

UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA
CENTRO UNIVERSITARIO DE CIENCIAS
BIOLOGICAS Y AGROPECUARIAS

130

POSGRADO EN CIENCIAS BIOLOGICAS



**ECOFISIOLOGIA DE UNA LINEA SEMIDOMESTICADA
DE CHILE CHILTEPIN (*Capsicum frutescens* L.) COMO
UNA ALTERNATIVA HORTICOLA EN ZONAS
SEMIARIDAS.**

Por

ALEJANDRA NIETO GARIBAY

Tesis presentada como requisito parcial para obtener el grado de

DOCTOR EN CIENCIAS (ÁREA ECOLOGÍA)

LAS AGUJAS, ZAPOPAN, JALISCO

OCTUBRE DEL 2006



UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA
CENTRO UNIVERSITARIO DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y AGROPECUARIAS
DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y AMBIENTALES

COORDINACIÓN DE LA MAESTRÍA Y DOCTORADO
EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

ACTA DE REUNIÓN DE LA JUNTA ACADÉMICA

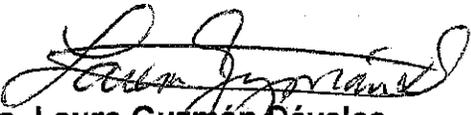
En las instalaciones del Instituto de Botánica del Departamento de Botánica y Zoología del CUCBA, el día 20 de septiembre del 2006 a las 11:00 hrs se reunió la Junta Académica del Posgrado en Ciencias Biológicas con la finalidad de analizar la solicitud de designación de sinodales para examen de grado de la alumna del Doctorado en Ciencias Biológicas, **Alejandra Nieto Garibay**, por lo que después de revisar su propuesta y analizar los candidatos que se proponen se:

Acordó:

Designar como miembros del jurado de examen a las siguientes personas:

Dr. Enrique Troyo Dieguez	(Director)
Dr. Eulogio Pimienta Barrios	(Co-Director)
Dra. Blanca C. Ramírez Hernández	(Sinodal)
Dr. Fco. Martín Huerta Martínez	(Sinodal)
Dra. Julia Zañudo Hernández	(Sinodal)

Sin más asuntos por tratar, se dio por concluida la reunión de conformidad los miembros de la Junta Académica.


Dra. Laura Guzmán Dávalos
Presidenta de la Junta Académica


Dr. Fco. Martín Huerta Martínez
Secretario de la Junta Académica


Dr. José Antonio Vázquez García
Vocal de la Junta Académica


Dr. Eduardo Ríos Jara
Vocal de la Junta Académica



UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA
CENTRO UNIVERSITARIO DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y AGROPECUARIAS
DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y AMBIENTALES

COORDINACIÓN DE LA MAESTRÍA Y DOCTORADO
EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

ACTA DE REUNIÓN DE LA JUNTA ACADÉMICA

En las instalaciones del Instituto de Botánica del Departamento de Botánica y Zoología del CUCBA, el día 2 de octubre del 2006 a las 10:00 hrs se reunió la Junta Académica del Posgrado en Ciencias Biológicas con la finalidad de recibir la tesis de Doctorado de la alumna **Alejandra Nieto Garibay** con código **B03001008** y revisar su expediente académico. Teniendo a la vista la hoja de registro de calificaciones de sus estudios de posgrado, el trabajo de tesis y la aprobación de la tesis por los miembros del jurado, la Junta Académica

Acordó:

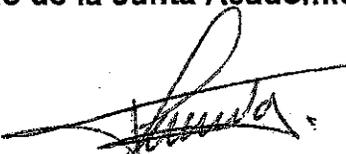
1. Aceptar el trabajo de tesis titulado **“ECOFISIOLOGÍA DE UNA LÍNEA SEMIDOMESTICADA DE CHILE CJILTEPIN (*Capsicum frutescens* L.) COMO UNA ALTERNATIVA HORTICOLA EN ZONAS SEMIARIDAS”**.
2. Avalar que la alumna ha concluido el plan de estudios del programa de Doctorado en Ciencias Biológicas y ha cumplido con los requerimientos administrativos necesarios para fijar día y hora de examen de grado.
3. Fijar como fecha de examen el lunes 16 de octubre del 2006 a las 12:00 hrs.

Sin más asuntos por tratar, se dio por concluida la reunión de conformidad los miembros de la Junta Académica.


