

## TOLERANCIA A LA SALINIDAD EN VARIETADES DE ALBAHACA (*Ocimum basilicum* L.) EN LAS ETAPAS DE GERMINACIÓN, EMERGENCIA Y CRECIMIENTO INICIAL

### Salinity tolerance in varieties of basil (*Ocimum basilicum* L.) during the stages of germination, emergence and early growth

Juan José Reyes-Pérez, Bernardo Murillo-Amador ✉, Alejandra Nieto-Garibay, Enrique Troyo-Diéguez, Inés María Reynaldo-Escobar, Edgar Omar Rueda-Puente, José Luis García-Hernández

(JJRP, BMA, ANG, ETD) Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C. Instituto Politécnico Nacional No. 195, Colonia Playa Palo de Santa Rita Sur, La Paz, Baja California Sur, 23096. México. bmurillo04@cibnor.mx  
(IMRE) Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, Mayabeque, Cuba.  
(EORP) Universidad de Sonora, Hermosillo, Sonora, México.

(JLGH) Universidad Juárez del Estado de Durango. Facultad de Agricultura y Zootecnia. Venecia, Durango, México.

**Artículo recibido:** 26 de marzo de 2013, **aceptado:** 24 de junio de 2013

**RESUMEN.** Conocer los índices de tolerancia de los cultivos a la salinidad es importante para recomendar a los agricultores la variedad más productiva para cultivarse en suelos salinos, ya que los suelos afectados por la sal en todo el mundo son cada vez más comunes. En el presente trabajo se evaluó la tolerancia a la salinidad de veinte variedades de albahaca en las etapas de germinación, emergencia y crecimiento inicial, utilizando variables morfométricas. Se utilizaron dos tratamientos salinos (50 y 100 mM de NaCl) y un control. En las etapas de germinación y emergencia se calcularon índices de tolerancia para longitud de radícula, biomasa fresca y seca de radícula y biomasa fresca y seca de parte aérea, mientras que en la etapa de crecimiento inicial se calcularon índices de tolerancia para longitud de tallo, longitud de raíz, biomasa fresca y seca de raíz, tallo, hoja y área foliar. A través del análisis de conglomerado jerárquico y de ligamiento completo sobre la base de la distancia Euclidiana, las variedades se reunieron en cinco grupos según los índices de tolerancia medidos en la etapa de germinación, en tres grupos en la etapa de emergencia y en dos grupos en la etapa de crecimiento inicial, indicando diversidad genética intravarietal en las variedades evaluadas, destacándose, entre las variedades analizadas. En las tres etapas fenológicas estudiadas, la variedad Napoletano como la más tolerante y Sweet Genovese como la más sensible a la salinidad.

**Palabras clave:** producción de biomasa, plantas aromáticas, variables morfométricas.

**ABSTRACT.** Knowing the salinity tolerance of crops is important in making recommendations to farmers on the most productive cultivar to grow in saline soils, considering that soils affected by salt are more and more common worldwide. This study evaluated the salinity tolerance of twenty varieties of basil during the stages of germination, emergence and early growth, considering morphometric variables. Two saline treatments were applied (50 and 100 mM NaCl), together with a control. During the stages of germination and emergence, tolerance indices were calculated for radicle length, fresh and dry radicle biomass, and fresh and dry shoot biomass, whereas during the initial growth stage, tolerance indices were calculated for stem length, root length, biomass of fresh and dry root, stem and leaf, and leaf area. A hierarchical cluster analysis with complete linkage based on Euclidean distances formed five groups of plant varieties according to the tolerance indices recorded during the germination stage, three groups during the emergence stage and two groups during the initial growth stage, indicating intra-variety genetic diversity in the studied varieties. Of the varieties analysed during the three phenological stages, the Napoletano variety was the most tolerant and the Sweet Genovese the most sensitive, to salinity.

**Key words:** Biomass production, herbs, morphometric variables

## INTRODUCCIÓN

La salinidad de los suelos es el factor que más influye en el establecimiento de las poblaciones humanas, siendo una de las condiciones adversas de los sistemas agrícolas del mundo. Aproximadamente el 43 % de la superficie utilizada para la producción agrícola en el mundo se encuentra afectada por niveles de salinidad que, en su mayoría, superan la tolerancia de las especies cultivadas (Royo & Aragües, 2003). La presencia de altas concentraciones de sales solubles en los suelos incrementa el potencial osmótico de la solución del suelo, causando estrés fisiológico (Wahome *et al.*, 2001). La salinidad es común en las regiones áridas y semiáridas, como consecuencia del déficit hídrico, debido a la escasez de precipitaciones y alta tasa de evaporación (Ferreira *et al.*, 2001). Asimismo, origina reducción del crecimiento de los cultivos al afectar negativamente la germinación y/o la capacidad de emerger de las plántulas (Farahbakhsh & Shamsaddin, 2011). Igualmente retarda el crecimiento de las plantas a través de su influencia sobre varios procesos fisiológicos, tales como fotosíntesis, conductividad estomática, ajuste osmótico, absorción de iones, síntesis de proteínas, síntesis de ácidos nucleicos, actividad enzimática y balance hormonal (Mizrahi *et al.*, 1988; Bethke & Drew, 1992; Hakim & Rhaman, 1992) además puede afectar el proceso de transporte de iones y agua, lo que promueve toxicidad iónica y desbalance nutricional (Lerner 1985; Chartzoulakis & Klapaki, 2000). En consecuencia, las variables de crecimiento vegetativo tales como biomasa seca, altura de la planta y área foliar, son severamente afectadas por la presencia de sales (Rush & Epstein, 1981; Alarcón *et al.*, 1993). En presencia de salinidad, los cultivos responden de manera particular, algunos producen rendimientos aceptables a altas concentraciones de salinidad, mientras que otros son sensibles a bajas concentraciones (Akran *et al.*, 2010). Por su parte, Tester & Davenport (2003) señalan que la intensidad con que cada condición de estrés afecta el crecimiento y desarrollo de las plantas, lo que depende de varios factores, entre los cuales se incluye la especie, el cultivar, el estado fenológico, los tipos

