

## Estrés hídrico en la germinación y crecimiento de plántulas de genotipos de albahaca *Ocimum basilicum* L.\*

### Water stress on germination and seedling growth of genotypes of sweet basil *Ocimum basilicum* L.

Carlos Michel Ojeda-Silvera<sup>1</sup>, Bernardo Murillo-Amador<sup>1</sup>, Inés María Reynaldo-Escobar<sup>2</sup>, Enrique Troyo-Diéquez<sup>1</sup>, F. Higinio Ruiz-Espinoza<sup>3</sup> y Alejandra Nieto-Garibay<sup>1§</sup>

<sup>1</sup>Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C, Instituto Politécnico Nacional 195, Col Playa Palo de Santa Rita, AP, 128, La Paz, Baja California Sur, México. (cojedas1979@gmail.com); (bmurillo04@cibnor.mx); (etroyo04@cibnor.mx). <sup>2</sup>Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, Mayabeque, Cuba. (ireynaldo@yahoo.com.ar). <sup>3</sup>Universidad Autónoma de Baja California Sur, México. (fruiuz@uabes). <sup>§</sup>Autor de correspondencia: anieto04@cibnor.mx.

#### Resumen

El estrés hídrico es considerado un estrés abiótico y es la condición más común y desfavorable para los cultivos, por tal motivo se estudió el efecto del estrés hídrico simulado con soluciones de PEG-8000 con potenciales hídricos de 0, -0.75 y -1.50 MPa. Se determinó el porcentaje de germinación (a los 9 días), altura de la plántula, largo de la raíz y acumulación de biomasa fresca y seca (a los 15 días) en plántulas de 20 genotipos de albahaca (*Ocimum basilicum* L.). Los resultados mostraron una respuesta diferencial significativa ante el estrés, en la medida que se incrementa la concentración de PEG-8000. La germinación, altura de la planta, longitud de la raíz, biomasa fresca de la parte aérea y biomasa fresca de raíz, fueron las variables de mayor diferenciación, destacándose el genotipo Dolly, Italian Large Leaf, Spacy Glove y Dark Opal con mayor tolerancia en la germinación y en el crecimiento de las plantas en condiciones de estrés (-1.50 MPa). Los genotipos de mayor producción de biomasa fresca de la parte aérea sin estrés hídrico fueron Sweet Dani, Lectuce Leaf y Napoletano, bajo condiciones de estrés moderado (-0.75 MPa) el genotipo Sweet Dani y el genotipo Dolly, en condiciones de estrés severo (-1.50 MPa) fueron de mayor producción de biomasa fresca de la parte aérea y raíz.

**Palabras clave:** sequía, tolerancia, PEG-8000.

#### Abstract

Water stress is considered an abiotic stress and is the most common condition and unfavorable for crops, for that reason we studied the effect of water stress simulated by PEG-8000 solutions with water potential of 0, -0.75 and -1.50 MPa. We determined the percentage of germination (after 9 days), seedling height, root length, fresh and dry biomass accumulation (at 15 days) in seedlings of 20 genotypes of basil (*Ocimum basilicum* L.). The results showed a significant differential response to stress, as it increases the concentration of PEG-8000. Germination, plant height, root length, fresh biomass of shoot and root fresh biomass, were the variables of greater differentiation, highlighting the genotype Dolly, Italian Large Leaf, Spacy Glove and Dark Opal, with higher tolerance during germination and growth of plants in stress conditions (-1.50 MPa). Genotypes with higher production of fresh biomass of shoots without water stress were Sweet Dani, Lectuce Leaf and Napoletano, under conditions of moderate stress (-0.75 MPa) the genotypes Sweet Dani and Dolly, in severe stress conditions (-1.50 MPa) were higher in fresh biomass production of shoot and root.

**Key words:** drought, tolerance, PEG-8000.

\* Recibido: mayo de 2012  
Aceptado: enero de 2013

## Introducción

Las regiones áridas y semi-áridas de México constituyen 60% del territorio nacional, el desarrollo de los cultivos se enfrenta a la sequía limitando su crecimiento (Feres y Soriano, 2007; Nieto-Garibay *et al.*, 2010). Desde las etapas tempranas las plantas cultivadas deben enfrentar condiciones de estrés abióticos como es el caso de la sequía, los procesos que se dan durante estas etapas, la germinación, emergencia y la plántula para su adaptación a condiciones ambientales y edáficas adversas, son la clave en su sobrevivencia en campo (Mokhberdorán *et al.*, 2009).

Existen diversos estudios acerca de la respuesta de plantas cultivadas bajo estrés hídrico en etapas tempranas con el fin de conocer los mecanismos de adaptación a esta condición de estrés. El uso de sustancias osmo-reguladoras como el polietileno glicol de pesos moleculares 6000 y 8000 (PEG-6000, PEG-8000) han resultado buenas herramientas para provocar condiciones de sequía durante la germinación de semillas (Mokhberdorán *et al.*, 2009; Nieto-Garibay *et al.*, 2010; Sayar *et al.*, 2010).

Los resultados de dichos estudios han permitido conocer que los bajos potenciales de agua causados por condiciones de estrés hídrico, retrasan la germinación, la emergencia y afectan a la plántula, en asociación con un establecimiento en campo más deficiente y una baja producción (Barroso y Jeréz, 2000; Wenrao *et al.*, 2011). A excepción de la salvia escasa atención ha recibido el estudio de la respuesta de especies aromáticas y su adaptación a un ambiente con bajos déficit hídrico.

Su uso medicinal así como en la alimentación, ha tenido gran relevancia en el mundo, principalmente por el contenido de aceites esenciales. Debido a esto, la mayor parte de los estudios relacionados con las especies aromáticas han abordado el tema de la caracterización, extracción y uso de los aceites esenciales que producen (El-Beshbishy; 2012; Yeşiloğlu y Şit, 2012). Sin embargo, poca atención se ha puesto en conocer la respuesta de estas especies y su adaptación a zonas áridas y semi-áridas en condiciones climáticas y edáficas adversas para su desarrollo.

Baja California Sur (BCS), México, se produce la mayor parte de albahaca orgánica en el mundo, con altos precios en el mercado comercializándose principalmente en fresco (SIAP-SAGARPA, 2009). La producción se reduce a unos cuantos genotipos, sin embargo, se cuenta con más de 24

## Introduction

The arid and semi-arid areas of Mexico constitute 60% of the country, the development of crop faces drought, limiting growth (Feres and Soriano, 2007; Nieto-Garibay *et al.*, 2010). From early stages the cultivated plants must face abiotic stress conditions such as drought, the processes that occur during these stages, germination, emergence and seedling, to adapt to adverse environmental conditions and soil, are the key for their field survival (Mokhberdorán *et al.*, 2009).

There are several studies on the response of plants grown under water stress in early stages, in order to understand the mechanisms of adaptation to this stress condition. The use of osmo-regulator substances as polyethylene glycol with molecular weights of 6 000 and 8 000 (PEG-6 000, PEG-8 000) have proven to be good tools to cause drought conditions during seed germination (Mokhberdorán *et al.*, 2009; Nieto-Garibay *et al.*, 2010; Sayar *et al.*, 2010).

The results of these studies have allowed us to know that low water potential caused by water stress conditions, delay germination, emergence and affect seedling, in association with a poor field establishment and low production (Barroso and sherry, 2000; Wenrao *et al.*, 2011). Except sage, has received scant attention the study of the response of aromatic species and their adaptation to an environment with low water deficit.

Its medicinal use as is in food has had great importance in the world, mainly for the content of essential oils. Because of this, most of the studies related to aromatic species have addressed the issue of the characterization, extraction and use of essential oils that produce (El-Beshbishy; 2012; Yeşiloğlu and Sit, 2012). However, scant attention has been given in to know the response of these species and their adaptation to arid and semi-arid in adverse climatic conditions and soil for its development.