Dra. Laura Guzmán Dávalos
Presidenta de la Junta Académica


Dr. José Antonio Vázquez García
Vocal de la Junta Académica


Dr. Fco. Martín Huerta Martínez
Secretario de la Junta Académica


Dr. Eduardo Ríos Jara
Vocal de la Junta Académica

La Paz, B.C.Sur. a 25 de Septiembre del 2006

**JURADO EVALUADOR
POSGRADO, CIENCIAS BIOLÓGICAS ORIENTACIÓN ECOLOGÍA
CUCBA, UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA
P R E S E N T E**

Honorables miembros del Jurado:

Por este conducto hacemos manifiesta nuestra conformidad y constancia de que la tesis intitulada **"ECOFISIOLOGIA DE UNA LINEA SEMIDOMESTICADA DE CHILE CHILTEPIN (*Capsicum frutescens* L.) COMO UNA ALTERNATIVA HORTICOLA EN ZONAS SEMIARIDAS"** de la alumna ALEJANDRA NIETO GARIBAY ha sido revisada y aprobada para dar continuidad a los trámites correspondientes a su titulación.

Sin más por le momento aprovechamos la presente para enviar un cordial saludo.

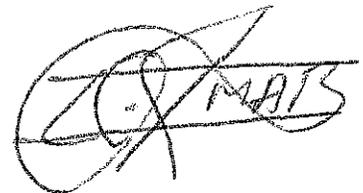
Atentamente



Dr. Enrique Troyo Diéguez
Director de Tesis



Dr. Estégo Pimienta Barrios
Co-director de Tesis



Dr. Bernardo Murillo Amador
Asesor



**ECOFISIOLOGIA DE UNA LINEA SEMIDOMESTICADA DE CHILE
CHILTEPIN (*Capsicum frutescens* L.) COMO UNA ALTERNATIVA
HORTICOLA EN ZONAS SEMIARIDAS.**

Por

ALEJANDRA NIETO GARIBAY

Tesis presentada como requisito parcial para obtener el grado de

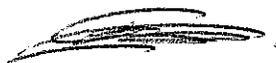
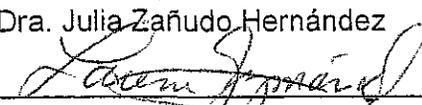
DOCTOR EN CIENCIAS (AREA ECOLOGIA)

UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

CENTRO UNIVERSITARIO DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y AGROPECUARIAS

OCTUBRE DEL 2006

Aprobada por:

 _____ Dr. Enrique Trovo Diéguez	Director	<u>28 SEP 06</u> Fecha
 _____ Dr. Eulogio Pimienta Barrios	Co-director	<u>29 sept 06</u> Fecha
 _____ Dr. Fco. Martín Huerta Martínez	Sinodal	<u>28 sept / 06</u> Fecha
 _____ Blanca C. Ramírez	Sinodal	<u>28 sep 2006</u> Fecha
 _____ Dra. Julia Zañudo Hernández	Sinodal	<u>28 / sep / 2006</u> Fecha
 _____ Dra. Laura Guzmán Davalos	Presidente del posgrado	<u>28 / sep / 2006</u> Fecha

*A los motores de mi vida Roberto, Emiliano y bebé en camino
por ser el significado de la misma, con su paciencia, apoyo y
amor.*

*A mis padres Ma. Elena y Héctor por su amor y por
enseñarme el amor a la vida poniendo todo el corazón en
cada día y cada acto que vivimos. Por deberles lo que soy.*

*A mis hermanos Héctor y Octavio por su cariño, por ser
parte de mi vida, por ser mis amigos.*

A Paty, amiga no te olvido^(t)

A Dios por su creación

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Enrique Troyo por haberme dirigido desde mi formación de licenciatura hasta el doctorado, mostrando siempre su mejor disposición y apoyo. Especialmente en éste último logro por considerarme más que una alumna, una colega gracias a lo que he aprendido de él y sobre todo por su gran amistad.

Al Dr. Eulogio Pimienta Barrios por haberme dado la oportunidad de realizar el Doctorado dentro del CUCBA, por su apoyo incondicional y sus valiosos comentarios a mi investigación.

Al Dr. Bernardo Murillo por su apoyo, asesoría y valiosos comentarios para mi trabajo. A la Dra. Julia Zañudo por su invaluable e incondicional ayuda en la realización de todos los trámites para hacer posible mi titulación. Al Dr. Martín Huerta, Dra. Blanca Ramírez, Dr. Alejandro Muñoz, a todos ellos por sus comentarios y facilidades logísticas dentro del posgrado.