de sales solubles, la intensidad y duración del estrés y las condiciones edafoclimáticas. La acción de estos efectos en el organismo, incluyendo el vegetal, puede generar una cadena de respuestas positivas y negativas de diferentes grados adaptativos, según el factor desencadenante y las características genéticas de la especie o variedad (Gómez-Cadena, 2001; González & Ramírez, 2002). En este sentido, se ha mencionado que en la evolución de los mecanismos de tolerancia y adaptación de las plantas a los diferentes agentes estresantes, puede observarse la existencia de grados de sensibilidad y de tolerancia muy diferentes entre las diversas especies e incluso variedades o ecotipos dentro de una misma especie, lo que evidencia la diversidad de estrategias que han desarrollado las plantas, para mantener una respuesta altamente refinada ante una amplia gama de estrés, a las cuales se encuentran rutinariamente expuestas (González *et al.*, 2002). Las plantas medicinales y aromáticas son económicamente importantes a nivel mundial, debido a la continua y creciente demanda en los mercados locales y extranjeros. Una planta representativa es la albahaca (*Ocimum basilicum* L.), su aceite esencial se utiliza ampliamente en los alimentos, perfumería y la industria médica. También se considera como una fuente de compuestos de aroma y posee una gama de actividades biológicas, así como propiedades antioxidantes (Lee *et al.*, 2005). El género *Ocimum* comprende más de 30 especies distribuidas en América, Asia y África, siendo la especie *O. basilicum* la que aporta la mayor cantidad de aceites esenciales, con una producción mundial de 42.5 toneladas por año (Ramírez *et al.*, 2001).

En México, específicamente la Península de Baja California, se ha caracterizado en los últimos años, por las altas concentraciones de sales que oscilan desde 3 y 10 g L<sup>-1</sup> de agua; problema que se agudiza con el fenómeno de intrusión salina. Los efectos de la salinidad, han disminuido la productividad de los cultivos agrícolas y la redituabilidad de los mismos. Desde los 80's, el género *Ocimum* en Baja California Sur, se ha caracterizado por ser un cultivo que ha ofrecido a los productores agrícolas una alternativa de solución a la falta de cultivos alternativos (Murillo-Amador *et al.*, 2006). Actualmente,

la albahaca se siembra en suelos de fertilidad media y con buen drenaje, con conductividad eléctrica de hasta  $4 \text{ dSm}^{-1}$  sin que se afecten los rendimientos y su desarrollo; por arriba de este nivel, se ve afectado con pérdidas superiores al 60% (Ramírez *et al.*, 2001). Una solución parcial al problema es el uso de variedades tolerantes a la salinidad, por lo que conocer la tolerancia de diferentes variedades tolerantes de los cultivos como la albahaca permite ofrecer alternativas a los productores agrícolas (González & Ramírez, 2002; Mesa, 2003). En la política de recuperación y manejo de los suelos salinos, el uso de especies y variedades tolerantes al estrés, se considera de primordial importancia (González *et al.*, 2000 a,b). Asimismo, maximizar la tolerancia a la salinidad en especies cultivables es un elemento importante en los sistemas integrales de cultivo en áreas afectadas por la salinidad (Gómez-Cadena, 2001; Amor *et al.*, 2001; Acevedo, 2003; González *et al.*, 2005). Por lo anteriormente y debido a la importancia económica que revisten los estudios con plantas aromáticas como *basilicum.*, el objetivo del presente trabajo fue evaluar la tolerancia a la salinidad en variedades de albahaca en las etapas de germinación, emergencia y crecimiento inicial, con base en variables morfológicas.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio y material genético.

El experimento de germinación se realizó en laboratorio y los experimentos de emergencia y crecimiento inicial se realizaron en una estructura de malla sombra que se ubica en el campo experimental del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, localizado al noroeste de La Paz, Baja California Sur, México, a los  $24^{\circ}08'10.03''$  LN y  $110^{\circ}25'35.31''$  LO, a 7 msnm. Se utilizaron veinte variedades de albahaca provenientes de la empresa Seed Company (U.S.A.) sin información sobre la tolerancia o sensibilidad a la salinidad. Las variedades fueron Sweet Dani, Lemon, Sweet Genovese, Siam Queen, Red Rubin, Thai, Dark Opal, Spicy Glove, Licorice, Cinnamon, Mrs Burns, Purple Ruffles, Lettuce Leaf, Italian Large Leaf, Genovese, Dolly, Emily, Genovese Italian, Dolce Vita Blend,

Napoletano. Previamente a cada una de las variedades se les realizó una prueba de germinación, acorde con la metodología de ISTA (1999).

### Condiciones experimentales en la etapa de germinación.

El experimento se estableció en un diseño completamente al azar con arreglo factorial considerando las variedades como factor A y los tratamientos salinos como factor B. Las variedades se sometieron a concentraciones salinas de 0, 50, y 100 mM de NaCl, con cuatro repeticiones de 100 semillas cada una. Las semillas se colocaron in vitro utilizando cajas Petri con papel filtro como sustrato. Las cajas Petri se incubaron en una cámara de germinación (Lumistell, modelo IES-OS, serie 1408-88-01), a una temperatura de  $25 \pm 1^{\circ} \text{C}$ , una humedad de 80 % y con 12 horas de luz continuas y 12 horas de oscuridad durante 14 d. Se muestrearon 10 plántulas por repetición y se les midió la altura de plántula (cm), longitud de raíz (cm), biomasa (g) fresca y seca de radícula y parte aérea, las cuales se determinaron por el método destructivo.