Baja California Sur (BCS), Mexico, produces most of organic basil in the world, with high prices in the market marketed mainly in fresco (SIAP-SAGARPA, 2009). The production is reduced to a few genotypes, however, is has over 24 genotypes in the world of whom exists scarce information about their adaptation to adverse conditions during its development.

genotipos en el mundo de los cuales existe escasa información acerca de su adaptación a condiciones adversas durante su desarrollo.

Debido a lo anterior, el presente trabajo tuvo como objetivo, evaluar el efecto del estrés hídrico simulado en condiciones de laboratorio, sobre la germinación y el crecimiento de plántulas de 20 genotipos de albahaca, con el propósito de establecer posibles diferencias entre ellos que permitan considerarlos como criterio en la selección de genotipos tolerantes y sensibles al déficit hídrico. Con el conocimiento generado se busca aportar escenarios en donde se ofrezca al productor la diversificación del cultivo de esta especie con genotipos con mayores oportunidades de producción en estas zonas áridas y semi-áridas.

## Materiales y métodos

El experimento se realizó en el laboratorio de fisiotecnia vegetal del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, México. Se utilizaron genotipos de albahaca, 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. Previamente se realizó una prueba de germinación de la semilla de todos los genotipos, utilizando la metodología propuesta por ISTA (1999).

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. El experimento se inició al humedecer las semillas según el método de Michel y Kauffman (1973). Los tratamientos de sequía aplicados durante la investigación, se simularon con soluciones de polietilén glicol, Peso Molecular 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 PotentiaMeter 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 ( $25 \pm 1^\circ \text{C}$ ), humedad (80 %) y luz (12 h continuas) durante nueve días. La germinación se registró diariamente y el valor

Because of this, the present study aimed to evaluate the effect of water stress simulated in laboratory conditions, on the germination and growth of seedlings of 20 genotypes of basil, in order to establish possible differences between them that would allow considering them as selection criteria of genotypes tolerant and sensitive to water deficit. With the knowledge generated is looking to provide scenarios where the producer is offered the diversification of the crop for this specie with genotypes with higher opportunities of production of this specie with genotypes with higher production opportunities in these arid and semi-arid regions.

## Material and method

The experiment was conducted in the laboratory of Vegetal Physiology from the Biological Research Center of Northwestern Mexico. The genotypes used for the study were basil, 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 and Napoletano. Previously was made a germination test of all genotypes, using the methodology proposed by ISTA (1999).

The experiment was established in a completely randomized design with factorial arrangement considering genotypes as factor A and drought treatments as factor B, with four replications of 30 seeds each. The experiment began to moisten the seeds according to the method of Michel and Kauffman (1973). Drought treatments applied during the investigation, were simulated with polyethilén glycol solutions, molecular Weight 8 000 with water potential of -0.75 MPa (moderate stress) and -1.5 MPa (severe stress) calculated with the formula of Emmerich and Hardegree (1991) and corroborated with a potential meter (Dewpoint PotentiaMeter WP4-T model). As a control, distilled water was used with a negligible osmotic pressure (no stress). The dishes were incubated in a germination chamber (Lumistell, IES-OS model, series 1 408-88-01) under controlled conditions of temperature ( $25 \pm 1^\circ \text{C}$ ), humidity (80%) and light (12 h continuous) during nine days. Germination was recorded daily and the final value was determined at nine days. Germination rate was calculated using the equation of Maguire (1962):  $M = n_1/t_1 + n_2/t_2 + \dots + n_{30}/t_{30}$ , where  $n_1, n_2 \dots n_{30}$  are the number of sprouts at times  $t_1, t_2 \dots t_{30}$  (in days).

final se determinó a los nueve días. La tasa de germinación se calculó utilizando la ecuación de Maguire (1962):  $M = n1/t1 + n2/t2 + \dots + n30/t9$ ; 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 y de parte aérea, peso fresco y peso seco de radícula y de parte aérea. Se realizaron análisis de varianza y comparaciones múltiples de medias (Scheffe,  $p=0.05$ ). Los datos de porcentaje de germinación se transformaron mediante arcoseno (Little y Hills, 1989; Steel y Torrie, 1995). Todos los análisis se realizaron con el programa estadístico Statistica, v. 10.0 para Windows (StatSoft, Inc., 2011).

## Resultados y discusión

### Tasa y porcentaje de germinación

Se presentaron diferencias significativas entre genotipos para tasa de germinación ( $F_{19,180} = 199.8$ ;  $p=0.00000$ ) y la interacción genotipos\*niveles de potencial hídrico, para la tasa ( $F_{38,180} = 127.85$ ;  $p=0.00000$ ) y porcentaje de germinación ( $F_{38,180} = 16.60$ ;  $p=0.00000$ ). Los genotipos como Sweet Dani, Thai, Dark Opal, Spicy Glove y Dolly mantuvieron valores superiores al 85% que es el valor mínimo establecido para este cultivo bajo un potencial hídrico de -0.75 MPa (aunque más bajo que su grupo control). En esta condición alcanzaron los porcentajes de germinación más altos Italian Large Leaf, así como los genotipos Dark Opal, Spicy Glove y Dolly.

Las semillas tratadas con agua destilada (grupo control) no mostraron diferencias entre genotipos, mantuvieron porcentajes altos de germinación y conforme se incrementó la concentración de PEG-8000 con potencial hídrico de -0.75 MPa, se redujo el porcentaje de germinación. Se observaron diferencias significativas por el genotipo Sweet Genovese con el valor más bajo que unido a otros genotipos como Genovese, Genovese Italian, Dolce Vita y Napoletano lograron valores entre 40 y 65% de germinación. Lo anterior se demostró cuando el potencial hídrico fue de -1.50 MPa donde no lograron germinar (Cuadro 1). Si bien, no se presentaron diferencias estadísticamente significativas para el resto de los genotipos, se observa la tendencia a disminuir el porcentaje de germinación en relación a los

Water deficit treatments were maintained for 15 days when randomly selected 10 seedlings per treatment / replication, to which were measured radicle length and shoot, fresh and dry weight of radicle and shoot. Analysis of variance were performed and multiple comparisons of means (Scheffe,  $p=0.05$ ). The germination percentage data were transformed through arcsin (Little and Hills, 1989; Steel and Torrie, 1995). All analyzes were performed using the statistical software Statistica, v. 10.0 for Windows (StatSoft, Inc., 2011).

## Results and discussion

### Rate and percentage of germination

There were significant differences among genotypes for germination rate ( $F_{19,180} = 199.8$ ;  $p=0.00000$ ) and interaction genotype \* water potential levels, for the rate ( $F_{38,180} = 127.85$ ;  $p=0.00000$ ) and germination percentage ( $F_{38,180} = 16.60$ ;  $p=0.00000$ ). Genotypes like Sweet Dani, Thai, Dark Opal, Spicy Glove and Dolly kept values above 85% which is the minimum value established for this crop under a water potential of -0.75 MPa (although lower than their control group). In this condition the genotypes that reached higher germination percentage were Italian Large Leaf, Dark Opal, Spicy Glove and Dolly.

Seeds treated with distilled water (control group) did not differ between genotypes, maintained high germination rates and as the concentration of PEG-8000 increased with water potential of -0.75 MPa reducing the germination percentage. There were significant differences for the genotype Sweet Genovese with the lowest value that together to other genotypes as Genovese, Genovese Italian, Dolce Vita and Napoletano achieved germination values between 40 and 65%. The latter was demonstrated when the water potential was -1.50 MPa were germination was not achieved (Table 1). Although, there were no statistically significant differences for the other genotypes, there is a tendency to reduce the germination percentage in relation to the respective controls of each genotype as water potential decreases. This decrease was significant ( $F_{2,180} = 2485.5$ ;  $p=0.00000$ ) when the data was analyzed by treatment, observing higher decrease in germination percentage in the most negative treatment of water potential (Table 2).

controles respectivos de cada genotipo con forme disminuye el potencial hídrico. Esta disminución fue significativa ( $F_{2,180} = 2485.5$ ;  $p = 0.00000$ ) cuando se analizaron los datos por tratamientos observando la mayor disminución del porcentaje de germinación en el tratamiento más negativo de potencial hídrico (Cuadro 2).

