, Lima y Bull (2008) detectaron una fuerte reducción en el diámetro del bulbo al aplicar soluciones de  $\text{NaCl}$  a 6 y 8  $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$  a partir del post-trasplante en el cultivar Baia, y en el caso del cultivar Yellow Granex, Coca et al. (2013) observaron un efecto similar con una solución de  $\text{NaCl}$  a 3, 6 y 9  $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$  durante 70 días; en ambas investigaciones el efecto de la salinidad sobre esta variable fue cercano al promedio obtenido en el presente estudio.



**Figura 6.** Peso fresco del bulbo respecto al control en siete genotipos de cebolla tratados con soluciones salinas a diferente CE después del pos-trasplante por 70 días. Letras iguales en barras correspondientes a cada CE indican similitud estadística según prueba de Tukey ( $P \leq 0,05$ )

La reducción en el peso fresco del bulbo en comparación al tratamiento control, observado en los genotipos más afectados por la solución a 6  $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ , fue similar a la encontrada por Lima y Bull (2008) en un cultivar de cebolla tratado con

NaCl a esta CE, el cual alcanzó 24% del valor obtenido en las plantas no estresadas. Asimismo, Al-Harbi et al. (2002) determinaron en 10 genotipos de cebolla estresados por salinidad a 6  $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ , un peso fresco del bulbo promedio de 38% respecto a las plantas no estresadas, lo cual se asemeja a la media detectada entre los siete materiales genéticos aquí evaluados (34,31%) a esta misma CE. Al aumentar la CE a 8  $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$  el valor promedio de esta variable observado por estos autores fue de 25% en relación al control, siendo casi el doble del valor obtenido al aplicar el mismo grado de salinidad en el presente trabajo (14,32%); además dichos investigadores encontraron un comportamiento diferencial ante las sales, entre diez materiales de cebolla estudiados en relación a esta variable y la tendencia fue independiente de la CE utilizada, la cual osciló entre 2 y 8  $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ , mientras que en este estudio sólo hubo diferencias genotípicas ante una CE de 6  $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ .

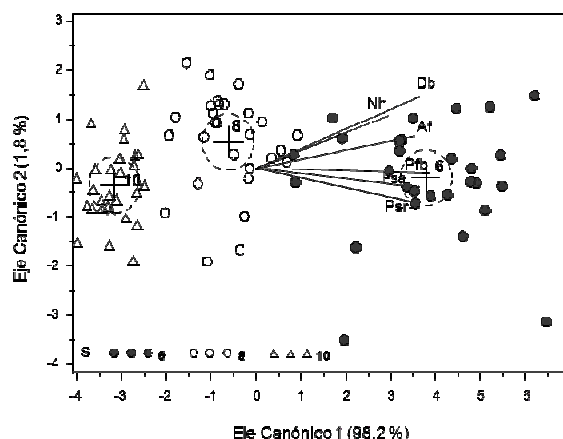
**Análisis multivariado de variables de crecimiento y rendimiento.** La aplicación del análisis multivariado permitió confirmar la tendencia de los resultados obtenidos por los análisis de varianza realizados individualmente, para cada una de las variables de crecimiento y rendimiento, lo que permitió además reconocer cuáles de los materiales genéticos manifestaron el comportamiento más contrastante ante el estrés salino.

En la Figura 7 se muestra la distribución de las respuestas (valores porcentuales en relación al control) de los siete genotipos de cebolla, ante las tres CE probadas, considerando seis variables: número de hojas, área foliar, peso seco radical y foliar, así como el diámetro y peso fresco del bulbo, las cuales fueron representadas por vectores. En cada tratamiento salino se incluyeron 28 lecturas que consistieron en los datos obtenidos de los siete materiales genéticos evaluados en las cuatro repeticiones. Se encontró que la mayor dispersión o diversidad de respuesta entre éstos se presentó en el nivel salino de 6  $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ , mientras que a 8 y 10  $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ , el comportamiento entre genotipos fue más homogéneo.

Por otra parte, en el análisis multivariado el mayor porcentaje de la variabilidad entre los siete genotipos de cebolla ante los tres grados de salinidad evaluados se explicó principalmente en

un eje o variable canónica (98,2%). La ubicación de los grupos en este eje (horizontal) determina la magnitud de la respuesta y la diferencia que existe entre éstos, siendo las variables peso fresco del bulbo y área foliar las que presentaron mayor correlación con este eje canónico.

El análisis de las variables de manera independiente destacaron que el genotipo 'Texas 502' mostró gran afectación por las sales, al presentar la mayor reducción en las seis variables evaluadas, respecto a las plantas no salinizadas, lo cual refleja su alta sensibilidad ante condiciones de estrés salino. Por el contrario, 'Campo Lindo' y 'Granex 429' alcanzaron los valores porcentuales más altos en la mayoría de las variables en relación al tratamiento control.