### Condiciones experimentales en la etapa de emergencia.

El experimento se estableció en un diseño completamente al azar con arreglo factorial considerando las variedades como factor A y los tratamientos salinos como factor B (0, 50 y 100 mM NaCl), con tres repeticiones de 20 semillas cada una. Las semillas se sembraron en charolas de poliestireno de 200 cavidades, las cuales contenían sogemix<sup>MR</sup> como sustrato. Para mantener la humedad del sustrato, se regó todos los días con el tratamiento correspondiente, control (agua destilada) o solución salina correspondiente. Después de 14 d de tratamiento, se muestrearon 10 plántulas por repetición. Las variables que se midieron fueron altura de plántula (cm), longitud de raíz (cm), biomasa (g) fresca y seca de radícula y biomasa de la parte aérea, variables que se determinaron por el método destructivo.

### Condiciones experimentales en la etapa de crecimiento inicial.

Las semillas se sembraron en charolas de poliestireno de 200 cavidades, las cuales contenían sogemix<sup>MR</sup> como sustrato. Para mantener la humedad, se aplicaron riegos todos los días con el fin de lograr una emergencia homogénea de las plántulas. El trasplante se realizó cuando las plantas lograron una altura promedio de 15 cm, estas se establecieron en macetas de aproximadamente 1 kg, mismas que contenían como sustrato comercial sogemix<sup>MR</sup>. En cada maceta se colocó una planta con el fin de asegurar el éxito del trasplante. Una vez que se trasplantaron, se inició con la aplicación del riego todos los días, utilizando agua potable, la cual contenía una solución nutritiva preparada de acuerdo a Samperio (1997). Después de una semana del trasplante, se inició la aplicación de los tratamientos salinos.

El experimento se estableció en un diseño completamente al azar con arreglo factorial con tres repeticiones, considerando a las variedades de albahaca como factor A y a los tratamientos salinos como factor B, con tres niveles (0, 50, 100 mM de NaCl). Durante la segunda semana se inició con la aplicación gradual de los tratamientos salinos, con el fin de evitar un shock osmótico en las plántulas, acorde con la metodología propuesta por Murillo-Amador et al. (2007). La cantidad aplicada en cada riego fue de 500 mL, consiguiendo que la solución aplicada drenara a través de los orificios de las macetas, con el fin de evitar la acumulación de sales en el sustrato.

El pH de la solución con los tratamientos salinos y los nutrientes se ajustó a 6.5, adicionando KOH. A los 45 d de aplicación de los tratamientos salinos, las plantas se trasladaron al laboratorio donde se procedió a separar raíz, tallo y hojas. Se midió longitud de tallo (cm), longitud de raíces (cm), biomasa fresca y seca de raíz, tallo, hoja (g) y área foliar (cm<sup>2</sup>), la cual se determinó mediante un integrador de área foliar (Li-Cor, modelo-LI-3000A, serie PAM 1701). Para determinar biomasa fresca y seca en cada etapa, se utilizó una balanza analítica (Mettler Toledo, modelo AG204). Para obtener la biomasa seca en todas las etapas, los tejidos correspondientes a hojas, tallos o raíces, se colocaron en bolsas de papel y se introdujeron

en una estufa de secado (Shel-Lab, modelo FX-5, serie-1000203) a una temperatura de 80° C hasta obtener su deshidratación completa, aproximadamente 72 horas.

### Selección de variedades tolerantes

Para seleccionar las variedades tolerantes y sensibles a la salinidad, se utilizaron los datos de las variables morfológicas en cada una de las etapas, calculándose el índice de tolerancia relativa a la salinidad, por la fórmula propuesta por Udovenko (1976):  $ITR (\%) = 100 (ITS/ITC)$  Donde: ITS: Media de cada una de las variables morfológicas evaluadas en condiciones de estrés; ITC: Media de cada una de las variables morfológicas evaluadas en condiciones normales.

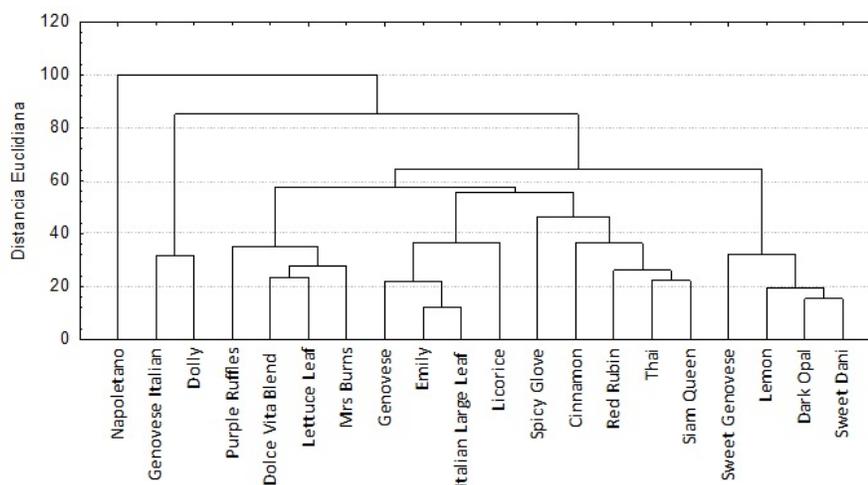
### Análisis estadístico

Se realizaron análisis de varianza y comparaciones múltiples de medias (Scheffe,  $p=0.05$ ). Los datos de las variables morfológicas evaluadas cumplieron con los supuestos teóricos de normalidad y homogeneidad de varianza, mismos que se utilizaron para calcular el índice de tolerancia a la salinidad, ejecutándose un análisis de conglomerado jerárquico y de ligamiento completo sobre la base de la distancia Euclidiana (Sokal & Sneath, 1993), el cual se realizó con el programa estadístico Statistica v. 10.0 para Windows (StatSoft, Inc., 2011)

## RESULTADOS

El análisis de conglomerado jerárquico y de ligamiento completo a través de la distancia Euclidiana permitió agrupar a las veinte variedades en cinco grupos en la etapa de germinación, basado en los índices de tolerancia (Figura 1), lo que revela la existencia de variabilidad entre los materiales evaluados.