The germination percentage was expressed as a highly dependent characteristic of water stress conditions, as it is evident that the availability of water is an essential condition to activate the metabolic processes that lead to the emergence of the radicle as start of the germination (Dubrencq *et al.*, 2000).

**Cuadro 1. Tasa y porcentaje de germinación de genotipos de albahaca en diferentes potenciales hídricos disminuidos con PEG-8000. Los resultados corresponden al promedio de la interacción entre la variable (Tasa y porcentaje de germinación) y los tratamientos de potencial hídrico.**

**Table 1. Rate and percentage of germination of basil genotypes in different water potentials decreased with PEG-8000. The results are the average of the interaction between the variable (rate and percentage of germination) and water potential treatments.**

Genotipos	Germinación (%)			Tasa de germinación		
	$\Psi_w$ (0 MPa)	$\Psi_w$ (-0.75MPa)	$\Psi_w$ (-1.50 MPa)	$\Psi_w$ (0 MPa)	$\Psi_w$ (-0.75MPa)	$\Psi_w$ (-1.50 MPa)
Lemon	100 <sup>a</sup>	72.50 <sup>abcde</sup> fg	43.33 <sup>ij</sup>	10.9 <sup>fg</sup> hi	4.3 <sup>ijklm</sup>	1.8 <sup>lmnño</sup>
Sweet Dani	100 <sup>a</sup>	92.50 <sup>abc</sup>	37.50 <sup>jk</sup>	11.3 <sup>ef</sup> ghi	5.2 <sup>j</sup>	1.8 <sup>lmnño</sup>
Sweet Genovese	96.66 <sup>ab</sup>	40.00 <sup>ijk</sup>	0.0 <sup>l</sup>	8.7 <sup>i</sup>	1.7 <sup>m</sup> nño	0.0 <sup>o</sup>
Siam Queen.	100 <sup>a</sup>	56.66 <sup>def</sup> ghi	5.83 <sup>kl</sup>	8.4 <sup>i</sup>	3.1 <sup>ijklm</sup> nño	0.2 <sup>nño</sup>
Red Rubin	100 <sup>a</sup>	72.50 <sup>abcde</sup> fg	43.33 <sup>ij</sup>	9.7 <sup>gh</sup> i	3.3 <sup>ijklm</sup> n	1.8 <sup>klm</sup> nño
Thai	100 <sup>a</sup>	89.16 <sup>abcde</sup>	41.66 <sup>ij</sup>	10.0 <sup>fg</sup> hi	5.0 <sup>ijkl</sup>	2.1 <sup>ijklm</sup> nño
Dark Opal	97.5 <sup>ab</sup>	90.83 <sup>abcd</sup>	60.83 <sup>cde</sup> fg	8.8 <sup>i</sup>	4.1 <sup>ijklm</sup>	2.4 <sup>ijklm</sup> nño
Spicy Glove	100 <sup>a</sup>	88.33 <sup>abcde</sup>	60.00 <sup>cde</sup> fg	8.9 <sup>i</sup>	4.8 <sup>ijklm</sup>	2.7 <sup>ijklm</sup> nño
Mrs Burns	100 <sup>a</sup>	84.16 <sup>abcde</sup> f	47.50 <sup>hij</sup>	19.2 <sup>c</sup>	5.1 <sup>j</sup>	1.8 <sup>klm</sup> nño
Cinnamon	100 <sup>a</sup>	70.83 <sup>abcde</sup> fg	41.66 <sup>ij</sup>	24.4 <sup>ab</sup>	3.0 <sup>ijklm</sup> nño	1.7 <sup>m</sup> nñ
Licorice	95.83 <sup>ab</sup>	74.16 <sup>abcde</sup> fg	40.83 <sup>ij</sup>	14.8 <sup>d</sup>	5.0 <sup>ijk</sup>	1.8 <sup>klm</sup> nño
Purple Ruffles	100 <sup>a</sup>	84.16 <sup>abcde</sup> f	41.66 <sup>ij</sup>	14.1 <sup>de</sup>	4.0 <sup>ijklm</sup>	1.8 <sup>klm</sup> nño
Italian Large Leaf	100 <sup>a</sup>	72.50 <sup>abcde</sup> fg	64.16 <sup>cde</sup> fg	25.4 <sup>a</sup>	4.6 <sup>ijklm</sup>	3.3 <sup>ijklm</sup> nñ
Lecture Leaf	100 <sup>a</sup>	80.00 <sup>abcde</sup> fg	49.16 <sup>ghij</sup>	21.3 <sup>bc</sup>	4.7 <sup>ijklm</sup>	2.7 <sup>ijklm</sup> nño
Emily	100 <sup>a</sup>	80.00 <sup>abcde</sup> fg	45.83 <sup>hij</sup>	12.9 <sup>def</sup> gh	4.5 <sup>ijklm</sup>	2.2 <sup>ijklm</sup> nño
Dolly	100 <sup>a</sup>	85.50 <sup>abcde</sup> f	65.83 <sup>cde</sup> fg	12.8 <sup>def</sup> gh	4.7 <sup>ijklm</sup>	3.0 <sup>ijklm</sup> nño
Genovese	100 <sup>a</sup>	52.50 <sup>fg</sup> hij	1.66 <sup>l</sup>	12.4 <sup>def</sup> gh	3.0 <sup>ijklm</sup> nño	0.1 <sup>ño</sup>
Genovese Italian	100 <sup>a</sup>	55.00 <sup>ef</sup> ghi	0.0 <sup>l</sup>	13.0 <sup>def</sup>	3.3 <sup>ijklm</sup> n	0.0 <sup>o</sup>
Dolce Vita	100 <sup>a</sup>	49.16 <sup>ghij</sup>	0.0 <sup>l</sup>	11.0 <sup>ef</sup> ghi	2.5 <sup>ijklm</sup> nño	0.0 <sup>o</sup>
Napolitano	100 <sup>a</sup>	65.83 <sup>abcde</sup> fg	0.0 <sup>l</sup>	9.3 <sup>hi</sup>	3.1 <sup>ijklm</sup> nño	0.0 <sup>o</sup>

Medias con letras distintas por columnas difieren estadísticamente (Scheffe;  $p = 0.05$ ).

El porcentaje de germinación se manifestó como una característica altamente dependiente de las condiciones del estrés hídrico, ya que resulta evidente que la disponibilidad de agua es una condición esencial para la activación de los procesos metabólicos que dan lugar a la aparición de la radícula como inicio de la germinación (Dubrencq *et al.*, 2000).

Resultados análogos reportaron Mohammadkhani y Heidari (2008) al estudiar la respuesta de la germinación al estrés inducido por PEG-6000 (-0.15; -0.49; -1.3 y -1.76 MPa) en dos cultivares de maíz, encontrando que la germinación fue inversamente proporcional a las concentraciones de PEG.

**Cuadro 2. Germinación y tasa de germinación bajo tratamientos de potencial hídrico. Medias con letras distintas difieren estadísticamente (Scheffe,  $p = 0.05$ ).**

**Table 2. Germination and germination rate under water potential treatments. Means with different letters differ statistically (Scheffe,  $p = 0.05$ ).**

Tratamiento (MPa)	Tasa de germinación	Germinación (%)
0	13 <sup>a</sup>	99 <sup>a</sup>
-0.75	4 <sup>b</sup>	73 <sup>b</sup>
-1.5	1 <sup>c</sup>	34 <sup>c</sup>

Por su parte, Gholami *et al.* (2010) encontraron respuestas similares al evaluar el efecto del estrés inducido por diferentes concentraciones de PEG (0.0; -0.05; -0.1 y -0.5 MPa) sobre la germinación de cuatro especies de *Prunus*.

