

EMERGENCIA Y CRECIMIENTO DE PLÁNTULAS DE VARIETADES DE ALBAHACA (*Ocimum basilicum* L.) SOMETIDAS A ESTRÉS HÍDRICO

Seedling emergence and growth of basil varieties under water stress

¹Carlos Michel Ojeda-Silvera, ^{1*}Bernardo Murillo-Amador, ¹Alejandra Nieto-Garibay, ¹Enrique Troyo-Diéguez, ²Inés María Reynaldo-Escobar, ³Francisco Higinio Ruíz-Espinoza, ⁴José Luis García-Hernández

¹ Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. Instituto Politécnico Nacional Núm. 195, Colonia Playa Palo de Santa Rita Sur, La Paz, Baja California Sur, México.

*bmurillo04@cibnor.mx.

² Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, Mayabeque, Cuba.

³ Universidad Autónoma de Baja California Sur, La Paz, Baja California Sur, México.

⁴ Universidad Juárez del Estado de Durango. Venecia, Durango.

Artículo científico recibido: 11 de julio de 2013, **aceptado:** 06 de octubre de 2014

RESUMEN. La poca disponibilidad de agua para la agricultura en las zonas áridas del mundo, y en especial en México, debido a la demanda cada vez mayor de la población en constante aumento, exige realizar estudios encaminados a lograr producciones agrícolas mayores con menos recursos hídricos. Este estudio se realizó con el objetivo de determinar el efecto del estrés hídrico en 20 variedades de albahaca, sometidas a tres niveles de potencial hídrico (0, -0.75 y -1.50 MPa) en un diseño completamente al azar con cuatro repeticiones. Las variables medidas fueron porcentaje y tasa de emergencia, longitud de radícula, altura de plántula, biomasa fresca y seca de radícula, y de la parte aérea. Los resultados mostraron que la variedad con mayor porcentaje y tasa de emergencia bajo estrés fue Red Rubin, en tanto que Mrs Burns no logró la emergencia a un nivel de estrés severo (-1.50 MPa). Thai, Dark Opal, Emily, Dolly y Napoletano presentaron mayor longitud de radícula cuando se les aplicó estrés hídrico; por su parte, Cinnamon, Purple Ruffles, Genovese, Genovese Italian, Dolce Vita y Napoletano no lograron desarrollarse cuando el potencial hídrico se igualó a -1.50 MPa, mientras que Sweet Dani presentó mayor biomasa fresca de parte aérea y radícula. Las variedades de mayor biomasa seca en estrés severo (-1.50 MPa) fueron Siam Queen y Thai en parte aérea; Emily y Thai para radícula en estrés moderado (-0.75 MPa).

Palabras clave: Sequía, semilla, tasa de emergencia, hierbas aromáticas

ABSTRACT. The limited availability of water for agriculture in arid areas of the world and especially in Mexico, caused by an increasing demand of a growing population, forced to do studies to achieve higher agricultural production with less water. This study was conducted in order to determine the effect of water stress on 20 varieties of basil, subject to three levels of water potential (0, -0.75 and -1.50 MPa) in a completely randomized design with four replications. The variables measured were percentage and emergence rate, radicle length, seedling height, fresh and dry biomass of radicle and aerial part. The results showed that Red Rubin had the higher percentage and rate of emergence under stress, while Mrs Burns not emerged under severe stress level (-1.50 MPa). Thai, Dark Opal, Emily, Dolly and Napoletano had higher radicle length when water stress was applied; meanwhile Cinnamon, Purple Ruffles, Genovese, Genovese Italian, Dolce Vita and Napoletano failed to develop when water potential was equal a -1.50 Mpa, while Sweet Dani had higher fresh biomass of root and shoot. Siam Queen and Thai showed higher shoot biomass under higher stress (-1.50 MPa); Emily and Thai for root biomass under moderate stress (-0.75 MPa).

Key words: Drought, seeds, emergence rate, aromatic herbs

INTRODUCCIÓN

Las alteraciones del clima en los últimos años afecta de forma considerable el régimen pluviométrico en muchos países, teniendo como consecuencia una mayor frecuencia de eventos de sequías severas y prolongadas, lo que ha provocado cuantiosos daños en la agricultura actual (PNUD 2000). El estrés hídrico asociado con las altas temperaturas y la radiación es el proceso ambiental más importante que puede detener el crecimiento, desarrollo y la supervivencia de los cultivos, poniendo en riesgo su productividad (Chaves *et al.* 2003, Fereres y Soriano 2007, Nieto-Garibay *et al.* 2010).

Desde las etapas tempranas, las plantas cultivadas deben enfrentar condiciones de estrés abiótico como la sequía y los procesos que se presentan en la germinación, emergencia y el crecimiento de la plántula para su adaptación a condiciones ambientales y edáficas adversas (Mokhberdoran *et al.* 2009). Se han realizado diversos estudios acerca de la respuesta de las plantas cultivadas en estrés hídrico en etapas tempranas con el fin de conocer los mecanismos de adaptación a esta condición, obteniéndose progresos en la interpretación de las relaciones hídricas entre las diferentes estructuras de las plantas y sus funciones, lo cual es esencial para el entendimiento de la habilidad competitiva de las plantas para sobrevivir en diferentes ambientes (Heidari y Golpayegani 2012, Jackson *et al.* 2000, Maggio *et al.* 2001, Valladares y Pearcy 1997). A pesar de que esta temática ha sido ampliamente estudiada por la comunidad científica internacional, todavía existen cultivos como la albahaca, de gran importancia por su uso medicinal, alimenticio y principalmente por su contenido de aceites esenciales (Bernstein *et al.* 2010, El-Beshbishy y Bahashwan 2012, Yeşiloğlu y Şit 2012), en la que existe poco conocimiento sobre su respuesta al estrés hídrico en las etapas tempranas de su ciclo, germinación y emergencia, así como la adaptación a las zonas áridas y semiáridas (Ojeda-Silvera *et al.* 2013).

El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto del estrés hídrico en condiciones semi-controladas, sobre la emergencia y crecimiento de plántulas de 20 variedades de albahaca, con el

propósito de establecer posibles diferencias entre ellas que permitan considerarlas como criterio para la selección de variedades tolerantes y sensibles al déficit hídrico.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio de estudio

El experimento se realizó en una estructura de malla sombra del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, México, localizado al norte de la ciudad de La Paz, Baja California Sur, México, a los 24° 08' 10.03" LN y 110° 25' 35.3" LO, a 7 msnm.