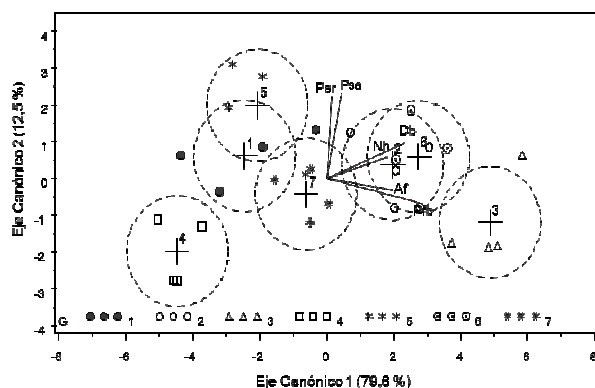


**Figura 7.** Análisis multivariado de varianza (MANOVA) para el efecto de tres CE (6, 8 y 10  $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ ) en siete genotipos de cebolla. Los símbolos corresponden a cuatro repeticiones de los siete genotipos en cada tratamiento. Variables simbolizadas como vectores: peso fresco del bulbo (Pfb), área foliar (Af), diámetro del bulbo (Db) número de hojas (Nh), peso seco del sistema radical (Psr) y aéreo (Psa). La dispersión resultó mayor en la CE de 6  $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ .

Tomando en consideración que el comportamiento diferencial entre genotipos fue detectado principalmente con la CE de 6  $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ , se aplicó un nuevo análisis multivariado para identificar aquellos materiales que exhibieran las respuestas más contrastantes entre sí bajo este tratamiento salino. Los resultados indicaron que el mayor porcentaje de variabilidad de respuesta se

distribuyó en dos ejes o variables canónicas con un 79,6 y 12,5% en los ejes X y Y, respectivamente, siendo el primero de éstos el más relevante de ambos. Las variables área foliar, peso fresco del bulbo y diámetro del mismo se ajustaron más al primer eje canónico, sugiriendo que dichas variables tienen mayor importancia estadística para explicar las diferencias intraespecíficas observadas, por lo que podrían ser consideradas indicadores útiles en la evaluación de materiales a ser utilizados en suelos con problemas de salinidad (Figura 8).

El genotipo 'Texas 438' se ubicó en el extremo izquierdo del eje canónico 1 con el porcentaje más bajo respecto al control y se distinguió de 'Guadalupe', 'Granex 429' y 'Campo Lindo' (áreas solapadas indican similitud), ubicados en el extremo derecho con los mayores valores, mientras que 'Century', 'Altagracia' y 'Texas 438' conformaron un grupo intermedio de respuestas similares entre sí (Figura 8).



**Figura 8.** Análisis multivariado de varianza (MANOVA) para el factor genotipo (G. 1: 'Century'; 2: 'Campo Lindo'; 3: 'Guadalupe'; 4: 'Texas 502'; 5: 'Altagracia'; 6: 'Granex 429' y 7: 'Texas 438'), considerando seis variables simbolizadas como vectores: número de hojas (Nh), área foliar (Af), diámetro (Db), peso fresco del bulbo (Pfb), peso seco del sistema radical (Psr) y aéreo (Psa)

En relación al eje canónico 2, se observaron tres tendencias: 'Texas 502', 'Guadalupe' y 'Texas 438' presentaron un comportamiento menos favorable ante las sales al ubicarse en la parte inferior del eje, contrario a lo mostrado por 'Altagracia'; y por su parte, 'Century', 'Campo Lindo' y 'Granex 429' formaron un grupo de

comportamiento intermedio (Figura 8).

En general, el análisis multivariado reflejó que del grupo de siete genotipos, el cultivar 'Texas 502' fue el que manifestó mayor diferencia en cuanto a las variables evaluadas respecto al grupo restante, mostrando un alto grado de afectación en las mismas, lo cual corrobora los resultados obtenidos previamente en el análisis independiente de las variables; por otra parte, si se toman en cuenta ambos ejes se nota que el cultivar 'Granex 429' se ubicó en la posición más distante del genotipo anterior, y aunque se solapó parcialmente con 'Campo Lindo', la distancia entre este último y 'Texas 502' fue levemente menor respecto a la que guardó con 'Granex 429'.

## CONCLUSIONES

El estrés salino inducido con una CE de 6 dS·m<sup>-1</sup> provocó el mayor comportamiento diferencial entre los genotipos de cebolla evaluados, siendo el área foliar y el peso fresco del bulbo las variables que permitieron exhibir la mayor diversidad intraespecífica. La salinidad afectó más severamente la acumulación de biomasa radical y en menor grado el número de hojas. Los genotipos 'Texas 502' y 'Granex 429' presentaron dentro del grupo evaluado, la mayor y menor sensibilidad ante el estrés salino, respectivamente.