La tasa de germinación (Cuadro 2) mostró diferencias significativas entre los diferentes potenciales hídricos ( $F_{2,180} = 2485.5$ ,  $p = 0.00000$ ) misma que se redujo un 65% en -0.75 MPa y 85% en -1.5 MPa. Esto se explica por la insuficiencia hídrica simulada por el PEG-8000, que le impide a las semillas una mayor eficiencia en los eventos involucrados en el proceso de germinación. El PEG no sólo retrasa la germinación, sino también afecta los porcentajes de germinación final, porque es una sustancia osmótica no penetrante que previene la absorción de agua por las células vegetales y alarga la duración de la fase de latencia entre la imbibición y el crecimiento radicular, puesto que la absorción del agua por la semilla procede lentamente en este periodo (Aparecida y Zambillo, 2003).

### Variables morfométricas

En la longitud de la radícula se encontraron diferencias significativas entre los genotipos ( $F_{19,2340} = 637$ ;  $p = 0.00000$ ), entre los diferentes potenciales hídricos ( $F_{2,2340} = 7679$ ;  $p = 0.00000$ ) y entre la interacción de genotipos\*niveles de potencial hídrico ( $F_{38,2340} = 466.2$ ;  $p = 0.00000$ ). Los genotipos Lemon y Sweet Dani mostraron una respuesta estadísticamente significativa frente a la condición de -0.75MPa (Cuadro 3), cuyo crecimiento es la respuesta biológica que induce el estrés moderado de esa condición, coincidiendo con los resultados reportados por Sharp *et al.* (1988) y Blum (2005), ellos encontraron que la longitud de la raíz principal se incrementa en condiciones de estrés hídrico, debido a que la planta necesita una zona de exploración mayor para buscar agua y desarrollar sus procesos fisiológicos.

Resultados similares se encontraron en estos trabajo para los genotipos Emily y Dolly que mostraron una tendencia al crecimiento de la radícula en niveles de sequía severo (-1.50 MPa) como respuesta adaptativa, superando los valores del grupo control (0MPa). El resto de los genotipos disminuyeron la longitud de su raíz ante los tratamientos de potencial hídrico (Cuadro 3). La altura de plántula mostró diferencias significativas entre genotipos ( $F_{19,2339} = 350.8$ ;  $p = 0.00000$ ), entre los diferentes potenciales hídricos ( $F_{2,2339} = 12114$ ,  $p = 0.00000$ ) y entre la interacción de genotipos\*potenciales hídricos ( $F_{38,2339} = 163.52$ ,  $p = 0.00000$ ).

Similar results reported Mohammadkhani and Heidari (2008) to study the germination response to stress induced by PEG-6 000 (-0.15; -0.49; -1.3 and -1.76 MPa) in two maize cultivars, finding that germination was inversely proportional to concentrations of PEG. Meanwhile, Gholami *et al.* (2010) found similar responses to evaluate the effect of stress induced by different concentrations of PEG (0.0; -0.05; -0.1 and -0.5 MPa) on the germination of four species of *Prunus*.

The germination rate (Table 2) showed significant differences between the different water potentials ( $F_{2,180} = 2485.5$ ,  $p = 0.00000$ ) same that was reduced by 65% at -0.75 MPa and 85% at -1.5 MPa. This is explained by the water deficit simulated by PEG-8000, which prevents the seeds for greater efficiency in the events involved in the germination process. The PEG not only delays germination, but also affects the final germination percentage, because it is a non-penetrating osmotic substance that prevents water absorption by the plant cells and prolongs the duration of the lag phase between the imbibition and root growth, since the absorption of water by the seed comes slowly in this period (Aparecida and Zambillo, 2003).

### Morphometric variables

In radicle length were found significant differences between genotypes ( $F_{19,2340} = 637$ ,  $p = 0.00000$ ), between the different water potentials ( $F_{2,2340} = 7679$ ;  $p = 0.00000$ ) and between the interaction genotypes \* water potential levels ( $F_{38,2340} = 466.2$ ;  $p = 0.00000$ ). Lemon and Sweet Dani genotypes showed a statistically significant response under the -0.75MPa condition (Table 3), whose growth is the biological response that induces moderate stress of this condition, coinciding with the results reported by Sharp *et al.* (1988) and Blum (2005), they found that the main root length increases under water stress conditions, because the plant needs a larger exploration area for water and develop their physiological processes.

Similar results were found in this work for Emily and Dolly genotypes that showed a tendency to radicle growth in severe drought levels (-1.50 MPa) as an adaptive response, exceeding the values of the control group (0 MPa). The remaining genotypes decreased the length of its root before the water potential treatments (Table 3). The seedling height showed significant differences between genotypes

**Cuadro 3. Efecto de los diferentes niveles de potencial hídrico en la longitud de radícula y altura de plántula. Los resultados corresponden al promedio de las interacciones entre la variable y los genotipos.**

**Table 3. Effect of different levels of water potential in radicle length and seedling height. The results are the average of the interactions between the variable and the genotypes.**

Genotipos	Longitud de radícula (cm)			Altura de plántula (cm)		
	$\Psi_w$ (0 MPa)	$\Psi_w$ (-0.75MPa)	$\Psi_w$ (-1.50 MPa)	$\Psi_w$ (0 MPa)	$\Psi_w$ (-0.75MPa)	$\Psi_w$ (-1.50 MPa)
Lemon	4.15 <sup>c</sup>	6.53 <sup>a</sup>	0.00 <sup>s</sup>	3.14 <sup>cd</sup>	3.14 <sup>cd</sup>	0.00 <sup>v</sup>
Sweet Dani	3.57 <sup>cdefgh</sup>	6.79 <sup>a</sup>	0.00 <sup>s</sup>	4.28 <sup>a</sup>	4.28 <sup>a</sup>	0.00 <sup>v</sup>
Sweet Genovese	2.19 <sup>mnñ</sup>	1.76 <sup>ñopq</sup>	0.00 <sup>s</sup>	3.06 <sup>cd</sup>	3.06 <sup>cd</sup>	0.00 <sup>v</sup>
Siam Queen	2.58 <sup>klmn</sup>	2.28 <sup>klmnñ</sup>	1.37 <sup>opqr</sup>	3.53 <sup>bc</sup>	3.53 <sup>bc</sup>	0.80 <sup>qrstu</sup>
Red Rubin	2.13 <sup>nñ</sup>	2.00 <sup>nñop</sup>	1.21 <sup>qr</sup>	3.05 <sup>cd</sup>	3.05 <sup>cd</sup>	0.79 <sup>qrstu</sup>
Thai	2.95 <sup>hijk</sup>	2.12 <sup>nñ</sup>	0.94 <sup>r</sup>	3.71 <sup>b</sup>	3.71 <sup>b</sup>	0.69 <sup>rstu</sup>
Dark Opal	2.06 <sup>nño</sup>	1.83 <sup>ñopq</sup>	0.91 <sup>r</sup>	2.98 <sup>de</sup>	2.98 <sup>de</sup>	0.57 <sup>tu</sup>
Spicy Glove	2.04 <sup>nñop</sup>	1.02 <sup>r</sup>	0.90 <sup>r</sup>	2.49 <sup>efg</sup>	2.49 <sup>efg</sup>	0.48 <sup>uv</sup>
Mrs Burns	5.20 <sup>b</sup>	5.79 <sup>b</sup>	2.06 <sup>nño</sup>	2.68 <sup>def</sup>	2.68 <sup>def</sup>	0.83 <sup>qrstu</sup>
Cinnamon	3.58 <sup>cdefgh</sup>	2.11 <sup>nñ</sup>	0.00 <sup>s</sup>	2.03 <sup>ghij</sup>	2.03 <sup>ghij</sup>	0.00 <sup>v</sup>
Licorice	3.87 <sup>cde</sup>	2.28 <sup>klmnñ</sup>	2.27 <sup>klmnñ</sup>	2.30 <sup>fgh</sup>	2.30 <sup>fgh</sup>	0.80 <sup>qrstu</sup>
Purple Ruffles	2.24 <sup>lmnñ</sup>	3.08 <sup>ghij</sup>	2.06 <sup>nño</sup>	1.51 <sup>klmn</sup>	1.51 <sup>klmn</sup>	0.81 <sup>qrstu</sup>
Italian Large Leaf	3.78 <sup>cdefg</sup>	2.59 <sup>ijklmn</sup>	2.00 <sup>nñop</sup>	2.21 <sup>fghi</sup>	2.21 <sup>fghi</sup>	0.79 <sup>qrstu</sup>
Lectuce Leaf	4.06 <sup>cd</sup>	2.29 <sup>klmnñ</sup>	2.87 <sup>ijklm</sup>	2.11 <sup>ghi</sup>	2.11 <sup>ghi</sup>	0.84 <sup>qrstu</sup>
Emily	3.00 <sup>hij</sup>	2.06 <sup>nño</sup>	3.50 <sup>cdefghi</sup>	1.73 <sup>ijkl</sup>	1.73 <sup>ijkl</sup>	0.77 <sup>qrstu</sup>
Dolly	3.21 <sup>efghij</sup>	2.92 <sup>hijkl</sup>	3.71 <sup>cdefghi</sup>	1.46 <sup>klmnñ</sup>	1.46 <sup>klmnñ</sup>	0.84 <sup>qrstu</sup>
Genovese	3.39 <sup>defghi</sup>	1.34 <sup>pqr</sup>	0.00 <sup>s</sup>	1.35 <sup>lmnñop</sup>	1.35 <sup>lmnñop</sup>	0.00 <sup>v</sup>
Genovese Italian	3.15 <sup>fghij</sup>	3.57 <sup>cdefgh</sup>	0.00 <sup>s</sup>	1.43 <sup>klmnño</sup>	1.43 <sup>klmnño</sup>	0.00 <sup>v</sup>
Dolce Vita	3.44 <sup>defghi</sup>	3.84 <sup>cdef</sup>	0.00 <sup>s</sup>	1.37 <sup>lmnño</sup>	1.37 <sup>lmnño</sup>	0.00 <sup>v</sup>
Napoletano	2.90 <sup>hijkl</sup>	3.52 <sup>cdefghi</sup>	0.00 <sup>s</sup>	1.41 <sup>klmnño</sup>	1.41 <sup>klmnño</sup>	0.00 <sup>v</sup>