Material genético

Se utilizaron semillas de veinte variedades de albahaca provenientes de la empresa Vis Seed Company, Inc., las cuales son, Lemon, Sweet Dani, 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 y Napoletano, cuyo origen es los Estados Unidos de América, de las cuales no existe información sobre su tolerancia o sensibilidad al estrés hídrico. Con el fin de evaluar la calidad de las semillas de las variedades en estudio, previo al experimento se realizó una prueba de germinación sin aplicar estrés hídrico, utilizando la metodología del ISTA (1999).

Diseño experimental y tratamientos

El experimento se estableció en un diseño completamente al azar con arreglo factorial, considerando las variedades como el primer factor y los tratamientos de sequía como el segundo factor, con cuatro repeticiones de 25 semillas cada una. Las semillas se sembraron en charolas de poliestireno de 200 cavidades, las cuales contenían sogemix PM^{MR} como sustrato. Los tratamientos aplicados consistieron en mantener el potencial hídrico del sustrato a -0.75 MPa (estrés moderado); -1.50 MPa (estrés severo) y un control a capacidad de campo (sin estrés), mismos que se determinaron mediante la curva de la pérdida de humedad del

sustrato empleado y corroborados diariamente con el medidor de potencial hídrico (Dewpoint Potential Meter modelo WP4-T). La emergencia se registró todos los días y el porcentaje final se determinó a los 14 d. La tasa de emergencia se calculó utilizando la ecuación de Maguire (1962), $M = n_1/t_1 + n_2/t_2 + n_{25}/t_{14}$; donde n_1 , n_2 , n_{25} son el número de semillas germinadas en los tiempos t_1 , t_2 , t_{14} en d.

Variabes morfométricas

A los 14 d después de la siembra, se seleccionaron al azar 10 plántulas por repetición, a las cuales se les midió la longitud de raíz (cm), altura de planta (cm), biomasa fresca (mg) y seca de raíz (mg) y de parte aérea (mg), que se determinaron por el método destructivo. Estas variables se determinaron al dividir cada plántula en tallos, hojas y raíz, para pesar cada parte por separado, con una balanza analítica (Mettler Toledo, AG204) en mg de biomasa fresca. Una vez que se obtuvo el peso fresco de cada parte, éstas se colocaron en una estufa de secado (Shell-Lab, FX-5, serie-1000203) a una temperatura de 70 °C por 72 h. Para luego pesar cada parte y obtener el peso de materia seca en mg.

Análisis estadísticos

Se realizaron análisis de varianza y comparaciones múltiples de medias (Tukey $p = 0.05$). Previo al análisis de varianza, los datos de porcentaje de emergencia se transformaron mediante arcoseno (Little y Hills 1989, Steel y Torrie 1995), los cuales se realizaron con el programa Statistica v. 10.0 para Windows (StatSoft, 2011).

RESULTADOS

Porcentaje y tasa de emergencia

Para el porcentaje de emergencia, los resultados mostraron diferencias significativas entre variedades ($F_{19, 120} = 8.15$, $p \leq 0.001$), entre niveles de potencial hídrico ($F_{2, 120} = 934.53$, $p \leq 0.001$) así como en la interacción de variedades \times niveles de potencial hídrico ($F_{38, 120} = 6.04$, $p \leq 0.001$), donde las variedades Sweet Dani e Italian

Large Leaf fueron las que mostraron el mayor porcentaje de emergencia en el tratamiento control (0 MPa), mientras que la variedad Red Rubin logró más de 73 % de emergencia con el estrés moderado y más del 53 % con el estrés severo. Las otras variedades mostraron sensibilidad al estrés hídrico, ya que el porcentaje de emergencia fue menor a 50 % con el estrés moderado, obteniendo un valor de cero en la variedad Mrs Burns en el tratamiento de -1.50 MPa. El porcentaje de emergencia disminuyó en todas las variedades con el incremento de los niveles de estrés hídrico (Tabla 1). Para la tasa de emergencia se observaron diferencias significativas entre variedades ($F_{19, 120} = 17.29$, $p \leq 0.001$), entre niveles de potencial hídrico ($F_{2, 120} = 2213.29$, $p \leq 0.001$), así como entre la interacción de variedades \times niveles de potencial hídrico ($F_{38, 120} = 10.69$, $p \leq 0.001$). La variedad Italian Large Leaf mostró la tasa de emergencia mayor en el tratamiento control, mientras que Siam Queen mostró la tasa menor. La variedad Red Rubin logró una tasa de emergencia de 2.08 en -0.75 MPa, mientras que las variedades Spicy Glove y Napoletano mostraron la tasa menor. En el nivel de potencial hídrico de -1.50 MPa, la variedad Thai mostró la tasa mayor con un valor de 1.40, mientras que la variedad Mrs Burns obtuvo un valor de cero en la tasa de emergencia, seguida por las variedades Cinnamon y Purple Ruffles, ambas con una tasa de 0.57 (Tabla 1).

Variabes morfométricas

Los resultados mostraron diferencias significativas entre variedades ($F_{19, 120} = 144.18$, $p \leq 0.001$), así como en la interacción de variedades \times niveles de potencial hídrico para la longitud de la raíz ($F_{28, 120} = 81.08$, $p \leq 0.001$). Al analizar las interacciones para esta variable, se observó que las variedades Sweet Genovese, Sweet Dani, Siam Queen, Red Rubin y Emily, mostraron mayor longitud de raíz en el tratamiento control, mientras que en el potencial hídrico de -0.75 MPa, las variedades Emily, Dolly, Dark Opal, Thai, Napoletano, y Dolce Vita superaron el tratamiento control. A medida que el potencial hídrico fue más negativo, con excepción de Sweet Dani y Dolly, las variedades disminuyeron el crecimiento de raíz, con respecto al

Tabla 1. Influencia de los diferentes niveles de potencial hídrico en el porcentaje y tasa de emergencia de variedades de albahaca.

Table 1. Influence of different levels of water potential in the percentage and rate of emergence of basil varieties.

