

TOLERANCIA AL ESTRÉS HÍDRICO EN VARIEDADES DE ALBAHACA *Ocimum basilicum* L.

Tolerance to Water Stress in Varieties of Basil (*Ocimum basilicum* L.)

Carlos Michel Ojeda-Silvera¹, Alejandra Nieto-Garibay¹, Inés María Reynaldo-Escobar², Enrique Troyo-Diéguez¹, Francisco Higinio Ruiz-Espinoza³ y Bernardo Murillo-Amador^{1†}

RESUMEN

Es importante evaluar los índices de tolerancia a la sequía de los cultivos, para recomendar a los agricultores el material vegetal más productivo cuando no se dispone de suficientes recursos hídricos. En el presente trabajo, se evaluó la tolerancia al estrés hídrico de veinte variedades de albahaca en las etapas de germinación, emergencia y crecimiento inicial, utilizando variables morfométricas. En germinación se emplearon dos tratamientos de sequía simulada con PEG-8000 con potenciales hídricos de -0.75 MPa, -1.50 MPa y agua destilada como control; en emergencia, los tratamientos consistieron en mantener el potencial hídrico del sustrato a -0.75 MPa, -1.50 MPa y un control a capacidad de campo, mientras que en crecimiento inicial se aplicó el método de la pérdida de turgencia mantenida sin llegar al punto de marchites permanente, teniendo un control con riego a capacidad de campo. En las etapas de germinación y emergencia se calcularon índices de tolerancia para altura de plántula, longitud de radícula, biomasa fresca y seca de radícula, biomasa fresca y seca de parte aérea. En el crecimiento inicial se calcularon índices de tolerancia para altura de planta, longitud de raíz, biomasa fresca y seca de raíz, biomasa fresca y seca de tallo, biomasa fresca y seca de hoja y área foliar. Al realizar un análisis de conglomerado jerárquico y de ligamiento completo sobre la base de la distancia Euclidiana, las variedades de albahaca fueron agrupadas en cuatro según los índices de tolerancia medidos en la etapa de germinación, en tres grupos con

base en los índices medidos en la emergencia y en dos grupos en la etapa de crecimiento inicial, indicando la existencia de variabilidad genética en las variedades evaluadas, destacándose la variedad Dolly como la más tolerante en las tres etapas y Sweet Genovese como la más sensible al estrés hídrico.

Palabras claves: sequía, zonas áridas, biomasa, hierbas aromáticas.

SUMMARY

The evaluation of crop tolerance to drought indices are important in order to recommend the most productive crops to grow when water resources are insufficient. In this study, the tolerance to water stress of twenty varieties of basil in stages of germination, seedling emergence and early growth using morphometric variables was evaluated. In the germination stage two drought treatments were simulated with PEG-8000 with water potentials of -0.75 MPa, -1.50 MPa and distilled water as a control; during seedling emergence the treatments consisted of maintaining the water potential of the substrate at -0.75 MPa, -1.50 MPa with a control group based on irrigation at field capacity; and early growth was tested by the loss of turgor method without inflicting permanent wilting damage, the control group was determined by the water irrigation of field capacity. In the early stages of germination and emergence, tolerance was evaluated based on the rates of seedling height, radicle length, fresh and dry biomass of radicle and fresh and dry biomass of shoot. Initial growth tolerance indices were calculated for plant height, root length, fresh and dry biomass of root, fresh and dry biomass of stem, fresh and dry biomass of leaf as well as leaf area. Through the hierarchical cluster analysis of complete linkage on the basis of the Euclidean distance, varieties clustered into four groups according to tolerance indices measured at the germination stage, into three groups based on measurements of seedling

¹ Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C. Mar Bermejo 195, Col. Playa Palo de Sta. Rita. 23096 La Paz, B.C.S., México.

[†] Autor responsable (bmurillo04@cibnor.mx)

² Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. Carretera de Tapaste Km. 3.5 San José de Las Lajas. La Habana, Cuba.

³ Universidad Autónoma de Baja California Sur. Carretera al Sur km 5.5, Apdo. Postal 19-B. 23080 La Paz, Baja California Sur, México.

emergence and into two groups based on the initial growth stage, indicating the existence of genetic variability in the varieties tested, outstanding as the most tolerant of these was the variety Dolly for the three stages, while Sweet Genovese was the most susceptible to water stress.

Index words: *drought, arid zones, biomass, herbs.*

INTRODUCCIÓN

A nivel mundial los suelos agrícolas se encuentran afectados por la sequía, que constituye uno de las limitantes más importantes en la producción agrícola, debido a que millones de hectáreas presentan altos grados de aridez (Frahm *et al.*, 2004). Según Ferreira y Carlesso (1998), la frecuencia e intensidad del déficit hídrico constituyen uno de los factores más importantes que limitan la producción agrícola mundial. Los procesos fisiológicos de las plantas como el crecimiento celular son muy sensibles al déficit hídrico, lo que limita la expansión del área foliar (Parra *et al.*, 1999), la fotosíntesis y la transpiración se abaten a consecuencia de la reducción de la turgencia, al cierre estomático y al bloqueo de la difusión de CO₂ hacia el mesófilo (Ludlow y Muchow, 1990; Nuñez-Barrios, 1991; Kumar *et al.*, 1994). Diversas han sido las investigaciones para lograr disminuir el efecto de la sequía en la agricultura y elevar los rendimientos, desde la mejora genética (Ellis *et al.*, 2000; Inostroza *et al.*, 2007) hasta el riego de precisión, el uso de cultivos tolerantes a sequía y con mayor eficiencia el uso del agua ha sido de interés global, debido al rápido crecimiento de la población mundial y a la disminución acelerada del recurso hídrico destinado a la agricultura, el cual permite el aumento de la producción y brinda mayor seguridad a la agricultura en ambientes marginales, que frecuentemente presentan altos riesgos debido a la sequía (Baum *et al.*, 2003).