Medias con letras distintas por columnas difieren estadísticamente ( $p=0.05$ ) de acuerdo con Scheffe.

El genotipo Sweet Dani mostró una respuesta significativamente diferente a esta variable en el control y en -0.75 MPa (Cuadro 3), su crecimiento fue nulo con un potencial hídrico de -1.50 MPa, demostrando incapacidad de desarrollarse en estas condiciones. Otro grupo de genotipos disminuyeron la altura y toleraron un estrés de -1.5 MPa (Sweet Queen, Red Rubin, Thai, Dark Opal, Spicy Glove, Mrs Burns, Licorice, Purples Ruffles, Italian Large Leaf, Lectuce Leaf, Emily y Dolly). Resultados similares fueron encontrados por Nagafabadi *et al.* (2003) y (González *et al.* 2005) donde el efecto detrimental del PEG puede explicarse por el déficit hídrico que produce en los tejidos en crecimiento, al disminuir la turgencia de las células y por cambios en la permeabilidad de las membranas.

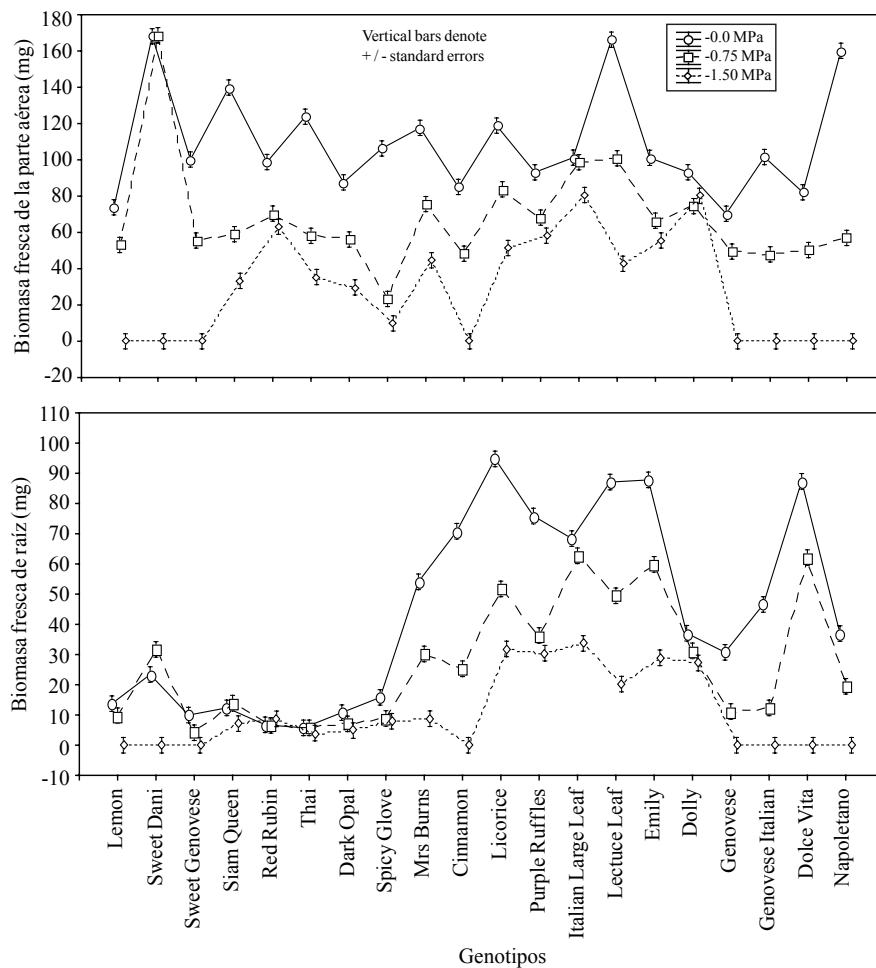
( $F_{19, 2339} = 350.8$ ;  $p = 0.00000$ ), between different water potentials ( $F_{2, 2339} = 12114$ ;  $p = 0.00000$ ) and between the interaction of genotypes \* water potentials ( $F_{38, 2339} = 163.52$ ;  $p = 0.00000$ ).

The Sweet Dani genotype showed a significantly different response to this variable in the control and in -0.75 MPa (Table 3), their growth was zero with a water potential of -1.50 MPa, proving failure to develop in these conditions. Another group of genotypes decreased height and tolerated a stress of -1.5 MPa (Sweet Queen, Red Rubin, Thai, Dark Opal, Spicy Glove, Mrs Burns, Licorice, Purples Ruffles, Italian Large Leaf, Lectuce Leaf, Emily and Dolly). Similar results were found by Nagafabadi *et al.* (2003) and

También Méndez *et al.* (2010) demostró que el proceso de elongación y de síntesis de la pared celular son altamente sensibles a la deficiencia de agua disminuyendo la turgencia de las células y el crecimiento. Otra hipótesis plausible puede ser la de Hamayun *et al.* (2010) quienes analizaron el crecimiento de variedades de soya y señalan que los efectos por el PEG conducen a la disminución significativa del crecimiento debido a una disminución de la actividad enzimática (enzimas hidrolíticas), tales como la  $\alpha$ -amilasa, proteasas y lipasas responsables de hidrolizar las reservas de los cotiledones requeridas para proveer energía en las primeras etapas del crecimiento (Figura 1A y B).