Variedades	Emergencia (%)			Tasa de emergencia		
	MPa			MPa		
	0	-0.75	-1.50	0	-0.75	-1.50
Lemon	79.5 ^{ab}	58.9 ^{abc}	44.0 ^{abcde}	2.28 ^{ef}	1.58 ^{abcde}	0.88 ^{cdefg}
Sweet Dani	90.0 ^a	62.2 ^{abc}	49.8 ^{abc}	2.73 ^{abc}	1.70 ^{abc}	1.17 ^{abc}
Sweet Genovese	81.4 ^{ab}	57.9 ^{abc}	46.0 ^{abcde}	2.39 ^{def}	1.44 ^{bcde}	0.95 ^{bcdef}
Siam Queen	65.2 ^b	56.0 ^{bc}	47.9 ^{abcd}	1.77 ^g	1.40 ^{cde}	1.16 ^{abc}
Red Rubin	85.7 ^{ab}	73.9 ^a	53.9 ^a	2.46 ^{bcdef}	2.08 ^a	1.21 ^{ab}
Thai	81.4 ^{ab}	66.3 ^{ab}	52.9 ^{ab}	2.51 ^{abcde}	1.96 ^{ab}	1.40 ^a
Dark Opal	81.4 ^{ab}	53.7 ^{bc}	47.9 ^{abcd}	2.41 ^{cdef}	1.42 ^{bcde}	1.05 ^{bcd}
Spicy Glove	85.7 ^{ab}	48.8 ^c	37.3 ^{efg}	2.37 ^{def}	1.08 ^e	0.64 ^{efg}
Mrs Burns	85.7 ^{ab}	51.9 ^{bc}	0.0 ^h	2.78 ^{ab}	1.46 ^{bcde}	0.00 ^h
Cinnamon	85.7 ^{ab}	48.8 ^c	33.2 ^{fg}	2.48 ^{bcdef}	1.18 ^{cde}	0.57 ^g
Licorice	81.4 ^{ab}	54.8 ^{bc}	39.2 ^{defg}	2.16 ^f	1.40 ^{cde}	0.73 ^{defg}
Purple Ruffles	85.7 ^{ab}	49.8 ^{bc}	33.2 ^{fg}	2.25 ^{ef}	1.15 ^{de}	0.57 ^g
Italian Large Leaf	90.0 ^a	55.8 ^{bc}	32.1 ^g	2.83 ^a	1.52 ^{bcde}	0.62 ^{fg}
Lectuce Leaf	85.7 ^{ab}	47.9 ^c	41.2 ^{cdeg}	2.33 ^{def}	1.10 ^{de}	0.80 ^{defg}
Emily	85.7 ^{ab}	57.9 ^{abc}	44.0 ^{abcde}	2.66 ^{abcd}	1.63 ^{abcd}	0.97 ^{bcde}
Dolly	81.4 ^{ab}	54.7 ^{bc}	45.0 ^{abcd}	2.48 ^{bcdef}	1.50 ^{bcd}	1.03 ^{bcd}
Genovese	81.4 ^{ab}	46.9 ^c	37.2 ^{efg}	2.61 ^{abcd}	1.21 ^{cde}	0.76 ^{defg}
Genovese Italian	85.7 ^{ab}	50.8 ^{bc}	42.1 ^{cdef}	2.73 ^{abc}	1.35 ^{cde}	0.90 ^{bcdefg}
Dolce Vita	81.4 ^{ab}	47.9 ^c	41.2 ^{cdefg}	2.46 ^{bcdef}	1.10 ^{de}	0.82 ^{defg}
Napoletano	85.7 ^{ab}	46.0 ^c	43.1 ^{bcdef}	2.47 ^{bcdef}	1.08 ^e	0.93 ^{bcdef}

Medias con letras distintas en una misma columna difieren estadísticamente (Tukey, $p=0.05$).

tratamiento control, llegando a ser nulo con el estrés de -1.50 MPa en las variedades Cinnamon, Purple Ruffles, Genovese, Genovese Italian, Dolce Vita y Napoletano, lo que denota la sensibilidad de estas variedades al déficit hídrico.

Para biomasa fresca de raíz, se encontraron diferencias significativas entre variedades ($F_{19, 120}=151.105$, $p \leq 0.001$) y en la interacción de variedades \times niveles de potencial hídrico para biomasa fresca de raíz ($F_{38, 120}=21.797$, $p \leq 0.001$). Los mayores valores para esta variable los presentó la variedad Sweet Dani, tanto en el tratamiento control como en los niveles de potencial hídrico de -0.75 y -1.50, seguido de la variedad Lemon. Conforme el potencial hídrico fue más negativo, la biomasa fresca de raíz disminuyó en todas las variedades (Tabla 2).

Los resultados revelaron diferencias significativas entre variedades para la biomasa seca de raíz ($F_{19, 120}= 96.35$, $p \leq 0.001$) y para la interacción

de variedades \times niveles de potencial hídrico ($F_{38, 120}=20.49$, $p \leq 0.001$), siendo las variedades Emily en el control y en -0.75 MPa, Thai en -0.75 y -1.50 MPa las que mostraron la mayor biomasa seca de raíz.

Para la altura de la planta se encontraron diferencias significativas entre variedades ($F_{19, 120}=185.82$, $p \leq 0.001$), así como en la interacción de variedades \times niveles de potencial hídrico ($F_{38, 120}=51.65$, $p \leq 0.001$), siendo las variedades Sweet Dani y Red Rubin las que alcanzaron la mayor altura en condiciones de estrés moderado, mientras que en la condición de estrés más severo, las variedades Sweet Dani, Dark Opal y Dolly, mostraron los valores mayores; otro grupo de variedades como Cinnamon, Purple Ruffles, Genovese, Genovese Italian, Dolce Vita y Napoletano mostraron un crecimiento nulo cuando la condición de estrés hídrico fue de -1.50 MPa (Tabla 3).

Se encontraron diferencias significativas entre

variedades ($F_{19, 120} = 203.94$, $p \leq 0.001$) y en la interacción de variedades \times niveles de potencial hídrico ($F_{38, 120} = 37.05$, $p \leq 0.001$) para la biomasa fresca de la parte aérea. Los mayores valores en el control y en -1.50 MPa correspondieron a la variedad Sweet Dani, mientras que en -0.75 el valor mayor lo mostró la variedad Thai, seguida por Sweet Dani; sin embargo, conforme el potencial hídrico fue más negativo, la producción de biomasa disminuyó en todas las variedades (Tabla 3). Para la biomasa seca de la parte aérea se observaron diferencias significativas, tanto entre variedades ($F_{19, 120} = 157.57$, $p \leq 0.001$) como en la interacción de variedades \times niveles de potencial hídrico ($F_{38, 120} = 25.64$, $p \leq 0.001$), siendo la variedades Emily y Thai las que presentaron mayores valores en condiciones de estrés moderado y las variedades Thai y Siam Queen mostraron valores mayores en -1.50 MPa, inclusive, Siam Queen mostró un valor superior al que presentó en -0.75 MPa.