El cultivo de plantas tolerantes a la sequía, es sin duda una alternativa de gran valor para la explotación de áreas propensas a la sequía como las del noroeste de México, siendo el cultivo de la albahaca uno de los más importantes en dicha región; específicamente el Estado de Baja California Sur el cual es el mayor productor de albahaca en México (SIAP, 2011), con un mercado de exportación seguro, debido a las propiedades de dicha planta que permite su uso en la industria farmacéutica, alimenticia y en los cosméticos dado el alto contenido

de sus aceites esenciales (El-Beshbishy, 2012). Debido a la evolución de los mecanismos de tolerancia o resistencia de las plantas a los diferentes agentes estresantes, se observa la existencia de grados de sensibilidad y de tolerancia diferentes, tanto desde el punto de vista de los mecanismos, como de la amplitud y distribución de las especies e incluso de genotipos dentro de una misma especie, lo que puede evidenciar su grado de desarrollo para emitir una respuesta diferenciada ante cada estrés (González-Núñez, 2002). En los últimos años se ha experimentado una reducción en el rendimiento debido a las condiciones climáticas no favorables como es la sequía (Fenech-Larios *et al.*, 2008). Por tal motivo este trabajo tuvo como objetivo evaluar la tolerancia de variedades de albahaca al estrés hídrico en la germinación, emergencia y crecimiento inicial, sobre la base de indicadores morfológicos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de Estudio y Material Genético

El experimento en la etapa de germinación se realizó en un laboratorio del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR) y los experimentos de la etapa de emergencia y crecimiento se llevaron a cabo en condiciones de malla sombra, en una estructura que se ubica en el campo experimental del CIBNOR. Para las tres etapas se tomaron semillas de veinte variedades de albahaca provenientes de la empresa Seed Company (U.S.A.) sin información sobre la tolerancia o sensibilidad al estrés hídrico. Las variedades fueron Lemon, Sweet Dani, Sweet Genovese, Siam Queen, Red Rubin, Thai, Dark Opal, Spicy Glove, Mrs Burns, Cinnamon, Licorice, Purple Ruffles, Italian Large Leaf, Lettuce Leaf, Emily, Dolly, Genovese, Genovese Italian, Dolce Vita y Napoletano. Para todas las etapas experimentales, previamente se realizó una prueba de germinación para determinar el porcentaje total de germinación de cada variedad, 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 los genotipos como factor A y los tratamientos de sequía

como factor B, con cuatro repeticiones de 30 semillas cada una. Los tratamientos con condiciones de sequía aplicados durante la etapa de germinación se simularon con soluciones de polyetilenglycol, peso molecular de 8000 con potencial hídrico de -0.75 MPa (estrés moderado) y -1.5 Mpa (estrés severo) calculados con la fórmula de Emmerich y Hardegree (1991) y corroborados con el medidor de potencial (Dewpoint Potential Meter modelo WP4-T). Como control se utilizó agua destilada con un valor despreciable de presión osmótica (sin estrés). Las cajas se incubaron en una cámara de germinación (Lumistell, modelo IES-OS, serie 1408-88-01) en condiciones controladas de temperatura 25 ± 1 °C, humedad 80% y luz (12 h continuas) durante nueve días. La germinación se registró diariamente y el valor final se determinó a los nueve días. La tasa de germinación se calculó utilizando la ecuación de Maguire (1962):

$$M = n1/t1 + n2/t2 + \dots + n30/t9 \quad (1)$$

donde: $n1, n2, \dots, n30$ son el número de semillas germinadas en los tiempos $t1, t2, \dots, t9$ (en días). Los tratamientos de déficit hídrico se mantuvieron hasta los 15 días cuando se seleccionaron al azar 10 plántulas por tratamiento/repetición, a las que se les midió longitud de radícula (cm) y de parte aérea (cm), peso fresco (g) y peso seco (g) de radícula y de parte aérea.

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 de estrés hídrico como factor B, con tres repeticiones de 30 semillas cada una. Las semillas se sembraron en bandejas de poliestireno de 200 cavidades, las cuales contenían sogemix® (sustrato comercial) como sustrato. Los tratamientos aplicados consistieron en mantener el potencial hídrico del sustrato a -0.75 MPa, -1.50 MPa y un control a capacidad de campo (potencial hídrico del sustrato 0 MPa), mismos que se determinaron mediante la curva de la pérdida de humedad del sustrato empleado. A los 14 días, se muestrearon 10 plántulas por tratamiento/repetición y se les midió altura de plántula (cm), longitud de raíz (cm), biomasa fresca (g) y seca de radícula (g) y parte aérea (g), estas últimas se determinaron por el método destructivo.