El grupo uno formado por las variedades Napoletano, Genovese Italian y Dolly, fue el que presentó los índices de tolerancia mayores para todas las variables evaluadas (Tabla 1). Las variedades Purple Ruffles, Dolce Vita Blend, Lettuce Leaf, Mrs Burns, Genovese, Emily, Italian Large Leaf, Licorice, Spicy Glove, Cinnamon, Red Rubin Thai,



**Figura 1.** Agrupamiento de las variedades de albahaca basado en las variables morfométricas en la etapa de germinación.

**Figure 1.** Groups of basil varieties based on morphometric variables during the germination stage.

**Tabla 1.** Valores promedio de los índices de tolerancia relativa a la salinidad de las variedades de albahaca en la etapa de germinación.  
**Table 1.** Mean values of relative salinity tolerance indices of basil varieties during the germination stage.

Grupos	Variedades	Índice de tolerancia relativa (%)					
		AP	LR	BFR	BSR	BFPA	BSPA
I	Napoletano, Genovese Italian, Dolly.	94.4	96.1	95.4	94	96.2	94.2
II	Purple Ruffles, Dolce Vita Blend, Lettuce Leaf, Mrs Burns.	80.23	82.34	85.1	86.23	84.45	86.43
III	Genovese, Emily, Italian Large Leaf, Licorice.	81.12	80.2	84.23	85.12	83.86	87.44
IV	Spicy Glove, Cinnamon, Red Rubin Thai, Siam Queen.	83.45	81.3	83.35	87.23	85.23	83.65
V	Sweet Genovese, Lemon, Dark Opal, Sweet Dani.	62.34	65.35	67.1	68.25	66.34	63.21

AP: altura de plántula, LR: longitud de radícula; BFR: biomasa fresca de radícula; BSR: biomasa seca de radícula; BFPA: biomasa fresca de parte aérea; BSPA: biomasa seca de parte aérea.

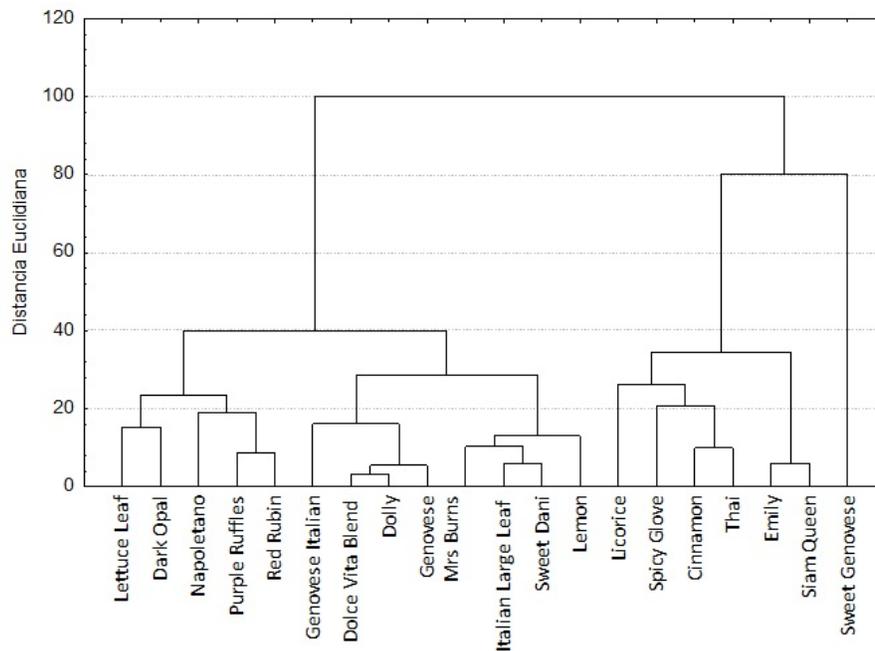
**Tabla 2.** Valores promedios de los índices de tolerancia relativa de las variedades de albahaca en la etapa de emergencia.  
**Table 2.** Mean values of relative salinity tolerance indices of basil varieties during the emergence stage.

Grupos	Variedades	Índices de tolerancia relativa (%)					
		AP	LR	BFR	BSR	BFPA	BSPA
I	Lettuce Leaf, Dark Opal, Napoletano, Purple Ruffles, Red Rubin.	85.35	87.3	86.25	88.5	87.45	89.55
II	Genovese Italian, Dolce Vita Blend, Dolly, Genovese, Mrs Burns, Italian Large Leaf, Sweet Dani, Lemon.	72.56	70.35	73.5	72.74	72.32	72.3
III	Licorice, Spicy Glove, Cinnamon, Thai, Emily, Siam Queen, Sweet Genovese.	60.25	61.35	60.55	62.45	60.34	61.5

AP: altura de plántula, LR: longitud de radícula; BFR: biomasa fresca de radícula; BSR: biomasa seca de radícula; BFPA: biomasa fresca de parte aérea; BSPA: biomasa seca de parte aérea.

Siam Queen, se ubicaron en los grupos dos, tres y cuatro, presentando valores similares de tolerancia relativa y las variedades Sweet Genovese, Lemon,

Dark Opal, Sweet Dani se ubicaron en el quinto grupo clasificadas como sensibles, por tener los valores menores de tolerancia en las variables estudia-



**Figura 2.** Agrupamiento de las variedades de albahaca basado en las variables morfométricas en la etapa de emergencia.  
**Figure 2.** Groups of basil varieties based on morphometric variables during the emergence stage.