A la Sra. Esther Abarca secretaria del Programa de Posgrado del CUCBA por su orientación y ayuda en los tramites para mi titulación y a lo largo de mis estudios.

A todos ellos por sus atenciones y sobre todo por darme la oportunidad de haber encontrado nuevas amistades en tierras jaliscienses.

Al Dr. Juan Larrinaga por su ayuda y asesoría incondicional en el cuidado del cultivo del chile.

A Carmen Mercado y Lidia Hiraes por su apoyo y ayuda en el laboratorio a lo largo de estos años, por su invaluable amistad. A Juan Vega, Amado Cota, Pedro Luna, Luis Landa, Martín Aguilar por su ayuda en el trabajo de campo.

A mis compañeros y amigos, Enrique Troyo, José Luis García, Bernardo Murillo por permitirme ser parte de un equipo de trabajo y enseñarme que trabajar con ellos es un ejemplo de apoyo a la mujer considerándola como tal y con todo lo que hoy en día hay que cumplir como mujer, madre, esposa y profesionista.

Al Dr. Mario Martínez, Dra. Thelma Castellanos y Dr. Felipe Ascencio, por las facilidades logísticas y apoyo para mis estudios de doctorado.

A todos mis amigos, amigas y compañeros cuya lista es larga (afortunadamente) que me dieron siempre un aliento, apoyo y ánimo para seguir, mil gracias.

A Yessica y Octavio por su apoyo y cariño en el cuidado de Emiliano.

De manera especial a mi esposo Roberto Carlos por su infinita paciencia y amor por mostrarme que hay grandes hombres con una verdadera capacidad de amar en toda la extensión de la palabra, por ser este logro de los dos.

ECOPHYSIOLOGY OF A SEMI-DOMESTICATED HOT PEPPER LINE (*C. frutescens* L.) AS A HORTICULTURAL OPTION FOR SEMI-ARID ZONES.

ABSTRACT

This work was part of the strategic projects of the Arid Zone Agricultural Program of Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR S.C.) in La Paz, Baja California Sur. Three main experiments were made with two hot pepper species (*C. frutescens* and *C. annuum*) under water deficit at three different stages a) germination b) emergence and c) vegetative growth and fructification. During the germination experiment water deficit treatments were established with PEG-8000 for controlling water potential of both hot pepper species. In the emergence experiment, water deficit was established according to different irrigation days. Plants for vegetative growth and fructification were cropped in plastic pots establishing two water deficit treatments. Recovery irrigation was applied to water deficit treatment which was made after plants showed turgor loss. The other plant treatment was maintained in field capacity water conditions. Results showed *C. frutescens* as a well adapted species to soil and weather conditions typical of the study region: water scarcity, high temperatures, and soils with low organic matter content. During germination *C. frutescens* showed a low germination percentage (30%) when compared with *C. annuum*, however, there were no negative effects of water deficit treatments in *C. frutescens* germination. Similar results were found during the emergence stage water deficit treatments

did not show a negative effect on plants during seedling of *C. frutescens*. The opposite was shown by *C. annuum* which decreased in fresh weight and biomass with deficit water treatments. During vegetative growth and fructification, *C. frutescens* showed a high growth of radicle and stomata closed to water soil content of 20%, but allowed transpiration process as a physiological and morphological strategy to face water stress conditions and a better umbral water optimization, all this compared with commercial pepper species. Results showed *C. frutescens* as a well hot pepper adapted species to regional weather conditions and to its semi-domestic condition which gives it a wide genetic pool and allowing a high and more diverse possibility to respond to stressing conditions. Under this context, it is important to study wild and semi-domesticated species in order to maintain this genetic pool that allows its future use to breeding agricultural species.

RESUMEN

El presente trabajo de tesis se realizó como parte de los proyectos estratégicos adscritos al Programa de Agricultura en Zonas Áridas en las instalaciones del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR, S.C.) en La Paz, Baja California Sur. Se realizaron tres experimentos principales sometiendo dos especies de chile (*C. frutescens* y *C. annuum*) a déficit hídrico en tres etapas a) germinación, b) emergencia y c) desarrollo vegetativo hasta la fructificación. En el experimento de germinación se establecieron tratamientos de déficit hídrico con un simulador (PEG-8000) controlando el potencial hídrico a las que fueron sometidas semillas de ambas especies y posteriormente germinadas. En el experimento de emergencia, el déficit hídrico se estableció de acuerdo a los días de riego. El experimento durante todo el desarrollo vegetativo hasta su fructificación, se estableció en macetas con dos tratamientos, plantas con déficit a las cuales sólo se les aplicaron riegos de recuperación posterior a síntomas de déficit hídrico (pérdida de turgencia en tejido foliar desde en la mañana) y plantas que se mantuvieron a capacidad de campo. Los resultados mostraron que *C. frutescens* es una especie que presenta una buena adaptación a las condiciones climáticas y edáficas que caracterizan la región: escasez de agua, altas temperaturas y suelos con poca materia orgánica. Durante su germinación, *C. frutescens* mostró un porcentaje de germinación bajo (30 %) comparado con *C. annuum*; sin embargo, no se encontraron efectos adversos de los tratamientos de déficit hídrico en su germinación; resultados similares se