Condiciones Experimentales Etapa de Crecimiento Inicial

Las semillas se sembraron en bandejas de poliestireno de 200 cavidades, las cuales contenían sogemix® (sustrato comercial) como sustrato. El riego aplicado a las charolas se realizó diariamente con el fin de lograr una emergencia homogénea de las plantas. El trasplante se realizó cuando las plantas presentaron una altura promedio de 15 cm en macetas de aproximadamente 1 kg, mismas que contenían como sustrato comercial sogemix®. En cada maceta se colocó una planta con el fin de asegurar el éxito del trasplante. Una vez que se trasplantaron, se inició la aplicación diaria del riego, utilizando para ello agua potable, la cual contenía una solución nutritiva (expresada en $g L^{-1}$ de cada sustancia), 53.33 de KNO_3 , 10.2 de NH_4NO_3 , 14.8 de $(NH_4) H_2PO_4$, 60.2 de $Ca(NO_3)_2$, 42 de $Mg SO_4 \cdot H_2O$, 2 de $FeSO_4$, 0.5 de $MnSO_4 \cdot H_2O$, 0.1 de $ZnSO_4 \cdot H_2O$, 0.1 de $CuSO_4$ y 0.1 de H_3BO_3 , preparada para albahaca según Samperio (1997). Después de una semana del trasplante se inició con los tratamientos. El experimento se estableció en un diseño completamente al azar con arreglo factorial, con seis repeticiones, considerando a las variedades de albahaca como factor A y como factor B, los niveles de humedad donde se empleo riego a capacidad de campo (potencial hídrico del sustrato 0 MPa)(control) y déficit hídrico, este último consistió en no regar las plantas hasta que presentaron síntomas de estrés hídrico (pérdida de turgencia mantenida de las hojas desde la mañana) sin llegar al punto de marchitamiento permanente. A los 45 días de aplicación de los tratamientos, se separaron la raíz, tallo y hojas de la planta y se les midió longitud de tallo y raíces (cm), biomasa fresca (g) y seca de raíz (g), tallo (g) y hoja (g), y área foliar (cm^2). Después de separar las hojas de los tallos, se determinó el área foliar utilizando un integrador de área foliar (LI-COR, modelo-LI-3000A, serie PAM 1701), expresando los datos de esta variable en centímetros cuadrados. Para determinar peso fresco y seco de biomasa 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 y Sensibles al Estrés Hídrico

Para determinar las variedades tolerantes y sensibles al estrés hídrico, se utilizaron los datos de las variables morfométricas en cada una de las etapas, calculándose la tolerancia relativa al estrés hídrico, siguiendo la fórmula propuesta por Udovenko (1976):

$$ITR (\%) = 100 (ITS/ITC) \quad (2)$$

dónde: *ITR*: índice de tolerancia relativa, *ITS*: media de cada una de las variables morfométricas evaluadas en condiciones de estrés, *ITC*: media de cada una de las variables morfométricas evaluadas en condiciones normales.

Análisis Estadístico

Los datos obtenidos cumplieron con los supuestos teóricos de normalidad y homogeneidad de varianza, por lo que se realizaron los análisis de varianza y comparaciones múltiples de medias (Scheffe, $p = 0.05$)

correspondientes. Con los datos de las variables morfométricas se calculó el índice de tolerancia a la sequía y se realizó un análisis de Conglomerado Jerárquico y de Ligamiento Completo, con base en la distancia Euclidiana (Sokal y Rohlf, 1998), se utilizó el programa estadístico Statistica v. 10.0 para Windows (StatSoft Inc., 2011).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de conglomerado jerárquico y de ligamiento completo a través de la distancia Euclidiana, agrupó a las veinte variedades estudiadas en cuatro grupos en la etapa de germinación, con base en los índices de tolerancia medidos (Figura 1), lo que revela la existencia de variabilidad entre los materiales evaluados. El grupo uno, formado por las variedades Purple Ruffles, Dolly, Italian Large Leaf, Emily, Lectuce Leaf y Licorice, fue el que presentó los mayores índices de tolerancia relativa a la sequía para todas las variables evaluadas (Cuadro 1) y por ende incluye las plantas de mayor grado de tolerancia. Este aspecto es importante, dado que la fase de germinación se considera una fase