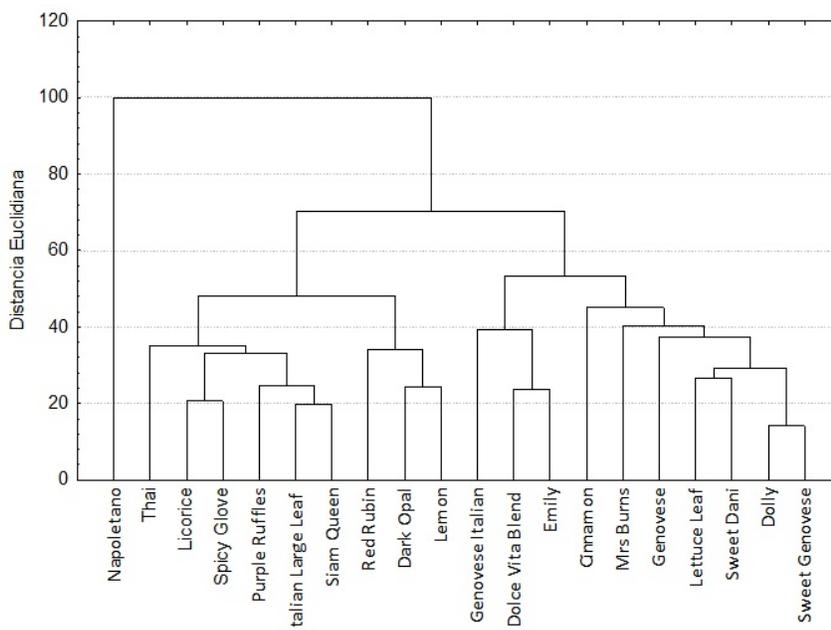
das. Al realizar el agrupamiento de las variedades en cuanto a sus índices de tolerancia a la salinidad en la etapa de emergencia, estas se dividieron en tres grupos, lo que evidencia la existencia de variabilidad genética en cuanto a la respuesta al estrés salino (Figura 2).

El grupo uno formado por las variedades Lettuce Leaf, Dark Opal, Napoletano, Purple Ruffles y Red Rubin presentaron los mayores índices de tolerancia (Tabla 2); las variedades Genovese Italian, Dolce Vita Blend, Dolly, Genovese, Mrs Burns, Italian Large Leaf, Sweet Dani y Lemon formaron el grupo dos, mostrando valores inferiores de tolerancia y clasificados como moderadamente tolerantes, mientras que el grupo tres formado por las variedades Licorice, Spicy Glove, Cinnamon, Thai, Emily, Siam Queen y Sweet Genovese, se clasificaron como sensibles a la salinidad, ya que presentaron los valores de tolerancia menores en las variables evaluadas (Tabla 2). Las etapas de germinación y emer-

gencia se consideran una fase crítica del cultivo y las variedades pudieran ser utilizadas como progenitores en programas de mejora, dirigidos a aumentar la tolerancia del cultivo a la salinidad durante estas etapas.

Como resultado del análisis de conglomerados en la etapa de crecimiento inicial, se clasificaron a las variedades en dos grupos (Figura 3) lo que demuestra que existe variabilidad en cuanto a la respuesta al estrés salino en las variables evaluadas.

El grupo uno que reunió a las variedades Napoletano, Thai, Licorice, Spicy Glove, Purple Ruffles, Italian Large Leaf, Siam Queen, Red Rubin, Dark Opal y Lemon con los valores mayores en los índices de tolerancia (Tabla 3), seguido con valores inferiores de tolerancia entre 72 y 77.54 % se encuentran en el grupo dos, las variedades Genovese Italian, Dolce Vita Blend, Emily, Cinnamon, Mrs Burns, Genovese, Lettuce Leaf, Sweet Dani, Dolly y Sweet Genovese clasificadas como sensibles.



**Figura 3.** Agrupamiento de las variedades de albahaca basado en las variables morfométricas en la etapa de crecimiento inicial.

**Figure 3.** Groups of basil varieties based on morphometric variables during the early growth stage.

**Tabla 3.** Valores promedio de los índices de tolerancia relativa de las variedades de albahaca en la etapa de crecimiento inicial.  
**Table 3.** Mean values of relative salinity tolerance indices of basil varieties during the early growth stage.

Grupos	Variedades	Índices de tolerancia relativa (%)								
		LT	LR	BFR	BSR	BFT	BST	BFH	BSH	AF
I	Napoletano, Thai, Licorice, Spicy Glove, Purple Ruffles, Italian Large Leaf, Siam Queen, Red Rubin, Dark Opal, Lemon.	95.1	97	94.3	92	90.1	91.3	92.3	91.1	95.4
II	Genovese Italian, Dolce Vita Blend, Emily, Cinnamon, Mrs Burns, Genovese, Lettuce Leaf, Sweet Dani, Dolly, Sweet Genovese.	77.54	75	72	74.2	73.4	72.1	74	73	75

AP: altura de plántula, LR: longitud de radícula; BFR: biomasa fresca de radícula; BSR: biomasa seca de radícula; BFPA: biomasa fresca de parte aérea; BSPA: biomasa seca de parte aérea.

## DISCUSIÓN

En la tolerancia a la salinidad es importante realizar la selección y clasificación de variedades por su tolerancia en las primeras etapas del crecimiento, porque básicamente se asume que si la planta presenta tolerancia en las primeras etapas de su crecimiento y desarrollo, es probable que presente tole-

rancia en las etapas tardías o subsecuentes (Nerson & Paris, 1984). El criterio de selección de variedades para tolerancia a salinidad durante la etapa de germinación fue efectivo en pasto Kentucky (Horst & Taylor, 1983); sin embargo, no fue así en melón (Nerson & Paris, 1984). Por lo anterior, es importante seleccionar y clasificar las variedades de albahaca por su tolerancia o sensibilidad a la salinidad en las primeras etapas del crecimiento, ya que una

comparación de la tolerancia durante la germinación y emergencia con las subsecuentes etapas fenológicas es muy difícil, porque se utilizan diferentes criterios y condiciones para efectuar la evaluación de la respuesta a la planta (Maas, 1986). Asimismo, es importante considerar que los criterios potenciales y mejores de selección para tolerancia a salinidad son la evaluación del porcentaje de germinación, el porcentaje de emergencia de plántulas, la sobrevivencia de plántulas y las variables morfométricas (Tal, 1985).