González *et al.* (2005) where the detrimental effect of the PEG can be explained by the water deficit that occurs in growing tissues, by decreasing the turgidity of cells and changes in the permeability of membranes.

Also Mendez *et al.* (2010) demonstrated that the process of elongation and cell wall synthesis are highly sensitive to water deficit, decreasing cell turgor and growth. Another plausible hypothesis may be that of Hamayun *et al.* (2010) who analyzed the growth of soybean varieties and indicate that the PEG effects lead to significant decrease in growth due to the decrease of enzymatic activity (hydrolytic enzymes), such as  $\alpha$ -amylase, proteases and



**Figura 1. Respuesta de genotipos de albahaca a los diferentes niveles de potencial hídrico en la biomasa fresca de la parte aérea (A) y de raíz (B).**

**Figure 1. Basil genotypes response, to different levels of water potential in fresh biomass of shoot (A) and root (B).**

Los resultados mostraron diferencias significativas entre genotipos para biomasa fresca de parte aérea ( $F_{19,180}=75.7$ ,  $p=0.00000$ ), raíz ( $F_{19,180}=178.4$ ,  $p=0.00000$ ), así como

lipasas responsable of hydrolyzing the cotyledon reserves, required to provide energy in the early stages of growth (Figure 1A and B).



para la interacción genotipos\*potenciales hídricos para las variables biomasa fresca de parte aérea ( $F_{38,180}=35.13, p=0.00000$ ) y raíz ( $F_{38,180}=31.0, p=0.00000$ ). El genotipo Sweet Dani en -0.75 MPa y el genotipo Dolly en -1.5 MPa los de mayor biomasa fresca de parte aérea (Figura 1A), mostrando tolerancia en ambos. Los genotipos que mostraron una mayor biomasa fresca de raíz con el tratamiento de -0.75 MPa fueron Italian large leaf, Emily y Dolce Vita; para el tratamiento de -1.50 MPa los genotipos con mayores valores fueron, Licorice, Purple Ruffles, Italian Large Leaf (Figura 1B).

Los genotipos Sweet Dani en -0.75 MPa y Red Rubin en -1.50 MPa mostraron mayor producción de biomasa fresca de raíz a 0 MPa (Figura 1B) disminuyendo conforme los potenciales hídricos fueron más negativos. Se observaron diferencias significativas entre los diferentes niveles de potencial hídrico al analizar la biomasa fresca de parte aérea ( $F_{2,180}=1824.3, p=0.00000$ ) y biomasa fresca de raíz ( $F_{2,180}=828.9, p=0.00000$ ) independientemente de los genotipos (Cuadro 4). Por lo anterior, se infiere que el aumento de la biomasa es inversamente proporcional a las concentraciones de PEG, ya que la biomasa fresca disminuyó 35% en -0.75 MPa y 70% en -1.5 MPa, probablemente por la afectación de la turgencia y elongación celular (Martín de Santa Olalla *et al.*, 2005).

Se presentaron diferencias significativas entre genotipos para biomasa seca de parte aérea ( $F_{19,180}=1.9, p=0.01353$ ) y su interacción con los genotipos ( $F_{38,180}=2.7, p=0.00000$ ), donde los genotipos Sweet Genovese y Spicy Glove mostraron los valores máximos para el tratamiento de -0.75 MPa (Figura 2A). En el tratamiento de -1.5 MPa los genotipos Slam Queen, Red Rubin, Thai y Dark Opal presentaron los valores más altos (Figura 2A). Diferencias estadísticas se presentaron entre genotipos y tratamientos ( $F_{38,180}=12.27, p=0.00000$ ) y su interacción ( $F_{19,180}=81.9, p=0.00000$ ).

Esta respuesta parece obedecer más al tratamiento con potencial hídrico de -1.5 MPa ya que la respuesta de la mayor parte de los genotipos bajo potencial hídrico de -0.75 MPa tiende a ser similar al del grupo control correspondiente a cada genotipo (Figura 2B). A excepción de los genotipos Sweet Dani, Dark Opal y Spicy Glove parecieron no verse afectados por los tratamientos de déficit hídrico en cuanto a la producción de biomasa seca de raíz, aunque fue baja comparada a los genotipos Lectuce leaf y Dolly, tanto bajo el tratamiento de -0.75 MPa, como del grupo control (Figura 2B).

The results showed significant differences among genotypes for shoot biomass ( $F_{19,180}=75.7; p=0.00000$ ), root ( $F_{19,180}=178.4; p=0.00000$ ), and for the interaction of genotype \* water potentials for shoot biomass variables ( $F_{38,180}=35.1; p=0.00000$ ) and root ( $F_{38,180}=31.0, p=0.00000$ ). Dani Sweet genotype in -0.75 MPa and the Dolly genotype in -1.5 MPa are the higher shoot biomass (Figure 1A), showing tolerance in both. The genotypes that showed a higher root biomass with the treating of -0.75 MPa were Italian large leaf, Emily and Dolce Vita; for the treatment of -1.50 MPa the genotypes with higher values were, Licorice, Purple Ruffles, Italian Large Leaf (Figure 1B).

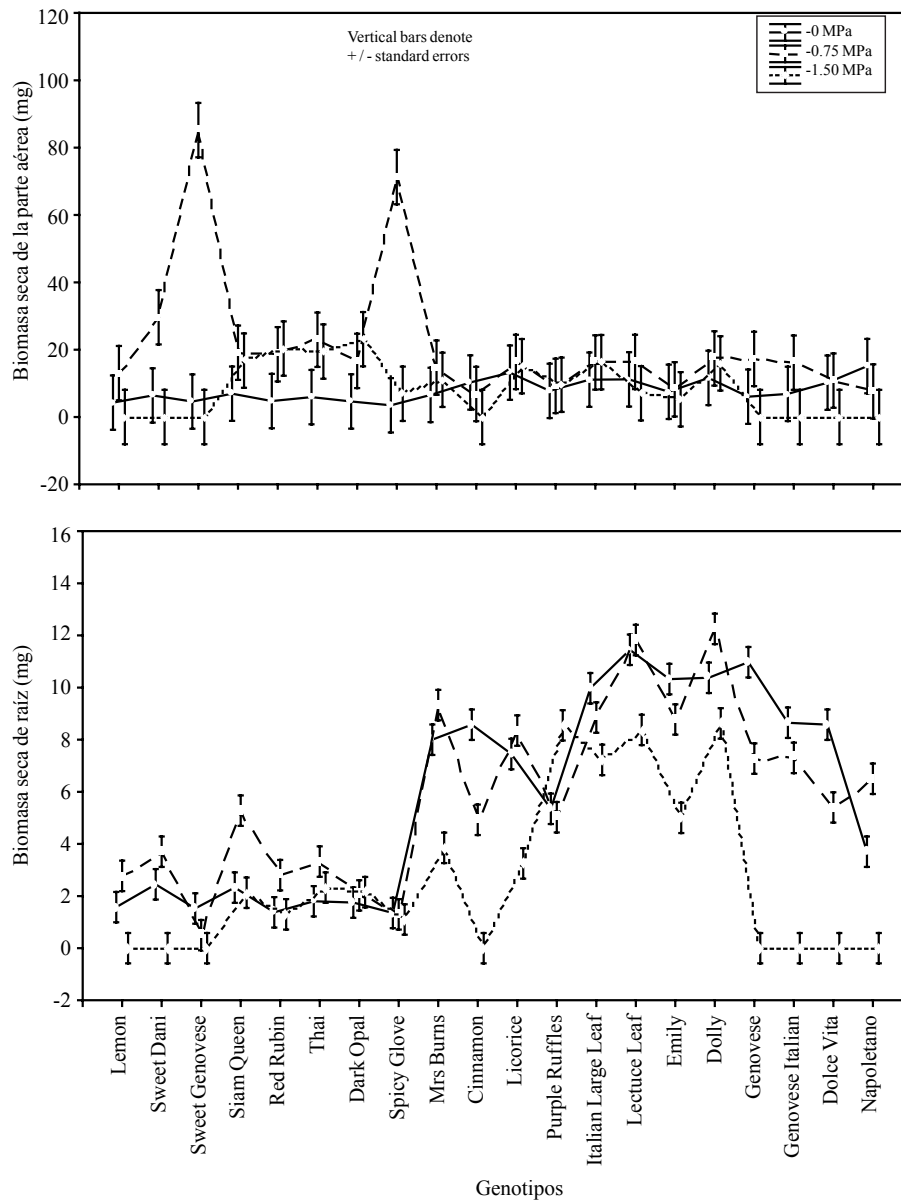
Genotypes Sweet Dani in -0.75 MPa and Red Rubin in -1.50 MPa showed increased production of fresh root biomass at 0 MPa (Figure 1B) decreasing as water potentials were more negative. Significant differences were observed between the different levels of water potential by analyzing fresh shoot biomass ( $F_{2,180}=1824.3; p=0.00000$ ) and fresh root biomass ( $F_{2,180}=828.9; p=0.00000$ ) regardless of the genotypes (Table 4). Therefore, it is inferred that the increased biomass is inversely proportional to the concentrations of PEG, as fresh biomass decreased 35% in -0.75 MPa and 70% in -1.5 MPa, probably affected by turgidity and cell elongation (Martín de Santa Olalla *et al.*, 2005).