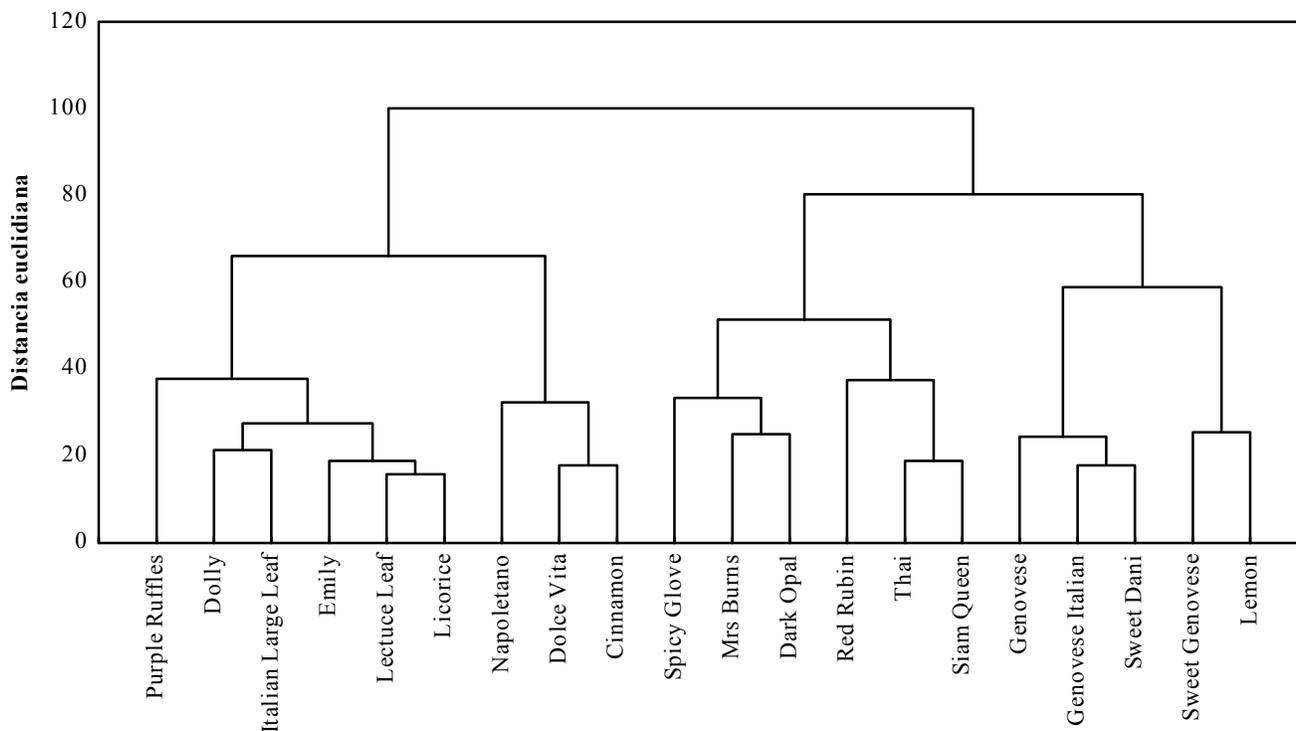


Figura 1. Agrupamiento de las variedades de albahaca con base en los índices de tolerancia relativa al estrés hídrico calculados en la etapa de germinación.

Cuadro 1. Valores promedio de los índices de tolerancia relativa al estrés hídrico de las variedades de albahaca en la etapa de germinación.

Grupos	Variedades	Índices de tolerancia					
		Altura de plántula	Longitud de la radícula	Biomasa fresca de la radícula	Biomasa seca de la radícula	Biomasa fresca de la parte aérea	Biomasa seca de la parte aérea
----- % -----							
I	Purple Ruffles, Dolly, Italian Large Leaf, Emily, Lactuce Leaf, Licorice	91.30	91.5	92.4	94.0	92.0	93.10
II	Napoletano, Dolce Vita, Cinnamon	81.5	82.20	81.0	80.10	85.0	86.10
III	Spicy Glove, Mrs Burns, Dark Opal, Red Rubin, Thai, Siam Queen	74.10	75.20	75.0	74.0	76.24	72.32
IV	Genovese, Genovese Italian, Sweet Dani, Sweet Genovese, Lemon	65.0	62.25	60.0	59.75	66.33	64.12

crítica del cultivo. En tal sentido, Biasutti y Galiñanes (2001) y González-Núñez *et al.* (2005) señalaron que es necesario tener en cuenta la habilidad de las semillas para germinar y desarrollarse en limitadas condiciones de humedad para su selección como tolerantes, el establecimiento exitoso y vigoroso de las plántulas contribuyen indirectamente a lograr altos rendimientos. Las variedades Napoletano, Dolce Vita, Cinnamon, Spicy Glove, Mrs Burns, Dark Opal, Red Rubin, Thai y Siam Queen se ubicaron en los grupos dos y tres, presentando valores de tolerancia relativa intermedios y las variedades Genovese, Genovese Italian, Sweet Dani, Sweet Genovese y Lemon se ubicaron en el cuarto grupo con los valores más bajos de tolerancia, lo que demuestra sensibilidad de estas variedades al estrés hídrico. Para muchas plantas, las condiciones de sequía puede ser la causa de una disminución notable en la productividad, debido a la relación entre estrés hídrico y la disminución del crecimiento, la reducción del tamaño de las células, sobre todo cuando este déficit ocurre en las primeras etapas del crecimiento vegetativo. Los elementos anteriores probablemente se asocian a que el estrés por sequía atrasa la división y elongación celular, aspectos señalados por Quintero *et al.* (2002), Heidary y Heidary (2002), Dell Amico *et al.* (2006). Por su parte, Jerez y Barroso (2002) estudiando el cultivo de la albahaca, aplicaron reducciones en el riego en las diferentes fases de desarrollo, observaron una marcada disminución en el crecimiento cuando se sometieron al déficit hídrico,

debido a la consecuente afectación en el proceso de elongación y división celular. Otra hipótesis plausible puede ser la propuesta por autores como Hamayun *et al.* (2010), al analizar el crecimiento de variedades de soya, consideraron que los efectos adversos del estrés hídrico condujeron a la disminución significativa del crecimiento debido a una posible disminución de la actividad enzimática (enzimas hidrolíticas) tales como la α -amilasa, proteasas y lipasas responsables de hidrolizar las reservas de los cotiledones requeridas para proveer energía en las primeras etapas del crecimiento. Conociendo estos antecedentes es posible explicar los resultados del último grupo de variedades de plantas de albahaca que no fueron capaces de expresar adaptabilidad a las condiciones del medio.

Al realizar el agrupamiento de las variedades en cuanto a sus índices de tolerancia relativa al estrés hídrico en la etapa de emergencia, estas se aglomeraron en tres grupos, lo que evidencia la existencia de variabilidad genética en cuanto a la respuesta al estrés hídrico para dicha etapa (Figura 2). Un primer grupo representado por la variedad Dolly con los valores mayores de tolerancia para todas las variables analizadas (Cuadro 2) observándose el más alto para la variable longitud de la radícula (97.75%), lo que la ubica como una variedad tolerante al estrés hídrico. En estudios realizados por Sharp *et al.* (1988) y Ball *et al.* (1994), demostraron que a mayor crecimiento del sistema radical de las plantas en suelos con déficit hídrico, pueden permitirle