DISCUSIÓN

Efectos del estrés hídrico en el porcentaje y tasa de emergencia

Los resultados obtenidos mostraron que el estrés hídrico puede considerarse un síndrome complejo, integrado por una numerosa serie de procesos, algunos de los cuales son deletéreos y otros adaptativos (Chaves *et al.* 2003), por lo tanto, es muy difícil describir la totalidad de los procesos que son afectados por el estrés hídrico, pudiendo afectar prácticamente a todas las variables morfológicas y fisiológicas de los cultivos, que pueden variar en función de la especie y del grado de tolerancia, pero también en función de la magnitud de la falta de agua y de la rapidez con que se experimente su carencia (Martin de Santa Olalla *et al.* 2005). La identificación de caracteres que permitan seleccionar materiales tolerantes a determinadas condiciones de estrés es de gran importancia, más si se realiza en etapas tempranas del desarrollo del cultivo para minimizar los costos (González *et al.* 2005, Gutiérrez-Rodríguez *et al.* 1998). El efecto de los diferentes niveles de potencial hídrico sobre la emergencia y tasa de emergencia de las variedades

estudiadas mostraron que el porcentaje de emergencia disminuyó en todas las variedades a medida que el estrés hídrico fue más negativo. Esta tendencia indica que el porcentaje de emergencia es altamente dependiente de las condiciones estresantes en las que se desarrolló el experimento, convirtiéndolo en un carácter con valor en la clasificación de una variedad como potencialmente tolerante al estrés por sequía, cuando es capaz de alcanzar porcentaje de emergencia alto en condiciones de déficit hídrico. Al respecto, Aparecida y Zambillo (2003) indican que uno de los métodos más difundidos para determinar la tolerancia de las plantas al estrés hídrico, es la observación de la capacidad de germinar y emerger de las semillas en condiciones de sequía simulada, ya que esto limita la absorción de agua y puede retardar y/o afectar los diferentes procesos fisiológicos (Fanti y Pérez 2004). Resulta evidente que la disponibilidad de agua es una condición esencial para la germinación y emergencia de las semillas (Dubrencq *et al.* 2000), debido a que determina la imbibición y la posterior activación de los procesos metabólicos, rehidratación, mecanismos de reparación, elongación celular y aparición de la radícula. En este trabajo se encontraron variedades de albahaca sensibles al estrés hídrico en la etapa de emergencia y variedades que lograron sobreponerse a las condiciones de estrés mostrando tolerancia. Autores como Morgan (1983) y González *et al.* (2005) al trabajar con trigo, encontraron efectos similares en la respuesta diferencial de las variedades ante los tratamientos de estrés. También Barros (1998) y Maldonado *et al.* (2002) en el cultivo de tomate señalaron que los potenciales hídricos muy negativos afectan las secuencias de eventos involucrados en la etapa de germinación y emergencia, debido a una acción directa en los procesos fisiológicos. Resultados similares fueron reportados por Mohammadkhani y Heidari (2008) al estudiar la respuesta de la germinación y emergencia en dos cultivares de maíz bajo estrés hídrico inducido (-0.15 , -0.49 , -1.3 y -1.76 MPa). Mientras que Gholami *et al.* (2010) encontraron respuestas similares al evaluar el efecto del estrés hídrico inducido sobre la germinación y emergencia de cuatro especies de *Prunus*, señalando un efecto directo y severo, debido a que

Tabla 2. Efecto de los diferentes niveles de potencial hídrico en la longitud de la raíz y biomasa fresca y seca de raíz de plántulas de variedades de albahaca en la etapa de emergencia.

Table 2. Effect of different levels of water potential in root length, fresh and dry biomass of root seedlings of basil varieties in the emergence stage.