**Cuadro 4. Producción de biomasa fresca de la parte aérea y raíz bajo tratamientos de potencial hídrico. Medias con letras distintas difieren estadísticamente (Scheffe,  $p=0.05$ ).**

**Table 4. Production of fresh biomass of shoot and root under water potential treatments. Means with different letters differ statistically (Scheffe,  $p=0.05$ ).**

Tratamiento (MPa)	Biomasa fresca aérea (mg)	Biomasa fresca raíz (mg)
0	109 <sup>a</sup>	44 <sup>a</sup>
-0.75	68 <sup>b</sup>	27 <sup>b</sup>
-1.5	29 <sup>c</sup>	11 <sup>c</sup>

There were significant differences among genotypes for dry shoot biomass ( $F_{19,180}=1.9; p=0.01353$ ) and its interaction with genotype ( $F_{38,180}=2.7; p=0.00000$ ), where the Genovese, Sweet and Spicy Glove genotypes showed maximum values for the treatment of -0.75 MPa (Figure 2A). In the treatment of -1.5 MPa the genotypes Slam Queen, Red Rubin, Thai and Dark Opal showed the highest values (Figure 2A). Statistical differences were observed between genotypes and treatments ( $F_{38,180}=12.27; p=0.00000$ ) and their interaction ( $F_{19,180}=81.9; p=0.00000$ ).



**Figura 2. Respuesta de los genotipos de albahaca a los diferentes niveles de potencial hídrico en la biomasa seca de la parte aérea (A) y raíz (B).**

**Figure 2. Response of basil genotypes to different levels of water potential in dry biomass of shoot (A) and root (B).**

Dolly presentó también una mayor valor de producción de biomasa seca de raíz bajo el tratamiento más severo de potencial hídrico (-1.5MPa) comparado con el resto de los genotipos. La biomasa seca de parte aérea mostró diferencias significativas entre los diferentes potenciales hídricos ( $F_{2, 180}=18.8$ ,  $p= 0.00000$ ) con valores mayores en -0.75 MPa (Cuadro 5). Observando los resultados del Cuadro 4 (producción de biomasa fresca) el grupo control parece tener un mayor contenido de agua, ya que la disminución de biomasa al ser sometidos al secado se pierde hasta 93% (Cuadro 4 y 5).

This response appears to be due more to the treatment with water potential of -1.5 MPa and that the response of most genotypes under water potential of -0.75 MPa tends to be similar to the control group for each genotype (Figure 2B). Except for genotypes Sweet Dani, Dark opal and Spicy Glove appeared not to be affected by the water deficit treatments in terms of dry biomass production of root, but was low compared to the Lectuce leaf and Dolly genotypes, under both treatment of -0.75 MPa, and the control group (Figure 2B).

En el caso de los tratamientos de -0.75 MPa la disminución fue 70% (Cuadro 4 y 5) y para -1.5 MPa una disminución del 67%. La mayor producción de biomasa seca correspondió al tratamiento de -0.75 MPa. La variable biomasa seca de raíz mostró diferencias significativas entre potenciales hídricos ( $F_{2, 180} = 198.17, p = 0.00000$ ); observándose igualdad estadística de esta variable entre los tratamientos de 0 y -0.75 MPa (Cuadro 5). Pudiéndose deber al crecimiento de las raíces en condiciones de estrés como respuesta de la planta para explorar un área mayor en busca de agua como lo han encontrado diversos autores (Jerez *et al.*, 2004; Nieto-Garibay *et al.*, 2010).

Lo anterior puede ser explicado por un mayor tejido lignificado guardando más agua, sin expresarse como biomasa fresca. De acuerdo a los Cuadros 4 y 5, la disminución de la biomasa fresca a seca de plantas del grupo control fue de 86% y para el tratamiento de -0.75 MPa fue 78%; es decir, 10% de menos pérdida de agua que el grupo control.

En el tratamiento de -1.5 MPa, esta variable disminuyó más el crecimiento de la raíz limitando una posible respuesta adaptativa. De forma general la respuesta diferencial observada entre genotipos en las diferentes condiciones de estrés en la etapa de germinación y el crecimiento de las plántulas, indican la utilidad Potencial que pueden tener estos en la selección de genotipos tolerantes o susceptibles al estrés hídrico.

## Conclusiones

Uno de los aspectos más importantes en los aspectos aplicados de estos resultados, es la aportación para mejorar la producción de este tipo de cultivos, en este sentido, en el presente trabajo se observó que bajo condiciones óptimas de humedad (0 MPa), los genotipos de mayor producción de biomasa fresca de la parte aérea fueron Sweet Dani, Lectuce Leaf y Napoletano. Sin embargo, en condiciones de estrés moderado (-0.75 MPa) el genotipo Sweet Dani y el genotipo Dolly, en condiciones de estrés severo (-1.50 MPa) fueron de mayor producción de biomasa fresca de la parte aérea y raíz. Lo cual permite pensar en la selección de genotipos como el Sweet Dani que con estrés o con un moderado estrés se obtendrían buenos resultados de producción de biomasa y Dolly cuando se trate de un mayor estrés hídrico. Las variables de crecimiento y

Dolly also showed a higher value for dry biomass production of root under the most severe treatment of water potential (-1.5 MPa) compared to the other genotypes. The shoot dry biomass showed significant differences between the different water potentials ( $F_{2, 180} = 18.8, p = 0.00000$ ) with higher values in -0.75 MPa (Table 5). Looking at the results in Table 4 (fresh biomass production) the control appears to have a higher water content, since the decrease of biomass when subjected to drying is lost up to 93% (Table 4 and 5).

**Cuadro 5. Producción de biomasa seca de la parte aérea y raíz bajo tratamientos de potencial hídrico. Medias con letras distintas difieren estadísticamente (Scheffe,  $p = 0.05$ ).**

**Table 5. Production of dry biomass of shoots and roots under water potential treatments. Means with different letters differ statistically (Scheffe,  $p = 0.05$ ).**

Tratamiento (MPa)	Biomasa fresca aérea (mg)	Biomasa fresca raíz (mg)
0	8 <sup>b</sup>	6 <sup>a</sup>
-0.75	22 <sup>a</sup>	6 <sup>a</sup>
-1.5	8 <sup>b</sup>	3 <sup>b</sup>

In the case of the treatments of -0.75 MPa the decrease was 70% (Table 4 and 5) and for -1.5 MPa a decrease of 67%. The higher production of dry biomass corresponded to the -0.75 MPa treatment. The variable dry biomass of root showed significant differences between water potentials ( $F_{2, 180} = 198.17; p = 0.00000$ ); observing statistical similarity of this variable between treatments of 0 and -0.75 MPa (Table 5). This could be due to root growth under stress conditions as response of the plant to explore a larger area in search of water as several authors have found (Jerez *et al.*, 2004; Nieto-Garibay *et al.*, 2010).