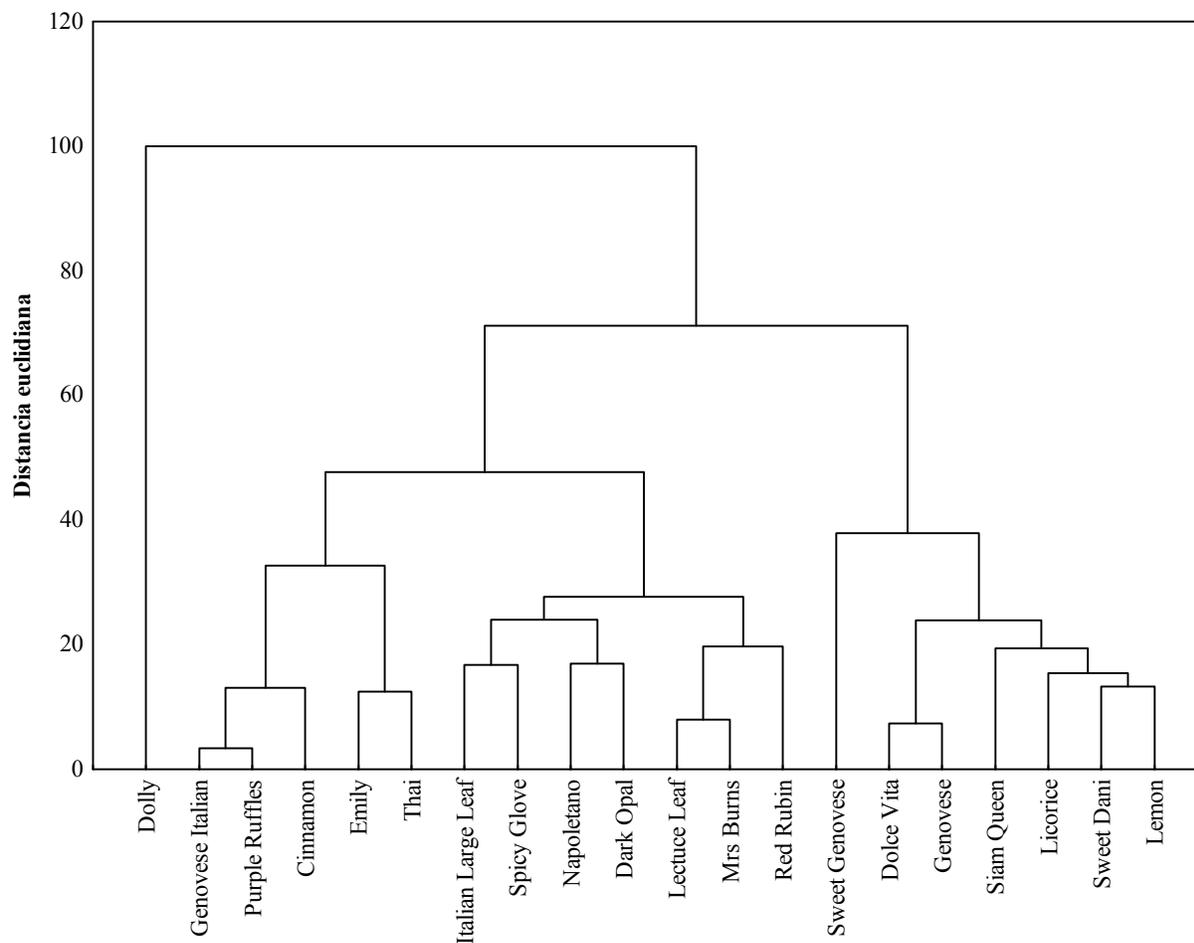


Figura 2. Agrupamiento de las variedades de albahaca con base en los índices de tolerancia relativa al estrés hídrico calculados en la etapa de emergencia.

Cuadro 2. Valores promedio de los índices de tolerancia relativa al estrés hídrico de las variedades de albahaca en la etapa de emergencia.

Grupos	Variedades	Índices de tolerancia					
		Altura de plántula	Longitud de la radícula	Biomasa fresca de la radícula	Biomasa seca de la radícula	Biomasa fresca de la parte aérea	Biomasa seca de la parte aérea
		----- % -----					
I	Dolly	93.50	97.75	94.10	95.65	93.40	92.10
II	Genovese Italian, Purple Ruffles, Cinnamon, Emily, Thai, Italian Large Leaf, Spicy Glove, Napoletano, Dark Opal, Lectuce Leaf, Mrs Burns, Red Rubin	81.0	80.25	82.0	85.0	82.10	83.20
III	Sweet Genovese, Dolce Vita, Genovese, Siam Queen, Licorice, Sweet Dani, Lemon	76.0	71.0	73.10	70.10	71.20	72.20

la exploración de una mayor superficie en busca de agua, siempre que estas sean lo suficientemente vigorosas para soportar el estrés. Esto puede alentar a la selección de plantas tolerantes cuando su sistema radical sea capaz de desarrollarse vigorosa y oportunamente ante condiciones de sequía. Las variedades Genovese Italian, Purple Ruffles, Cinnamon, Emily, Thai, Italian Large Leaf, Spicy Glove, Napoletano, Dark Opal, Lectuce Leaf, Mrs Burns y Red Rubin formaron el grupo dos con valores entre 80 y 85% (Cuadro 2) este último valor en el índice de tolerancia relativa para la variable biomasa seca de raíz, lo que puede catalogarlas como variedades moderadamente tolerantes al estrés hídrico. El grupo tres formado por las variedades Sweet Genovese, Dolce Vita, Genovese, Siam Queen, Licorice, Sweet Dani y Lemon fueron clasificadas como sensibles al presentar los menores valores de tolerancia relativa al estrés

hídrico, lo cual pudo estar determinado por la incapacidad de algunas plantas a desarrollar mecanismos adaptativos que minimicen el efecto detrimental del estrés hídrico (Blum, 2005). El déficit hídrico que se produce en los tejidos en crecimiento, disminuye la turgencia de la célula y por ende inhibe la elongación celular; también se puede afectar la división celular; aspectos corroborados por Martín de Santa Olalla *et al.* (2005), quienes señalaron que el proceso más sensible al déficit hídrico es el crecimiento celular, siendo especialmente sensible la división y la elongación celular, como consecuencia, se observa una disminución en el crecimiento de las plántulas.