Las variedades de albahaca clasificadas como tolerantes a la salinidad en la etapa de germinación fueron Napoletano, Genovese Italian y Dolly (Figura 1), tolerancia que puede ser derivada de la capacidad de las variedades para excluir iones tóxicos, principalmente Na y Cl, ya que estudios químicos realizados en semillas de ésta especie muestran que ambos iones son excluidos de la semilla al incrementar la salinidad (West & Francois, 1982). Otra posible causa de la tolerancia mostrada en estas variedades pudiera estar relacionada con la capacidad de las variedades tolerantes para iniciar el proceso del desarrollo embrionario con la mínima cantidad de agua absorbida, al ser sometidos al estrés salino. Al respecto Murillo-Amador *et al.* (2000) encontraron que los porcentajes menores de germinación en *Vigna unguiculata* L. Walp. son causa de un efecto osmótico, más que de un efecto tóxico por iones. Ambos procesos en condiciones salinas afectan la germinación de la semilla al disminuir la facilidad para que éstas absorban agua y se facilite la absorción de iones tóxicos (Smith & Comb, 1991). En la tolerancia a la salinidad de algún genotipo o grupo de ellos, es necesario comprender que es un carácter complejo, que involucra respuestas al estrés iónico y osmótico a nivel celular que pueden estar en coordinación de esas respuestas a nivel de organismo y su interacción con el medio circundante (Cheeseman, 1988; Yeo, 1998). Los mecanismos que confieren tolerancia a nivel celular pueden no tener efecto a nivel de planta, en donde se asocian células diferenciadas con distinta función (absorción, transporte, asimilación de carbono) espacialmente separadas y enfrentadas a condiciones ambientales distintas (Yeo, 1998).

Al respecto Munns, (2002) plantea que la sobrevivencia, la biomasa y altura de la planta son características suficientes para conocer la tolerancia a la salinidad, a su vez la morfología es uno de los principales factores que influyen en la sobrevivencia y el crecimiento de las plantas. Los resultados del presente estudio muestran como tolerantes a la salinidad en la etapa de germinación a las variedades Napoletano, Genovese Italian y Dolly, en emergencia fueron Lettuce Leaf, Dark Opal, Napoletano, Purple Ruffles y Red Rubin y en crecimiento inicial, Napoletano, Thai, Licorice, Spicy Glove, Purple Ruffles, Italian Large Leaf, Siam Queen, Red Rubin, Dark Opal y Lemon. De acuerdo con Sun & Dickinson (1995) los cambios en la morfología influyen en la capacidad para aceptar los nutrientes, agua y luz por lo que es importante atender la respuesta morfológica cuando crecen en estrés salino, para conocer el grado de tolerancia a este estrés. Estos resultados coinciden con los planteados por Pardossi *et al.* (1998) en donde establecen que las plantas al ser cultivadas en condiciones de salinidad reducen su crecimiento.

Esta respuesta según Taiz (1984) pudiera explicarse por una disminución en la utilización del carbono para la síntesis de la pared celular. En términos generales, la reducción en la síntesis de la pared celular durante el estrés, se debe a las afectaciones que se presentan en la longitud de radícula por lo que consecuentemente trae consigo una reducción de la biomasa fresca y seca de radícula y del tallo, como es el caso de Sweet Genovese, Lemon, Dark Opal, Sweet Dani en germinación, Licorice, Spicy Glove, Cinnamon, Thai, Emily, Siam Queen y Sweet Genovese en emergencia, Genovese Italian, Dolce Vita Blend, Emily, Cinnamon, Mrs Burns, Genovese, Lettuce Leaf, Sweet Dani, Dolly y Sweet Genovese en crecimiento inicial. Todas estas variedades en cada una de las etapas presentaron una reducción significativa y menor tolerancia al estrés salino. A su vez Zoppo *et al.* (1999) confirman la afectación que propicia el estrés salino en el crecimiento de las plantas al exponerse a estas condiciones adversas. Otros autores como González (2002), Mano & Takeda (2001) y Prazak (2001) señalan el uso de estos indicadores del crecimiento y la acumulación de

biomasa para discriminar genotipos tolerantes al estrés salino en diferentes cultivos. La discriminación de diferentes cultivos tolerantes o sensibles se debe a que muchos agentes estresantes, incluida la salinidad ocasionan alteraciones estructurales, fisiológicas e incluso bioquímicas, que conllevan a fuertes implicaciones metabólicas y ocasionan una reducción del crecimiento (González & Ramírez, 1998). En tal sentido, se ha indicado que dicho estrés afecta la actividad de una serie de enzimas, la estructura y permeabilidad de las membranas intracelulares, la homeostasis de la célula, las reacciones de intercambio de energía, el estado estructural y la actividad funcional del ADN (Storey & Walker 1999, González 2002) y muchas de las respuestas enzimáticas, sobre todo las consideradas como características del metabolismo de estrés, son también respuestas adaptativas, que favorecen una protección inespecífica de los daños causados por el estrés salino (Milanés & González, 1999). Por su parte, Gómez-Cadena (2001) menciona que a nivel de organismo existen mecanismos de interacción entre los órganos que toman parte en los procesos del transporte de agua, de compuestos minerales y orgánicos por la planta. Los mismos autores establecen que durante el estrés, el flujo de estas sustancias se debilita por varias causas, lo que agudiza la competencia entre las distintas partes del organismo por estos compuestos y ello provoca un retardo en el crecimiento, la falta de desarrollo de algunos órganos o la pérdida de éstos como la caída masiva de frutos, por autorregulación de la planta. En relación con el estrés salino del substrato salinizado, los iones entran rápidamente a todos los órganos de las plantas vía sistema radical y se acumulan en las células en grandes cantidades. La concentración límite de los iones en las células depende de las propiedades biológicas del citoplasma y el nivel de salinidad del medio.