## LITERATURA CITADA

1. Al-Harbi, A., H. Hegazi, A. Alsadon y F. El-Adgham. 2002. Growth and yield of onion (*Allium cepa* L.) Cultivars under different levels of irrigation water salinity. Journal of King Saud Univ. 14(1): 23-32.
2. Ashraf, M. y A. Khanum. 2000. Transport and accumulation of ions in two spring wheat lines differing in salt tolerance. Acta Physiologiae Plantarum 22(2): 103-110.
3. Bartels, D. y R. Sunkan. 2005. Drought and salt tolerance in plants. Critical Reviews in Plant Sciences 24(1): 23-58.
4. Brewster, J. y A. Barnes. 1981. A comparison of relative growth rates of different individual plants and different cultivars of onion of diverse origin at two temperatures and two intensities. Journal Applied Ecology 18: 93-121.

5. Chang, P. y W. Randle. 2005. Sodium chloride timing and length of exposure affect onion growth and flavor. *Journal of Plant Nutrition* 28: 1755-1766.
6. Coca A., C. Carranza, D. Miranda y M. Rodríguez. 2013. Efecto del NaCl sobre los parámetros de crecimiento, rendimiento y calidad de la cebolla de bulbo (*Allium cepa* L.) bajo condiciones controladas. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* 6(2): 196-212.
7. Francisco, D. y O. Rodríguez. 1998. Efectos del azufre, fosfórico y ácido polimaleico sobre las propiedades físicas de un suelo salino sódico y la bulbificación en cebolla (*Allium cepa* L.). *Revista Suelos Ecuatoriales* 28: 171-179.
8. García, M. y E. Medina. 2009. Acumulación de iones y solutos orgánicos en dos genotipos de caña de azúcar, estresados con sales simples o suplementadas con calcio. *Bioagro* 21(1): 3-14.
9. Hu, Y. y U. Schmidhalter, 2008. Spatial and temporal quantitative analysis of cell division and elongation rate in growing wheat leaves under saline conditions. *Journal of Integrative Plant Biology* 50(1): 76-83.
10. Hussain, N., A. Ali, A. Khan, O. Ur-Rehman y M. Tahir. 2003. Selectivity of ions absorption as mechanism of salt tolerance in rice (variety Shaheen basmati). *Asian Journal of Plant Sciences* 2(5): 445-448.
11. Lima, M. y L. Bull. 2008. Produção de cebola em solo salinizado. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 12(3): 231-235.
12. Maas, E. 1990. Crop salt tolerance. In: K. Tanji (ed.). *Agricultural Salinity Assessment and Management*. American Society of Civil Engineers. New York. pp. 262-304.
13. Mendoza, B., A. Florentino, R. Hernández-Hernández, J. Aciego, D. Torres y E. Vera. 2013. Atributos biológicos de dos suelos de Quíbor con aplicación de abono orgánico y soluciones salinas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 4(3): 409-421.
14. Miyamoto, S., I. Martínez y G. Niu. 2008. Effects of salinity and specific ions on seedling emergence and growth of onions. Texas A&M University Agricultural Research Center at "El Paso". TX and Texas Water Resources Institute, College Station, TX TR-319. p. 22.
15. Mondal, M., J. Brewster, G. Morris y H. Butler. 1986. Bulb development in onion (*Allium cepa* L.) I. Effects of plant density and sowing date in field conditions. *Annals of Botany* 58: 187-195.
16. Munns, R. 2002a. Comparative physiology of salt and water stress. *Plant, Cell and Environment* 25: 239-250.
17. Munns, R. 2002b. Salinity, growth and phytohormones. In: A. Läuchli y U. Lüttge. (eds.). *Salinity: Environment-Plants-Molecules*. Kluwer Academic Publishers. London. pp. 271-290.
18. Munns, R. y M. Tester, 2008. Mechanisms of salinity tolerance. *Annu. Rev. Plant Biol.* 59: 651-681.
19. Steppuhn, H., M. Van Genuchten y C. Grieve. 2005. Root-zone salinity: II. Indices for tolerance in agricultural crops. *Crops Science* 45: 221-232.
20. Teerarak, M., K. Bhinija, S. Thitavasanta y Ch. Laosinwattana. 2009. The impact of sodium chloride on root growth, cell division, and interphase silver-stained nucleolar organizer regions (AgNors) in root tip cells of *Allium cepa* L. *Scientia Horticulturae* 121(2): 228-232.
21. Tester, M. y R. Davenport. 2003. Na<sup>+</sup> tolerance and Na<sup>+</sup> transport in higher plants. *Annals of Botany* 91: 503-527.
22. Villafañe, R., O. Abarca, M. Aspúrea, T. Ruíz y J. Dugarte. 1999. Distribución espacial de los suelos de Quíbor y su relación con las limitaciones del drenaje y la calidad de agua. *Bioagro* 11(2): 43-50.
23. Wannamaker, M. y L. Pike. 1987. Onion responses to various salinity levels. *Journal American Society Horticultural Science* 112(1): 49-52.
24. Yadav, S., N. Singh y B. Yadav. 1998. Effect of different levels of soil salinity on growth and yield of onion (*Allium cepa* L.). *Indian Journal Horticulturae* 55(3): 243-247.