El análisis realizado en la etapa de crecimiento inicial mostró una ubicación de las variedades en dos grupos (Figura 3), lo que demuestra la existencia de variabilidad en la respuesta al estrés hídrico en las variables

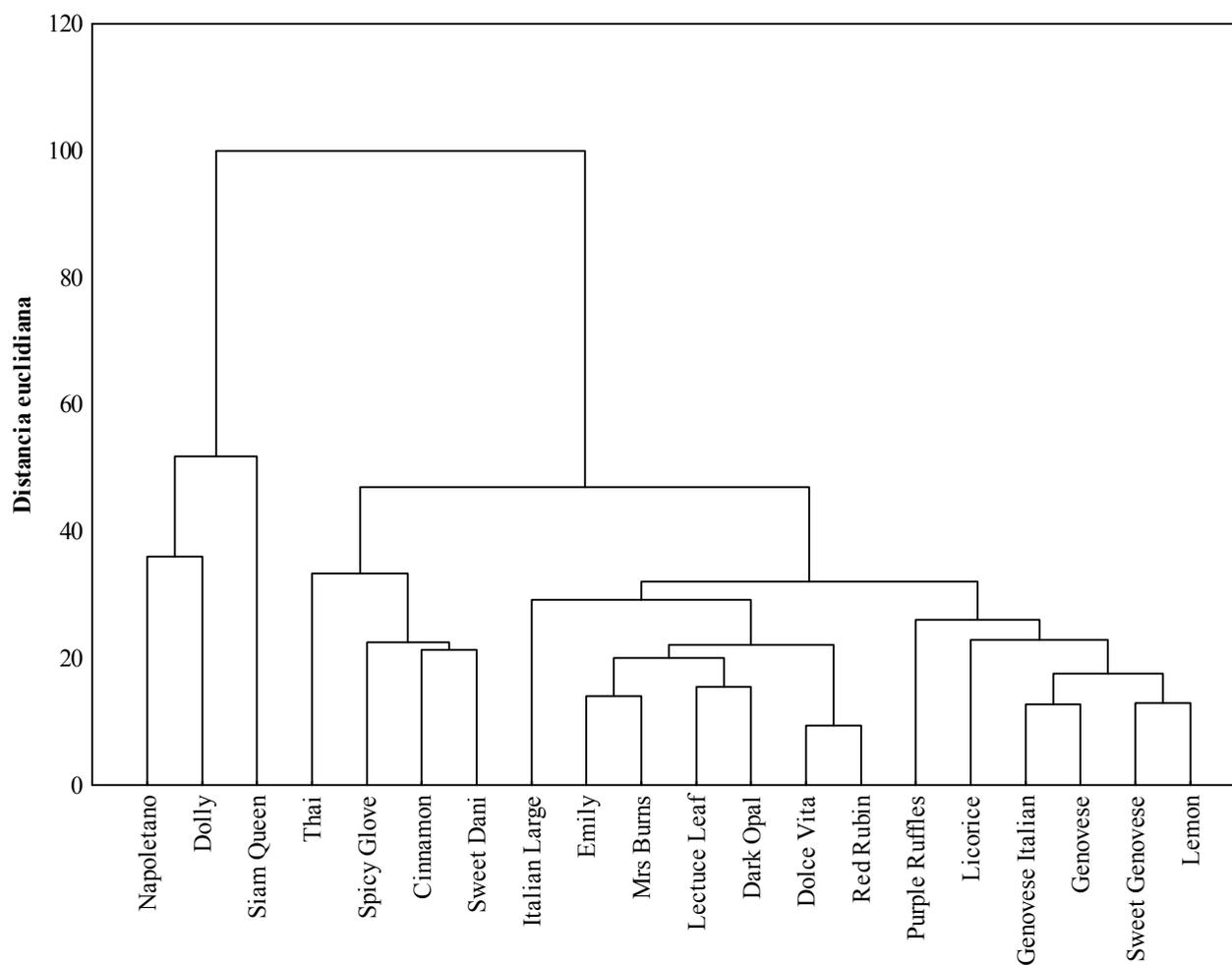


Figura 3. Agrupamiento de las variedades de albahaca con base en los índices de tolerancia relativa al estrés hídrico calculados en la etapa de crecimiento.