Variedades	Longitud de raíz (cm)			Biomasa fresca de raíz (mg)			Biomasa seca de raíz (mg)		
	MPa			MPa			MPa		
	0	-0.75	-1.50	0	-0.75	-1.50	0	-0.75	-1.50
Lemon	3.93 ^{bcdef}	3.83 ^{bc}	2.14 ^{de}	156.23 ^b	70.80 ^b	31.16 ^b	10.96 ^{cdefgh}	7.03 ^{hij}	3.90 ^h
Sweet Dani	4.19 ^{ab}	4.12 ^{ab}	4.15 ^a	399.50 ^a	159.93 ^a	143.20 ^a	11.46 ^{cdef}	6.90 ^{hij}	7.83 ^{de}
Sweet Genovese	4.43 ^a	3.08 ^{ghi}	1.84 ^{ef}	21.03 ^c	35.00 ^{cd}	11.83 ^{def}	6.53 ^h	5.00 ^j	6.10 ^{efg}
Siam Queen	4.07 ^{bc}	3.04 ^{ghi}	2.55 ^{bcd}	75.60 ^c	25.63 ^{cde}	20.56 ^c	11.30 ^{cdefg}	9.86 ^{de}	11.63 ^c
Red Rubin	4.05 ^{bc}	3.32 ^{efg}	2.02 ^{def}	14.87 ^c	12.00 ^e	9.96 ^{ef}	11.96 ^{cde}	8.93 ^{defgh}	7.23 ^{de}
Thai	3.82 ^{cdef}	3.98 ^{abc}	2.89 ^b	24.17 ^c	28.66 ^{cde}	19.86 ^c	14.00 ^{bcd}	15.76 ^b	15.10 ^a
Dark Opal	3.92 ^{bcdef}	4.01 ^{ab}	2.92 ^b	66.03 ^c	35.70 ^{cd}	15.86 ^d	17.23 ^{ab}	8.96 ^{defgh}	5.16 ^{fgh}
Spicy Glove	3.93 ^{bcdef}	2.81 ⁱ	2.16 ^{cde}	17.13 ^c	10.56 ^e	8.60 ^f	9.73 ^{defgh}	7.46 ^{efghi}	6.13 ^{efg}
Mrs Burns	3.98 ^{bcde}	2.92 ^{hi}	1.94 ^{def}	41.87 ^c	20.86 ^{cde}	10.03 ^{ef}	15.46 ^{bc}	8.46 ^{defgh}	3.76 ^h
Cinnamon	3.91 ^{bcdef}	2.86 ^{hi}	0.00 ^g	15.23 ^c	10.30 ^e	0.00 ^g	6.66 ^{gh}	8.06 ^{defgh}	0.00 ⁱ
Licorice	3.65 ^{fg}	3.17 ^{fgh}	2.43 ^{bcde}	22.53 ^c	15.30 ^{de}	11.23 ^{ef}	10.66 ^{dfgh}	7.90 ^{defghi}	3.93 ^h
Purple Ruffles	3.12 ⁱ	2.79 ⁱ	0.00 ^g	15.20 ^c	10.16 ^e	0.00 ^g	7.13 ^{fgh}	7.20 ^{ghij}	0.00 ⁱ
Italian Large Leaf	3.97 ^{bcde}	3.39 ^{def}	1.50 ^f	29.20 ^c	21.50 ^{cde}	11.60 ^{ef}	16.80 ^{ab}	13.23 ^c	6.56 ^{def}
Lettuce Leaf	3.80 ^{cdef}	3.09 ^{fghi}	2.83 ^b	16.83 ^c	10.40 ^e	10.46 ^{ef}	10.23 ^{defgh}	5.50 ^{ij}	5.10 ^{gh}
Emily	4.03 ^{bcd}	4.15 ^a	2.78 ^{bc}	42.37 ^c	41.43 ^c	22.66 ^c	20.96 ^a	21.50 ^a	13.20 ^b
Dolly	3.16 ^{hi}	4.16 ^a	3.84 ^b	19.27 ^c	19.00 ^{de}	13.26 ^{de}	9.20 ^{efgh}	9.60 ^{defg}	8.83 ^d
Genovese	3.43 ^{gh}	2.92 ^{hi}	0.00 ^g	50.10 ^c	18.56 ^{de}	0.00 ^g	13.13 ^{bcde}	9.90 ^{de}	0.00 ⁱ
Genovese Italian	3.70 ^{efg}	3.52 ^{de}	0.00 ^g	15.57 ^c	10.80 ^e	0.00 ^g	7.10 ^{fgh}	7.30 ^{fghij}	0.00 ⁱ
Dolce Vita	3.66 ^{fg}	3.68 ^{cd}	0.00 ^g	52.10 ^c	18.96 ^{de}	0.00 ^g	14.13 ^{bcd}	10.00 ^d	0.00 ⁱ
Napoletano	3.75 ^{def}	3.98 ^{abc}	0.00 ^g	50.60 ^c	18.70 ^{de}	0.00 ^g	13.73 ^{bcde}	9.73 ^{def}	0.00 ⁱ

Medias con letras distintas en una misma columna difieren estadísticamente (Tukey, $p = 0.05$).

en todas las especies, las semillas en el control (0 MPa), mostraron los mayores porcentajes de germinación y emergencia, pero éstos disminuyeron de forma significativa al disminuir el potencial hídrico.

Los resultados revelaron diferencias significativas entre los niveles de potencial hídrico para porcentaje y tasa de emergencia. Esta última se redujo de forma significativa a medida que el estrés hídrico se incrementó, es decir, al ser más negativo, lo que demuestra que la velocidad de emerger de las semillas depende de la eficiencia del proceso de germinación y de las condiciones en las que se desarrolle (Aparecida y Zambillo 2003, Maldonado *et al.* 2002). También se corroboró que existen variedades como Red Rubin, capaces de lograr valores superiores al 73 % de emergencia en condiciones de estrés moderado y de 53 % en estrés severo, mientras que otro grupo de variedades como Spicy Glove, Cinnamon, Lettuce Leaf, Purple Ruffles, Genovese, Dolce Vita y Napoletano se mostraron sensibles al déficit hídrico

moderado con valores de emergencia inferiores a 50 %; respuesta que puede estar determinada por la dotación genética, así como por la capacidad de las semillas de romper su periodo de latencia aun cuando las condiciones de humedad sean óptimas.

Los resultados obtenidos en las variables del crecimiento mostraron diferencias significativas entre los niveles de potencial hídrico, lo que puede estar influenciado por los cambios provocados por el déficit hídrico que inhibe la división celular y el crecimiento (Biasutti y Galiñanes 2001). En condiciones de déficit hídrico, el crecimiento de la raíz es menos sensible que el crecimiento de la parte aérea, lo que conduce a un aumento de la relación parte aérea/raíz (Enteshari y Hajbagheri 2011, Mullet y Whittsitt 1996). De acuerdo con Blum (2005), la raíz puede incrementar su longitud y profundidad en eventos de secamiento moderado del suelo, característica que fue observada en el presente estudio cuando variedades como Thai, Dark Opal, Emily, Dolly, Dolce Vita y Napoletano superaron

Tabla 3. Efecto de los diferentes niveles de potencial hídrico en la altura de la planta y biomasa fresca y seca de la parte aérea en plántulas de variedades de albahaca en la etapa de emergencia.

Table 3. Effect of different levels of water potential in plant height, fresh and dry biomass of shoots in seedlings of basil varieties in the emergence stage.