encontraron durante la emergencia. Los tratamientos de déficit hídrico no mostraron efecto negativo durante el desarrollo de las plántulas de *C. frutescens*, caso contrario mostraron las plántulas de *C. annuum* en tratamientos severos, expresado en la disminución de los pesos frescos y en la biomasa. Durante su desarrollo vegetativo, *C. frutescens* mostró un mayor desarrollo de raíz, un cierre estomático a partir de un contenido de humedad del suelo del 18 %, pero mantuvo su transpiración, evidenciando con ello, una estrategia fisiológica y morfológica para enfrentar las condiciones de estrés hídrico y un umbral de aprovechamiento de agua menor, comparado con la especie comercial de Chile. Lo anterior muestra una buena adaptación de *C. frutescens* a las condiciones de la región y muy probablemente a su condición de especie semidomesticada que le permite un gran reservorio de material genético que a su vez le ofrece la posibilidad mayor de una diversidad de respuestas a las condiciones adversas que tiene que enfrentar. Bajo este contexto, es importante el estudio de especies silvestres y semi-domesticadas con el fin de conservar tan valioso reservorio genético que permita su aprovechamiento futuro para mejorar especies de interés agrícola.

INDICE TABLAS Y FIGURAS

CAPITULO 1

Table 1. Effect of different levels of water stress using PEG (8000) on germination percentage and germination rate observed between two pepper species.	16
Table 2. Effect of different levels of water stress using PEG (8000) on Half-time germination as the number of days needed for germination by half of the total number of germinated seeds (T_{50}) and mean germination time (MGT) percentage and germination rate observed between two pepper species. Differences among water potential (Ψ) treatments for each pepper species.	18
Table 3 Effect of water potential treatments induced with PEG- 8000 on growth seedling, hypocotyls lenght, root length and root:shoot length.	22
Table 4. Means of total fresh and dry weight of two pepper species ($n = 3$), without differences among water potential (Ψ) treatments.	23
Table 5. Means of fresh and dry biomass per plant of two pepper species without differences among water potential (Ψ) treatments ($P = 0.05$) ($n = 3$).	23
Table 6. Means and differences amongst water potential treatments obtained by Fisher LSD test in total fresh weight, dry weight, fresh biomass per plant, and dry biomass per plant observed between two pepper species.	24

CAPITULO 2

Figura 1 Tasa de emergencia (a) y porcentaje total de emergencia (b) de las especies de chile <i>C. frutescens</i> y <i>C. annuum</i> bajo tratamientos de déficit hídrico y días de riego. Cada punto representa el promedio de 4 repeticiones (10 semillas por repetición) \pm error estándar.	42
Figura 2. Emergencia acumulada de <i>C. annuum</i> (-■-) y <i>C. frutescens</i> (-o-) para tratamientos de déficit hídrico en intervalos de riego de 3 días (a), 8 días (b), 12 días (c), 18 días (d) y 26 días (e).	43
Figura 3. Resultados de la prueba para grupos homogéneos por tratamientos y especie de chile (Fisher LSD $p=0.05$) de la longitud de la parte aérea de la planta, longitud de raíz y la relación proporcional de ambas partes.	47
Figura 4. Relación entre tratamientos de déficit hídrico y la producción de biomasa seca por planta de la parte aérea, biomasa seca de la raíz por planta y la proporción de ambas partes. Se muestran los resultados de <i>C. annuum</i> (-◆-) y <i>C. frutescens</i> (-▲-).	48

CAPITULO 3

Tabla 1 Humedad del suelo promedio ($n = 4$) en cada tratamiento. PSDA=plantas de <i>C. annuum</i> sin déficit hídrico, PSDF=plantas de <i>C. frutescens</i> sin déficit hídrico, PCDF=plantas de <i>C. frutescens</i> con déficit hídrico y PCDA=plantas de <i>C. annuum</i> con déficit hídrico.	
Tabla 2. Promedios de de las variables morfométricas medidas en los diferentes tratamientos ($n= 4$). PSDA plantas de <i>C. annuum</i> sin déficit hídrico, PSDF plantas de <i>C. frutescens</i> sin déficit hídrico, PCDF plantas de <i>C.</i>	

frutescens con déficit hídrico, PCDA plantas de *C. annuum* con déficit hídrico.