El incremento de la concentración iónica en el citoplasma constituye en esencia la aparición del efecto estresante en el organismo vegetal. De acuerdo con González & Ramírez (1999) y González et al. (2002), con la acumulación de iones en las

plantas se producen una serie de cambios fisiológicos que constituyen la consecuencia directa de dicho estrés en el organismo vegetal. Entre estas alteraciones o cambios pudieran mencionarse la disminución del potencial osmótico y las variaciones que ocurren en el régimen hídrico de las plantas. Por su parte, Udovenko (1985) y González (1992) al analizar los datos experimentales sobre la influencia de diferentes tipos de sales sobre el metabolismo de las plantas observaron que los cambios que se producen son prácticamente idénticos; lo que ha servido de fundamento para afirmar la nula especificidad y uniformidad en las reacciones de defensa del organismo a los diferentes tipos de salinidad que pueden presentarse en el suelo. En este contexto, cabe ratificar lo planteado, de que muchos agentes estresantes ocasionan similares alteraciones estructurales, fisiológicas e incluso bioquímicas, que conllevan a fuertes implicaciones metabólicas y ocasionan una reducción del crecimiento y desarrollo de las plantas. Existe una variabilidad considerable para la tolerancia a la salinidad de las variedades en estudio en cada una de las variables morfométricas, destacándose la variedad Napoletano como la más tolerante y la variedad Sweet Genovese como la más sensible al estrés salino en las etapas de germinación, emergencia y crecimiento. El índice de tolerancia, calculado a partir de las variables morfométricas, resultó una variable eficaz para describir la mejor respuesta de las variedades de albahaca ante el estrés salino en las etapas de germinación, emergencia y crecimiento.

## AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo se realizó con recursos del proyecto "Innovación tecnológica de sistemas de producción y comercialización de especies aromáticas y cultivos élite en agricultura orgánica protegida con energías alternativas de bajo costo" financiado por SAGARPA-CONACYT. Se agradece el apoyo técnico de Carmen Mercado Guido y Lidia Hirales Lucero.

## LITERATURA CITADA

- Acevedo E (2003) Resistence to abiotic stresses. *Producción y protección vegetal*, 12: 133-145.
- Akram M, Ashraf MY, Ahmad R, Waraich EA, Iqbal J, Mohsan M (2010) Screening for salt tolerance in maize (*Zea mays* L.) hybrids at an early stage. *Pak J Bot* 42: 141-151.
- Alarcón J, Sánchez-Blanco M, Bolarin M, Torrecillas A (1993) Water relations and osmotic adjustments in *Lycopersicum esculentum* and *L. pennelli* during short-term salt exposure and recovery. *Physiol. Plantarum* 89: 441-447.
- Amor del FM, Martínez V, Cerdá A (2001) Optimización del manejo de aguas salinas en el cultivo del tomate en invernadero. *Agrícola Vergel* 239: 588-592.
- Bethke P, Drew M (1992) Stomatal and nonstomatal components to inhibition and photosynthesis in leaves of *Capsicum annum* L. during progressive exposure to NaCl salinity. *Plant Physiology* 99: 219-226.
- Chartzoulakis K, Klapaki G (2000) Response of two greenhouse pepper hybrids to NaCl salinity during different growth stages. *Scientia Horticulturae* 86: 247-260.
- Cheeseman JM (1988) Mechanisms of salinity tolerance in plants. *Plant Physiology* 87: 547-550.
- Farahbakhsh H, Shamsaddin M (2011) Effect of seed priming with NaCl on maize germination under different saline conditions. *African Journal of Agricultural Research* 6: 6095-6099.
- Ferreira R, Tavora F, Ferreyra F (2001) Dry matter partitioning and mineral composition of roots, stems and leaves of guava grown under salt stress conditions. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira* 36: 79-88.
- Gómez-Cadena A (2001) Alteraciones en la fisiología de los cítricos inducidas por salinidad. *Levante Agrícola* 356: 187-193.
- González LM (1992) Influencia de diferentes tipos de sales sobre el crecimiento de las plántulas de arroz durante la germinación. *Ciencias Biológicas* 25: 137-139.
- González LM (2002) Reflexiones sobre los mecanismos generales de adaptación de las plantas a la salinidad y a otros tipos de estrés. *Alimentaria* 339: 99-102.
- González LM, Argente L, Zaldivar N, Ramírez R (2005) Efecto de la sequía simulada con PEG-6000 sobre la germinación y el crecimiento de las plántulas de dos variedades de trigo. *Cultivos tropicales* 26: 45-49.
- González LM, Ramírez R (1998) Correlation of some varietal characteristics with grain yield and stress tolerance index under saline conditions. *IRRI Notes* 23:19-20.
- González LM, Ramírez R (1999) Respiración, relaciones hídricas y concentración de pigmentos en plántulas de arroz cultivadas en condiciones salinas. *Cultivos Tropicales* 20: 35-37.
- González LM, Ramírez R (2002) Los suelos salinos y su utilización en la producción agrícola. *Alimentaria* 339:103-107.
- González LM, Torres W, González MC (2002) Apuntes sobre la fisiología de las plantas cultivadas bajo estrés de salinidad. *Cultivos Tropicales* 23: 312-315.
- González LM, Zamora A, Céspedes N (2000a) Tolerancia a la salinidad en cultivares de *Vigna unguiculata* L. Walp. durante las etapas iniciales del crecimiento de las plantas. *Alimentaria* 314: 105-108.
- González LM, Zamora A, Céspedes N (2000b) Análisis de la tolerancia a la salinidad en variedades de *Vigna unguiculata* L. sobre la base de caracteres agronómicos, la acumulación de iones y el contenido de proteína. *Cultivos Tropicales* 21: 47-52.