evaluadas. El crecimiento y desarrollo de las plantas en estrés hídrico, han sido estudiados por varios autores (Frensh, 1997; Lu y Neumann, 1998; Lovisolo y Schubert, 1998; Steudle, 2000) quienes coinciden que las diferencias en las respuestas ante el estrés pueden ser utilizadas para la selección de variedades tolerantes, ya que se logra conocer cual o cuales responderían positivamente, recuperándose o adaptándose ante dichas afectaciones, como es el caso de las variedades Dolly, Napoletano y Siam Queen, que presentaron los mayores valores en el índice de tolerancia relativa, manifestando tolerancia al estrés hídrico. Con valores inferiores a los del primer grupo (Cuadro 3) se observó un segundo grupo, donde se encuentran las variedades Genovese Italian, Purple Ruffles, Cinnamon, Emily, Thai, Italian Large Leaf, Spicy Glove, Dark Opal, Lectuce Leaf, Mrs Burns, Red Rubin, Sweet Genovese, Dolce Vita, Genovese, Licorice, Sweet Dani y Lemon. Lo que demuestra que existe una respuesta diferencial ante el estrés (González-Núñez, 2002) y que a pesar de que las plantas pertenecen a la misma especie pueden presentar respuestas diferentes debido a su grado de tolerancia o sensibilidad, elemento que está muy ligado a sus características morfo-fisiológicas; siendo la altura de la planta la variable más sensible. Estos resultados coinciden con los encontrados por Méndez-Natera *et al.* (2010), quienes determinaron que el proceso de elongación celular fue altamente sensible a la deficiencia de agua, lo que condujo

a una reducción en el crecimiento, debido a la pérdida de turgencia de estas células. Esto se sustenta en los principios planteados por Jones *et al.* (2002), que indican que el crecimiento y su consecuente acumulación de biomasa en las plantas está estrechamente relacionada con el grado de humedad del suelo, debido al desencadenamiento de procesos adaptativos que traen una disminución marcada en la misma. Todo lo anterior pudiera brindar una alternativa para caracterizar variedades tolerantes o sensibles a la sequía, basados en pruebas de ambientes controlados, como plantean Biasutti y Galiñanes (2001).

CONCLUSIONES

- Se encontró una respuesta diferencial para la tolerancia al estrés hídrico de las variedades de albahaca en estudio en cada una de las variables morfométricas, destacándose la variedad Dolly como la más tolerante y la variedad Sweet Genovese como la más sensible al estrés hídrico en las etapas de germinación, emergencia y crecimiento.
- El índice de tolerancia relativo calculado a partir de las variables morfométricas, resultó un método eficaz para describir la mejor respuesta de las variedades de albahaca ante el estrés hídrico en las etapas de germinación, emergencia y crecimiento.

Cuadro 3. Valores promedio de los índices de tolerancia relativa al estrés hídrico de las variedades de albahaca en la etapa de crecimiento vegetativo.

Grupos	Variedades	Índices de tolerancia					
		Altura de plántula	Longitud de la radícula	Biomasa fresca de la radícula	Biomasa seca de la radícula	Biomasa fresca de la parte aérea	Biomasa seca de la parte aérea
		----- % -----					
I	Napoletano, Dolly, Siam Queen	85	89.9	88.75	87.9	87.7	88.0
II	Genovese Italian, Purple Ruffles, Cinnamon, Emily, Thai, Italian Large Leaf, Spicy Glove, Dark Opal, Lectuce Leaf, Mrs Burns, Red Rubin, Sweet Genovese, Dolce Vita, Genovese, Licorice, Sweet Dani, Lemon	65.20	68.0	72.10	69.0	73.15	72.50

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 Hiraless-Lucero.