Variedades	Altura de planta (cm)			Biomasa fresca de parte aérea (mg)			Biomasa seca de parte aérea (mg)		
	MPa			MPa			MPa		
	0	-0.75	-1.50	0	-0.75	-1.50	0	-0.75	-1.50
Lemon	1.84 ^b	0.86 ^{cdef}	0.66 ^{cd}	271.07 ^{bcd}	163.80 ^{def}	93.10 ^{ef}	25.76 ^{bcd}	18.56 ^{cd}	11.10 ^{cd}
Sweet Dani	1.95 ^a	1.45 ^a	0.85 ^a	398.43 ^a	235.56 ^{ab}	214.13 ^a	27.16 ^{bc}	17.23 ^{cde}	16.26 ^b
Sweet Genovese	1.05 ^{de}	0.79 ^{defg}	0.67 ^{bcd}	317.10 ^{bc}	25.40 ^k	12.60 ^h	38.83 ^a	11.43 ^{ghi}	9.26 ^{ef}
Siam Queen	1.08 ^{de}	0.76 ^{fg}	0.66 ^{cde}	329.23 ^b	174.83 ^{de}	141.23 ^c	28.46 ^b	18.96 ^{cd}	22.93 ^a
Red Rubín	1.15 ^{cd}	1.14 ^b	0.71 ^{abcd}	318.63 ^{bc}	183.50 ^{cd}	98.86 ^{def}	30.00 ^b	21.10 ^{bc}	12.60 ^c
Thai	1.21 ^c	0.95 ^{cd}	0.77 ^{abc}	293.93 ^{bcd}	257.93 ^a	167.93 ^b	31.56 ^b	29.86 ^a	23.40 ^a
Dark Opal	1.22 ^c	0.97 ^{bc}	0.86 ^a	270.97 ^{bcd}	207.76 ^{bc}	86.93 ^{ef}	27.10 ^{bcd}	24.03 ^b	10.53 ^{de}
Spicy Glove	1.06 ^{de}	0.82 ^{cdef}	0.60 ^{def}	164.37 ^e	159.70 ^{def}	86.40 ^f	16.53 ^{fghi}	15.10 ^{defg}	10.26 ^{def}
Mrs Burns	1.10 ^{de}	0.87 ^{cdef}	0.83 ^{ab}	285.17 ^{bcd}	173.26 ^{de}	101.26 ^{de}	30.00 ^b	16.40 ^{def}	9.90 ^{def}
Cinnamon	1.01 ^e	0.74 ^{fgh}	0.00 ^g	119.33 ^e	87.60 ^{gh}	0.00 ^h	15.10 ^{hi}	8.73 ⁱ	0.00 ^g
Licorice	1.03 ^e	0.65 ^{gh}	0.50 ^{ef}	266.30 ^{cd}	149.40 ^{ef}	88.66 ^{ef}	19.70 ^{efgh}	12.40 ^{fghi}	11.10 ^{cd}
Purple Ruffles	1.04 ^e	0.75 ^{fg}	0.00 ^g	114.63 ^e	85.60 ^{ghi}	0.00 ^h	15.43 ^{ghi}	9.10 ^{hi}	0.00 ^g
Italian Large Leaf	1.07 ^{de}	0.57 ^h	0.47 ^f	158.33 ^e	131.83 ^f	89.56 ^{ef}	20.70 ^{efgh}	16.70 ^{def}	9.63 ^{def}
Lectuce Leaf	1.09 ^{de}	0.95 ^{cd}	0.72 ^{abcd}	237.40 ^d	163.43 ^{def}	110.33 ^d	20.83 ^{defgh}	12.43 ^{fghi}	9.50 ^{ef}
Emily	1.06 ^{de}	0.96 ^c	0.74 ^{abcd}	284.93 ^{bcd}	225.86 ^{ab}	90.46 ^{ef}	38.36 ^a	31.46 ^a	12.46 ^c
Dolly	1.01 ^e	0.94 ^{cde}	0.86 ^a	131.13 ^e	66.70 ^{ghij}	58.63 ^g	12.67 ⁱ	9.93 ^{hi}	8.96 ^f
Genovese	1.03 ^e	0.76 ^{fg}	0.00 ^g	267.53 ^{cd}	54.36 ^{ijk}	0.00 ^h	21.40 ^{cdefgh}	13.13 ^{efgh}	0.00 ^g
Genovese Italian	1.03 ^e	0.72 ^{fgh}	0.00 ^g	114.27 ^e	89.00 ^g	0.00 ^h	15.26 ^{hi}	9.23 ^{hi}	0.00 ^g
Dolce Vita	1.01 ^e	0.75 ^{fg}	0.00 ^g	268.00 ^{cd}	47.70 ^{jk}	0.00 ^h	22.06 ^{cdef}	13.40 ^{efgh}	0.00 ^g
Napoletano	1.02 ^e	0.78 ^{efg}	0.00 ^g	261.00 ^{cd}	55.33 ^{hijk}	0.00 ^h	21.60 ^{cdefg}	13.16 ^{efgh}	0.00 ^g

Medias con letras distintas en una misma columna difieren estadísticamente (Tukey, $p = 0.05$)

el tratamiento control cuando el potencial hídrico fue de -0.75 MPa; esta respuesta biológica inducida por el estrés le permite a la planta una mayor zona de exploración en el suelo en busca del agua para desarrollar sus procesos fisiológicos de forma eficiente (Blum 2005, Bray *et al.* 2000), siendo éste un elemento a tomar en cuenta para la selección de variedades tolerantes al estrés hídrico. Un estrés moderado puede ser la causa de una disminución notable en la productividad de los cultivos, debido a la relación entre estrés hídrico y la disminución del crecimiento, la reducción del tamaño de las células que da lugar a un desarrollo menor de las hojas y como resultado un menor desarrollo de la superficie fotosintética, sobre todo cuando el déficit ocurre en las primeras etapas del crecimiento vegetativo.

Los elementos anteriores probablemente se deban a que el estrés por sequía retrasa la división y elongación celular, aspectos señalados por Heydari y Heydarizadeh (2002) al trabajar con trigo, así como DellAmico *et al.* (2006) y Quintero *et al.* (2002)

en tomate. Estos antecedentes permiten explicar los resultados mostrados por las variedades de albahaca en altura de la planta, ya que el déficit hídrico que se produce en los tejidos en crecimiento disminuye la turgencia de la célula, y por ende inhibe la elongación celular, así como la división celular, aspectos corroborados por autores como Martín de Santa Olalla *et al.* (2005) quienes señalan que el proceso más sensible al déficit hídrico es el crecimiento celular, siendo especialmente sensible la división y la elongación celular y, como consecuencia, se observa una disminución en el crecimiento de las plántulas.