- Hakim M, Rhaman L (1992) Tolerance of some tomato cultivars to salinity. *Acta Horticulturae* 323: 183-189.
- Horst GL, Taylor RM (1983) Germination and initial growth of Kentucky bluegrass in soluble salts. *Agronomy Journal* 75:679.
- International Seed Testing Association- ISTA (1999) International Rules for Seed Testing. *Seed Science and Technology* 27. 340 pp.
- Lee SJ, Umamo K, Shibamoto T, Lee KG (2005) Identification of volatile components in basil (*Ocimum basilicum* L.) and thyme leaves (*Thymus vulgaris* L.) and their antioxidant properties. *Food Chem.* 91:131-137
- Lerner H (1985) Adaptation to salinity at the plant cell level. *Plant and Soil* 89: 3-14.
- Maas EV (1986) Salt tolerance of plants. *Applied Agricultural Research* 1: 12-26.
- Mano Y, Takeda K (2001) Genetic resources of salt- tolerance at germination and the seedling stage in wheat. *Journal of Crop Science* 70: 215-220.
- Mesa D (2003) Obtención de plantas resistentes a la salinidad para los suelos salinos cubanos. *Ciencia Agrícola* 37: 217-226.
- Milanés I, González LM (1999). Cambios en la actividad de las enzimas peroxidasa, catalasa y alfa-amilasa en semillas de arroz durante la germinación en condiciones salinas. *Centro Agrícola* 262: 73-76.
- Mizrahi Y, Taleisnik E, Kagan-zur V, Zohar Y, O\_ enbach R, Matan E, Golan R (1988) A saline irrigation regime for improving tomato fruit quality without reducing yield. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 113: 202-205.
- Munns R (2002) Comparative physiology of salt and water stress. *Plant Cell Environment* 25: 239-250.
- Murillo-Amador B, Troyo-Diéguez E, Jones HG, Ayala-Chairez F, Tinoco-Ojanguren CL, López-Cortés A (2000) Screening and classification of cowpea genotypes for salt tolerance during germination. *Pyton Int J Exp Bot* 67: 71-84.
- Murillo-Amador, B Beltrán-Morales, FA, García-Hernández, JL, Fenech-Larios, L (2006) (Ed.). *La agricultura orgánica en Baja California Sur*. Edit. CIBNOR. La Paz, B.C.S. México. 298 pp.
- Murillo-Amador B, Yamada S, Yamaguchi T, Rueda-Puente E, Ávila-Serrano N, García-Hernández JL, López-Aguilar R, Troyo-Diéguez E, Nieto-Garibay A (2007) Influence of calcium silicate on growth, physiological parameters and mineral nutrition in two legume species under salt stress. *J. Agronomy Crop Science* 193: 413-421.
- Nerson H, Paris HS (1984) Effects of salinity on germination, seedling growth, and yield of melons. *Irrigation Science* 5: 265-273.
- Pardossi A, Malorgio F, Oriolo D, Gucci R, Serra G, Tognoni F (1998) Water relations and osmotic adjustment in *Apium graveolens* during long-term NaCl stress and subsequent relief. *Plant Physiology* 102: 369-376.
- Prazak R (2001) Salt-tolerance of *Triticum monococcum* L., *Triticum dicocum* (s. chank) Schubl., *Triticum durum* Desf and *Triticum aestivum* L. seedlings. *Journal of Applied Genetics* 42: 289-292.
- Ramírez CJ, Moreno B, Murillo E (2001) Evaluación agronómica e industrial de siete variedades de albahaca en la zona cafetalera colombiana. *Cenicafé* 52: 117-126.
- Royo A, Aragües R (2003) Establecimiento de nuevos índices de tolerancia de los cultivos a la salinidad: la cebada como caso de estudio. *Investigación Agraria. Producción y Producción Vegetal* 3: 410- 421.

- Rush W, Epstein E (1981) Comparative studies on the sodium, potassium and chloride relations of a wild halophytic and a domestic salt-sensitive tomato species. *Plant Physiol.* 68: 1308-1303.
- Samperio RG (1997) *Hidroponía Básica*. Editorial Diana 176 pp.
- Smith PT, Comb BG (1991) Physiological and enzymatic activity of pepper seeds (*Capsicum annuum*) during priming. *Physiol. Plantarum* 82: 433-439.
- Sokal RP, Sneath PHA (1993) *Principles of numerical taxonomy*. San Francisco, USA. 359 pp.
- StatSoft Inc (2011) *Statistica*. System reference. StatSoft, Inc., Tulsa, Oklahoma, USA. 1098 pp.
- Storey R, Walker R (1999) Citrus and salinity. *Scientia Horticulturae* 78: 39-81.
- Sun D, Dickinson GR (1995) Survival and growth responses of a number of Australian tree species planted on a saline site in tropical north Australia. *Journal of Applied Ecology* 32: 817-826.
- Taiz L (1984) Plant cell expansion: Regulation of cell wall mechanical properties. *Plant Physiology* 35: 585-657.
- Tal M (1985) Genetics of salt tolerance in higher plants: theoretical and practical considerations. *Plant and Soil* 89: 199-226.
- Tester M, Davenport R (2003) Na<sup>+</sup> tolerance and Na<sup>+</sup> transport in higher plants. *Ann. Bot.* 91: 503-527.
- Udoenko GV (1976) *Métodos de evaluación de la resistencia de plantas a los factores adversos del medio*. Editorial Kolos, Leningrado 318 pp.
- Udoenko GV (1985) Vías para la elevación de la productividad de las plantas cultivadas en suelos salinizados. *Ciencias de la Agricultura* 25: 77-84.
- Wahome P, Jesch H, Grittner I (2001) Mechanisms of salt stress tolerance in two rose rootstocks: *Rosa chinensis* "Major" and *R. rubiginosa*. *Sci. Hort.* 87: 207-216.
- West DW, Francois LE (1982) Effects of salinity on germination, growth and yield of cowpea. *Irrigation Science* 3: 169-175.
- Yeo AR (1998) Molecular biology of salt tolerance in the context of whole-plant physiology. *Journal of Experimental Botany* 49: 915-929.
- Zoppo del M, Galleschi L, Onnis A, Pardossi A, Saviozzi F (1999) Effect of salinity on water relations, sodium accumulation, chlorophyll content and proteolytic enzymes in a wild wheat. *Biologia Plantarum* 42: 97-104.