LITERATURA CITADA

- Ball, R. A., D. Oosterhuis, and A. Mauromoustakos. 1994. Growth dynamics of the cotton plant during water-deficit stress. *J. Agron.* 86: 788-795.
- Baum, M., S. Grando, G. Backes, A. Jahoor, A. Sabbgh, and S. Ceccarelli. 2003. QTLs for agronomic traits in the Mediterranean environment identified in recombinant inbred lines of the cross Arta H. *spontaneum*. *Theor. Appl. Genets.* 107: 1215-1225.
- Biasutti, C. A. y V. A. Galiñanes. 2001. Influencia del ambiente de selección sobre la germinación de semillas de maíz bajo estrés hídrico. Relaciones entre carácter de plántula con el rendimiento a campo. *Agrociencia* 18: 37-44.
- Blum, A. 2005. Drought resistance, water use efficiency, and yield potential- are they compatible, dissonant, or mutually exclusive. *Aust. J. Agric. Res.* 56: 1159-1168.
- Dell Amico, J. M., D. Morales, R. Polon y F. Fernández. 2006. Respuestas adaptativas a la sequía en el tomate inducidas por osmocondicionamiento de plántulas. *Cult. Trop.* 27: 34-37.
- El-Beshbishy HA, S. A. Bahashawn. 2012. Hypoglycemic effect of basil (*Ocimum basilicum*) aqueous extract is mediated through inhibition of α -amylase activities: an *in vitro* study. *Toxicol. Ind. Health* 28: 42-50.
- Ellis, R. P., B. P. Foster, D. Robinson, L. L. Handley, D.C. Gordon, J. R. Russell, and W. Powell. 2000. Wild barley: a source of genes for crop improvement in the 21st century? *J. Exp. Bot.* 51: 9-17.
- Emmerich, W. E. and S. P. Hardegee. 1991. Seed germination in polyethylene glycol solution: Effects of filter paper exclusion and water vapor loss. *Crop Sci.* 31: 454-458.
- Fenech-Larios L., F. H. Ruiz-Espinoza, J. L. García-Hernández, B. Murillo-Amador, H. A. González-Ocampo, F. A. Beltrán-Morales, and H. Fraga-Palomino. 2008. Analysis of agronomic variables of *Ocimum basilicum* L. under alternative tillage systems and standard organic practices. *Trop. Subtrop. Agroecosyst.* 8: 157-163.
- Ferreira-Santos, R. y R. Carlesso. 1998. Déficit hídrico e os processos morfológico e fisiológico das plantas. *Rev. Brasileira Engen. Agríc. Amb.* 3: 287-294.
- Frahm, M. A., J. C. Rosas, N. Mayek, and E. López. 2004. Breeding beans for resistance to terminal drought in the lowland tropics. *Euphytica* 136: 223-232.
- Frensch, J. 1997. Primary responses of root and leaf elongation to water deficits in the atmosphere and soil solution. *J. Exp. Bot.* 48: 985-999.
- González-Núñez, L. M. 2002. Reflexiones sobre los mecanismos generales de adaptación de las plantas a la salinidad y a otros tipos de estrés. *Alimentaria* 339: 89-98.
- González-Núñez, L. M., L. Argente-Martínez, A. Estrada, N. Zaldívar-Suárez y R. Ramírez-Fernández. 2005. Evaluación de la tolerancia a la sequía en genotipos de trigo (*Triticum aestivum* L.) obtenidos en Cuba por inducción de mutaciones. *Cult. Trop.* 26: 65-69.
- Hamayun, M., S. Afzal Khan, Z. Khan Shinwari, A. Latif Khan, N. Ahmad, and In-Jung Lee. 2010. Effect of polyethylene glycol induced drought stress on physio-hormonal attributes of soybean. *Pakistan J. Bot.* 42: 977-986.
- Heidary, R. and M. Heidary. 2002. Evaluation of resistance for salinity, drought, cold and pH changes in four Iranian wheat cultivars. *J. Agric. Sci. Nat. Res.* 9: 32-38.
- Inostroza, L., A. del Pozo, I. Matus y P. Hayes. 2007. Tolerancia a sequía en líneas recombinantes con sustitución de cromosomas (RCLs) obtenidas de la cruce *Hordeum vulgare* subsp. *spontaneum* (CAESARFA 26-24) x *Hordeum vulgare* subsp. *vulgare* cv. Harrington. *Agric. Téc. (Chile)* 67: 253-261
- ISTA (International Seed Testing Association). 1999. International rules for seed testing. Zurich, Switzerland.
- Jerez-Mompies E. y L. Barroso-Frometa. 2002. Comportamiento de la albahaca blanca (*Ocimum basilicum* L) ante reducciones de las cantidades de agua aplicada por fases del desarrollo. *Cult. Trop.* 23: 39-46.
- Jones, H. G., M. Stoll, C. Santos, M. M. Chaves, and O. M. Grant. 2002. Use of infra-red thermography for monitoring stomatal closure in the field: application to grapevine. *J. Exp. Bot.* 53: 2249-2260.
- Kumar, A., D. P. Singh, and P. Singh. 1994. Influence of water stress on photosynthesis, transpiration, water use efficiency and yield of *Brassica juncea* L. *Field Crops Res.* 37: 95-101.
- Lovisollo, C. and A. Schubert. 1998. Effects of water stress on vessel size and xylem hydraulic conductivity in *Vitis vinifera* L. *J. Exp. Bot.* 49: 693-700.
- Lu, Z. y P. Neumann. 1998. Water – stressed maize, barley and rice seedlings show species diversity in mechanisms of leaf growth inhibition. *J. Exp. Bot.* 49: 1945-1952.
- Ludlow, M. M. and R. C. Muchow. 1990. A critical evaluation of traits for improving crop yield in water limited environments. *Adv. Agron.* 43: 107-153.
- Maguire, J. D. 1962. Speed of germination aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *Crop Sci.* 2: 176-177.
- Martin de Santa Olalla. M. F., P. L. Fuster y A. C. Belmonte. 2005. Agua y agronomía. Universidad de Castilla-La Mancha. Mundi Prensa. España.
- Méndez-Natera, J., F. Ybarra y J. Merazo-Pinto. 2010. Germinación y desarrollo de plántulas de tres híbridos de maíz bajo soluciones osmóticas. VI. Comparación entre cinco soluciones osmóticas. *Tecnológica ESPOL-RTE* 1: 55-60.
- Núñez-Barrios, A. 1991. La fisiología del frijol bajo condiciones de sequía. *Fitotec. Mex.* 14: 269-275.

- Parra-Quesada, R. A., J. L. Rodríguez-Ontiveros y V. A. González-Hernández. 1999. Transpiración, potencial hídrico y prolina en zarzamora bajo déficit hídrico. *Terra Latinoamericana* 17: 125-130.
- Quintero, F. J., M. Otha, H. Shi, J. K. Zhu, and J. M. Pardo. 2002. Reconstitution in yeast of the *Arabidopsis* SOS signaling pathway for Na⁺ homeostasis. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 99: 9061-9066.
- Samperio, R. G. 1997. Hidroponía básica. Diana. México, D. F.
- Sharp, R. E., W. Silk, and T. C. Hsiao. 1988. Growth of the maize primary root at low water potentials. *Plant Physiol.* 87: 50-57.
- SIAP (Servicio de Información Agropecuaria y Pesquera). 2011. Resumen Nacional de la Producción Agrícola y Resumen Nacional por cultivo. http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=350 en html. (Consulta: junio 10, 2013).
- Sokal, R. R. and F. J. Rohlf. 1998: *Biometry. The principles and practice of statistics in biological research.* W. H. Freeman and Co. New York, NY, USA.
- StatSoft Inc. 2011. *Statistica*, v. 10. System reference. StatSoft, Inc. Tulsa, OK, USA.
- Steudle, E. 2000. Water uptake by roots: effects of water deficit. *J. Exp. Bot.* 51: 1531-1542.
- Udovenko. 1976. Métodos de evaluación de la resistencia de plantas a los factores adversos del medio. Kolos. Leningrado, Unión Soviética.