Se han observado afectaciones en el crecimiento de las plántulas en estrés hídrico, debido a la disminución significativa de la turgencia de las células y a los cambios en la permeabilidad de las membranas (González *et al.* 2005). Mientras que Méndez *et al.* (2010) demostraron que el proceso de elongación y de síntesis de la pared celular es altamente sensible a la deficiencia de agua, por lo que reduce el crecimiento al disminuir la turgencia de las

células. En investigaciones realizadas en albahaca por Jerez y Barroso (2002), al reducir el riego en las diferentes fases de desarrollo, observaron una disminución del crecimiento a medida que incrementa el déficit hídrico, debido a que afecta la elongación y la división celular. Otra hipótesis puede ser la propuesta por Hamayun *et al.* (2010), quienes indican que la disminución del crecimiento bajo estrés hídrico puede deberse 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, las cuales son requeridas para proveer energía en las primeras etapas del crecimiento. Los tratamientos de estrés hídrico afectaron de forma significativa la producción de biomasa fresca de la parte aérea y la biomasa fresca de la raíz, a medida que el estrés se incrementó. Esto pudo ocurrir debido a la afectación que origina el estrés hídrico en la división y elongación celular (Singh 2003). De acuerdo con los resultados, una vez que las variedades se sometieron al tratamiento de deficiencia hídrica, la respuesta entre éstas es diferente, lo que sugiere un posible carácter tolerante al mostrar la variedad Sweet Dani los mayores valores en la condición de estrés severo en longitud y biomasa seca de raíz y la variedad Siam Queen en la variable biomasa seca de la parte aérea. Al respecto, Pastenes *et al.* (2000) plantearon que el déficit hídrico en el suelo afecta algunos procesos fisiológicos, que disminuyen la producción y la acumulación de biomasa en los cultivos. Estos resultados coinciden con lo expresado por Jerez (1998), quien señaló que los efectos del déficit hídrico en el suelo pueden manifestarse mediante la producción de biomasa. En el presente estudio, los resultados mostraron diferencias estadísticas manifestando una disminución en la biomasa fresca y seca de raíz y la parte aérea en la mayoría de las variedades, a medida que el estrés hídrico se incrementó. Esto se sustenta en los principios expresados por Jones *et al.* (2002), quienes plantearon que la acumulación de la biomasa en las plantas está relacionada con el grado de humedad del suelo debido al desencadenamiento de procesos adaptativos que traen una disminución marcada

en la misma. En el análisis de las interacciones se observó que variedades como Thai, Cinnamon y Emily lograron una mayor acumulación de biomasa seca de raíz cuando el estrés fue moderado, y la variedad Sweet Dani cuando el estrés fue severo, poniendo en evidencia la existencia de mecanismos adaptativos expresados por dichas variedades capaces de lograr acumulación de biomasa seca de raíz en condiciones de estrés hídrico. Todo lo anterior proporciona una alternativa para caracterizar variedades tolerantes a la sequía basados en pruebas de ambientes controlados, como plantean Biasutti y Galiñanes (2001).

CONCLUSIONES

La variedad con mayor porcentaje y tasa de emergencia bajo estrés fue Red Rubin, en tanto que Mrs Burns no logró la emergencia a un nivel de estrés severo (-1.50 MPa). Thai, Dark Opal, Emily, Dolly y Napoletano presentaron mayor longitud de radícula cuando se aplicó estrés hídrico; por su parte, Cinnamon, Purple Ruffles, Genovese, Genovese Italian, Dolce Vita y Napoletano no lograron desarrollarse cuando el potencial hídrico se igualó a -1.50 MPa, mientras que Sweet Dani presentó mayor biomasa fresca de parte aérea y radícula. Las variedades de mayor biomasa seca en estrés severo (-1.50 MPa) fueron Siam Queen y Thai en parte aérea; Emily y Thai, para radícula en estrés moderado (-0.75 MPa). Thai, Cinnamon y Emily lograron mayor acumulación de biomasa seca de raíz cuando el estrés fue moderado, y la variedad Sweet Dani cuando el estrés fue severo.

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 Hiraes-Lucero.

LITERATURA CITADA

- Aparecida DME, Zambillo PS (2003) Germination of *Senna occidentalis* Link: Seed at different osmotic potential levels. *Brazilian Archives of Biology and Technology* 46: 163-166.
- Barros TS (1998) Avaliação do potencial fisiológico de sementes de tomate pelo teste de estresse hídrico. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 33: 653-657.
- Bernstein N, Kravchik M, Dudai N (2010) Salinity-induced changes in essential oil, pigments and salts accumulation in sweet basil (*Ocimum basilicum*) in relation to alterations of morphological development. *Annals of Applied Biology* 156: 167-177.
- Biasutti CA, Galiñanes VA (2001) Influencia del ambiente de selección sobre la germinación de semillas de maíz (*Zea mays* L.) bajo estrés hídrico. Relaciones entre caracteres de plántula con el rendimiento a campo. *AgriScientia* 18: 37-44.
- Blum A (2005) Drought resistance, water-use efficiency, and yield potential are they compatible, dissonant, or mutually exclusive. *Australian Journal of Agricultural Research* 56: 1159-1168.
- Bray EA, Bailey SJ, Weretilnyk E (2000) Responses to abiotic stresses. In: *Biochemistry and Molecular Biology of Plants*. Buchanan B, Gruissem W, Jones R (Eds). American Society of Plant Physiologists pp: 1158-1249.
- Chaves MM, Maroco JP, Pereira JS (2003) Understanding plant responses to drought from genes to the whole plant. *Functional Plant Biology* 30: 239-264.
- Dell'Amico JM, Morales D, Polón R, Fernández F (2006) Respuestas adaptativas a la sequía en el tomate inducidas por osmo-acondicionamiento de plántulas. *Revista Cultivos Tropicales* 27: 33-38.
- Dubrencq B, Bergen N, Vincent E, Boisson M, Pelletier G, Caboche M, Lepiniec L (2000) The Arabidopsis AtEDR1 extensin-like gene is specifically expressed in endosperm during seed germination. *Plant Journal* 23: 643-652.
- El-Beshbishy HA, Bahashwa SA (2012) Hypoglycemic effect of basil (*Ocimum basilicum*) aqueous extract is mediated through inhibition of α -amylase activities: an in vitro study. *Toxicology and Industrial Health* 28: 42-50.
- Enteshari S, Hajbagheri S (2011) Effects of mycorrhizal fungi on some physiological characteristics of salt stressed *Ocimum basilicum* L. *Iran Journal of Plant Physiology* 1: 215-222.
- Fanti SC, Pérez JA (2004) Processo germinativo de sementes de Paineira sob estresses hídrico e salino. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 39: 903-909.
- Fereres E, Soriano MA (2007) Deficit irrigation for reducing agricultural water use. *Journal of Experimental Botany* 58: 147-159.
- Gholami M, Rahemi M, Kholdebarin B (2010) Effect of drought stress induced by polyethylene glycol on seed germination of four wild almond species. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences* 4: 785-791.
- González LM, Argente L, Estrada A, Zaldivar N, Ramírez R (2005) Evaluación de la tolerancia a la sequía en genotipos de trigo (*Triticum aestivum* L.) obtenidos en Cuba por inducción de mutaciones. *Cultivos Tropicales* 26: 65-69.
- Gutiérrez-Rodríguez M, Miguel-Chávez RS, Larqué-Saavedra A (1998) Physiological aspects in Tuxpeño maize with improved drought tolerance. *Maydica* 43: 137-141.