This can be explained by higher lignified tissue saving more water, without expressing as fresh biomass. According to Tables 4 and 5, the decrease of the fresh to dry biomass of plant from the control group was 86% and for the treatment of -0.75 MPa was 78%, ie 10% less water loss than control group.

In the treatment of -1.5 MPa, this variable decreased more root growth limiting a possible adaptive response. Generally the differential response observed between genotypes in different stress conditions in the stage of germination and seedling growth, indicate the potential utility that may have this in selecting genotypes tolerant or susceptible to water stress.

germinación representan indicadores complementarios para la evaluación de la tolerancia y susceptibilidad de los diferentes genotipos de albahaca estudiados.

## Agradecimientos

Al Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR), y al Programa de Agricultura en Zonas Áridas (PAZA), al proyecto SAGARPA-CONACYT: Innovación tecnológica de sistemas de producción y comercialización de especies aromáticas y cultivos élite en agricultura orgánica protegida con energías alternativas de bajo costo, que financió el presente estudio. A las técnicas Ma. Del Carmen Mercado Guido y Lidia Hiraes del laboratorio de Fisiotecnia Vegetal por su apoyo.

## Literatura citada

- Aparecida, M. E. and Zambillo, P. S. 2003. Germination of *Senra occidentales link*: seed at different osmotic potential levels. Brazilian Archiv. Biol. Technol. 2:38-43.
- Barroso, L. y Jerez, E. 2000. Comportamiento de las relaciones hídricas en la albahaca blanca (*Ocimum basilicum L.*) al ser irrigadas con diferentes volúmenes de agua. Cultivos Tropicales. 3:57-59.
- Blum, A. 2005. Drought resistance, water use efficiency, and yield potential- are they compatible, dissonant, or mutually exclusive. Australian J. Agric. Res. 56:1159-1168.
- Bradford, K. J. 1986. Manipulation of seed water relations via osmotic priming to improve germination under stress conditions. HortScience. 21:1105-1112.
- Dubrencq, B.; Bergen, N.; Vincent, E.; Borsson, M.; Caboche, M. and Lepiniec, L. 2000. The Arabidopsis AT EDRI entensin-like gene is speerficolly expressed in endosperm duvisg seed germination. Plant J. 23:643-652.
- El-Beshbishy, H. A. and Bahashawn, S. A. 2012. Hypoglycemic effect of basil (*Ocimum basilicul*) aqueous extract is mediated through inhibition of  $\alpha$ -amylase activities: an *in vitro* study. Toxicology and Industrial Health. 28:42-50.
- Emmerich, W. and Ey Hardegree, S. P. 1991. Seed germination in polyethylene glycol solution: effects of filter paper exclusion and water vapor loss. Crop Sci. 31:454-458.
- Fereres, E. and Soriano, Ma. A. 2007. Deficit irrigation for reducing agricultural water use. J. Exp. Bot. 58:147-159.
- Gholami, M.; Rahemi, M. and Kholdebarin, B. 2010. Effect of drought stress induced by polyethylene glycol on seed germination of four wild almond species. Australian J. Basic Appl. Sci. 4:785-791.
- González, L. M.; Argente, L.; Zaldívar, N. y 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. 4:49-52.
- Hamayun, M.; Afzal Khan, S.; Khan Shinwari, Z.; Latif Khan, A.; Ahmad, N. and In-Jung, L. 2010. Effect of polyethylene glycol induced drought stress on physio-hormonal attributes of soybean. Pakistan J. Bot. 42:977-986.
- International Seed Testing Association (ISTA). 1999. International Rules for Seed Tesing. Zurich, Switzerland. 321p.

## Conclusions

One of the most important applied aspects of these results, is the contribution to improve the production of these crops, in this sense, in the present study we found that low humidity conditions (0 MPa), genotypes of higher fresh biomass production of shoot were Sweet Dani, Lettuce Leaf and Napoletano. However, under conditions of moderate stress (-0.75 MPa) the Sweet Dani genotype and the Dani genotype, in conditions of severe stress (-1.50 MPa) were of higher production for fresh biomass of shoot and root. Which suggests the selection of genotypes as Dani Sweet, with stress or moderate stress would obtain good results in biomass production and Dolly when is there is a higher water deficit. The growth and germination variables represent complementary indicators to evaluate the tolerance and susceptibility of the different genotypes of basil studied.

*End of the English version*



- Jackson, R. B.; Sperry, J. S. and Dawson, T. E. 2000. Root water uptake and transport: using physiological processes in global predictions. *Trends in Plant.* 5:482-488.
- Jerez, E.; Barroso, L. y Cartaya, O. 2004. Efectos de periodos cortos de estrés e inoculación micorrizica en el comportamiento de la albahaca blanca (*O. basilicum* L.). *Cultivos Tropicales.* 2:29-35.
- Little, T. M. y Hills, F. J. 1989. *Statistical methods in agricultural research.* Versión en español. Métodos estadísticos para la investigación en la agricultura. Ed. Trillas. México. 128 p.
- 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.; Fuster, P. L. y Belmonte, A. C. 2005. *Agua y agronomía.* Universidad de Castilla-La Mancha. Edit. Mundi Prensa. España. 606 p.
- Méndez, N. J.; Ybarra, F. y Merazo, P. J. 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.
- Michel, B. F. and Kauffman, M. R. 1973. The osmotic potential of polyethylene glycol-6000. *Plant Physiol.* 51:914-916.
- Mohammadkhani, N. and Heidari, R. 2008. Water stress induced by polyethylene glycol 6000 and sodium chloride in two maize cultivars. *Pakistan J. Biol. Sci.* 11:92-97.
- Nagafabadi, M. F.; Ghanadha, M. R.; Zali, A. A. y Yazdi, B. 2003. Inheritance of bread wheat seed germination at drought conditions. (consultado en: <<http://www.treebuotech2003.noonod.se/s10-p.htm>>).
- Nieto-Garibay, A.; Murillo-Amador, B.; Troyo-Diéguez, E.; García-Hernández, J. L. and Ruíz-Espinoza, F. H. 2010. Water stress in two capsicum species with different domestication grade. *Tropical and Subtropical Agroecosystems.* 12: 353-360.
- Sayar, R.; Bchini, H.; Mosbahi, M. and Exxine, M. 2010. Effects of salt and drought stresses on germination, emergence and seedling growth of Durum wheath (*Triticum durum* Desf). *J. Agric. Res.* 5:2008-2016.
- Sharp, R. E.; Silk, W. and Hsiao, T. H. 1988. Growth of the maize primary root at low water potentials. *Plant Physiol.* 87:50-57.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera Servicio (SIAP) 2009. [www.siap.gob.mx](http://www.siap.gob.mx).
- StatSoft Inc. 2011. *Statistica.* System reference. StatSoft, Inc., Tulsa, Oklahoma, USA. 1098 p.
- Steel, G. D. R. y Torrie, J. H. 1995. *Bioestadística. Principios y procedimientos.* Ed. McGraw Hill. México. 92 p.
- Wenrao, L.; Zhang, S.; Shan, L. and Eneji A., E. 2011. Changes in root characteristics, gas exchange and water use efficiency following water stress and rehydration of Alfalfa and Sorghum. *Australian J. Crop Sci.* 5:1521-1532.
- Yeşiloğlu, Y. and Şit, L. 2012. Antioxidant properties of various solvent extracts from purple basil. *Spectrochimica Acta Part A: Mol. and Biomol. Spectroscopy.* 95:100-106.