- Hamayun M, Afzal-Khan S, Khan-Shinwari A, Latif-Khan, Ahmad N, Lee IJ (2010) Effect of polyethylene glycol induced drought stress on physio-hormonal attributes of soybean. *Pakistan Journal of Botany* 42: 977-986.
- Heidari M, Golpayegani (2012) Effects of water stress and inoculation with plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on antioxidant status and photosynthetic pigments in basil (*Ocimum basilicum* L.) *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences* 11: 57-61.
- Heydari R, Heydarizadeh M (2002) Evaluation of resistance for salinity, drought, cold, heat and pH changes in four Iranian wheat cultivars. *Journal of Agricultural Science and Natural Resources* 9: 81-91.
- ISTA (1999) *International Rules for Seed Testing*. Zurich, Switzerland. 321 p.
- Jackson RB, Sperry JS, Dawson TE (2000) Root water uptake and transport: using physiological processes in global predictions. *Trends in Plant* 5: 482-488.
- Jerez E (1998) Estrés por déficit de humedad en el suelo y desarrollo de las plantas. INCA, Conferencia Internacional. La Habana, Cuba. 28 p.
- Jerez E, Barroso L (2002) Comportamiento de la albahaca blanca (*Ocimum basilicum* L) ante reducciones de las cantidades de agua aplicada por fases del desarrollo. *Cultivos Tropicales* 23: 39-46.
- Jones HG, Stoll M, Santos T, de Sousa C, Chaves MM, Grant OM (2002) Use of infra-red thermography for monitoring stomatal closure in the field: application to grapevine. *Journal of Experimental Botany* 53: 2249-2260.
- Little TM, Hills FJ (1989) *Statistical methods in agricultural research*. Versión en español. Métodos estadísticos para la investigación en la agricultura. Editorial Trillas. México 128 p.
- Maggio A, Hasegawa PM, Bressan RA, Consiglio MF, Joly RJ (2001) Unraveling the functional relationship between root anatomy and stress tolerance. *Functional Plant Biology* 28: 999-1004.
- Maguire JD (1962) Speed of germination aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *Crop Science* 2: 176-177.
- Maldonado C, Oujado E, Squeo F (2002) El efecto de la disponibilidad de agua durante el crecimiento de *Lycopersicon chilense* sobre la capacidad de sus semillas para germinar a distintas temperaturas y concentraciones de manitol y NaCl. *Revista Chilena de Historia Natural* 75: 651-660.
- Martin de Santa Olalla MF, Fuster PL, Belmonte AC (2005) *Agua y agronomía*. Universidad de Castilla- La Mancha. Edit. Mundi Prensa. España. 606 p.
- Méndez NJ, Ybarra PF, Merazo PJ (2010) Germinación y desarrollo de plántulas de tres híbridos de maíz bajo soluciones osmóticas. VI. Comparación entre cinco soluciones osmóticas. *Tecnológica ESPOL-RTE* 23: 55-60.
- Mohammadkhani N, Heidari R (2008) Water stress induced by polyethylene glycol 6000 and sodium chloride in two maize cultivars. *Pakistan Journal of Biological Science* 11: 92-97.
- Mokhberdorran F, Nabavi KSM, Sadrabadi HR (2009) Effect of temperature iso-osmotic concentrations of NaCl and PEG agents on germination and some seeding growth yield components in rice (*Oryza sativa* L.). *Asian Journal of Plant Science* 8: 409-416.
- Morgan J (1983) Osmoregulation as a selection criterion for drought tolerance in wheat. *Australian Journal of Agricultural Research* 34: 607-614.
- Mullet JE, Whitsit MS (1996) Plant cellular responses to water deficit. *Plant Growth Regulation* 20: 119-124.

- Nieto-Garibay A, Murillo-Amador B, Troyo-Diéguez E, García-Hernández JL, Ruíz-Espinoza FH (2010) Water stress in two capsicum species with different domestication grade. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 12: 353-360.
- Ojeda-Silvera CM, Murillo-Amador B, Reynaldo-Escobar IM, Troyo-Diéguez E, Ruíz-Espinoza FH, Nieto-Garibay A (2013) Estrés hídrico en la germinación y crecimiento de plántulas de genotipos de albahaca *Ocimum basilicum* L. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 4: 229-241.
- Pastenes C, Porter VH, Baginsky C (2000) Efecto del déficit hídrico sobre el rendimiento de cuatro cultivares de porotos (*Phaseolus vulgaris* L). *Investigación Agrícola* 20: 1-12.
- PNUD (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo) (2000). El desarrollo humano en Nicaragua. Equidad para superar la vulnerabilidad. 1era. Ed. Managua, Nicaragua, 196 p.
- Quintero F, Ohta M, Shi H, Zhu JK, Pardo JM (2002) Reconstitution in yeast of the Arabidopsis SOS signaling pathway for Na⁺ homeostasis. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 99: 9061-9066.
- Singh M (2003) Effect of nitrogen and irrigation on the yield and quality of sweet basil (*Ocimum basilicum* L.). *Journal Spices Aromat Crops* 11: 151-154.
- StatSoft Inc (2011) STATISTICA. System reference. StatSoft, Inc, Tulsa, Oklahoma, USA. 1098 p.
- Steel GDR, Torrie JH (1995) Bioestadística. Principios y procedimientos. Ed. McGraw Hill. México.
- Valladares F, Pearcy KW (1997) Interactions between water stress, sun-shade acclimation, heat tolerance and photoinhibition in the sclerophyll *Heteromeles arbutifolia*. *Plant, Cell and Environment* 20: 25-36.
- Yeşiloğlu Y, Şit L (2012) Antioxidant properties of various solvent extracts from purple basil. *Spectrochimica Acta Part A: Molecules and Biomolecular Spectroscopy* 95: 100-106.