68

Tabla 3. Promedios de las variables (proporciones) en los diferentes tratamientos (n= 4). PSDA plantas de *C. annuum* sin déficit hídrico, PSDF plantas de *C. frutescens* sin déficit hídrico, PCDF plantas de *C. frutescens* con déficit hídrico, PCDA plantas de *C. annuum* con déficit hídrico.

69

Tabla 4. Promedios (n= 4) de las variables morfométricas considerando las dos especies de chile en estudio

70

Tabla 5. Promedios (n= 4) de las relaciones entre Peso fresco de raíz y peso fresco parte aérea de la planta (PFR/PFA), Peso seco de raíz y peso seco de la parte aérea de la planta (PSR/PSA), longitud de raíz y longitud de parte aérea (LR/LA).

70

Tabla 6. Promedios (n= 4) de humedad del suelo (HS), conductividad estomática (g), transpiración (TRP), temperatura de la hoja (TH), fluorescencia (FLUOR), clorofila (CLOROF), contenido relativo de agua (CRA) de plantas de dos especies de chile (*C. annuum* y *C. frutescens*) sometidas a dos tratamientos de humedad (plantas con y sin déficit hídrico)

74

Tabla 7. Valores de la humedad relativa (HR), temperatura del aire y radiación fotosintéticamente activa (RFA).

75

Tabla 8. Matriz de correlación múltiple de las variables microambientales: humedad relativa (HR, %), temperatura del aire (TA, °C), radiación fotosintéticamente activa (RFA, $\mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^2$), humedad del suelo (HS %), déficit de presión de vapor (DPV) y variables fisiológicas: temperatura de la hoja (TH, °C), conductividad estomática (g, cm s^{-1}), transpiración (TRP, $\mu\text{g cm}^2 \text{s}^{-1}$), contenido relativo de agua (CRA, %), clorofila en unidades spad (CLspad, spad), clorofila total (CLOROF) .PSDF Resultados del tratamiento de plantas sin déficit hídrico de *C. frutescens*.

77

Tabla 9. Matriz de correlación múltiple de las variables microambientales: humedad relativa (HR, %), temperatura del aire (TA, °C), radiación fotosintéticamente activa (RFA, $\mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^2$), humedad del suelo (HS, %), y variables fisiológicas: temperatura de la hoja (TH, °C), conductividad estomática (g cm s^{-1}), transpiración (TRP $\mu\text{g cm}^2 \text{s}^{-1}$), contenido relativo de agua (CRA, %), clorofila en unidades spad (CLspad, spad), clorofila total (CLOROF, mg L^{-1}). Resultados del tratamiento de plantas con déficit hídrico de *C. frutescens*. PCDF.

78

Tabla 10. Matriz de correlación múltiple de las variables microambientales: humedad relativa (HR, %), temperatura del aire (TA, °C), radiación fotosintéticamente activa (RFA, $\mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^2$), humedad del suelo (HS, %) y variables fisiológicas: temperatura de la hoja (TH, °C), conductividad estomática (g, cm s^{-1}), transpiración (TRP, $\mu\text{g cm}^2 \text{s}^{-1}$), contenido relativo de agua (CRA, %), clorofila en unidades spad (CLspad, spad), clorofila total (CLOROF, mg L^{-1}). Resultados del tratamiento de plantas sin déficit hídrico de *C. annuum*. PSDA.

79

Tabla 11. Matriz de correlación múltiple de las variables microambientales: humedad relativa (HR, %), temperatura del aire (TA, °C), radiación fotosintéticamente activa (RFA, $\mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^2$), humedad del suelo (HS, %), y variables fisiológicas: temperatura de la hoja (TH, °C), conductividad estomática (g, cm s^{-1}), transpiración (TRP, $\mu\text{g cm}^2 \text{s}^{-1}$), contenido relativo de agua (CRA, %), clorofila en unidades spad (CLspad, spad), clorofila total

(CLOROF, mg L ⁻¹). Resultados del tratamiento de plantas sin déficit hídrico de <i>C. annuum</i> . PCDA.	80
Tabla 12. Promedios de humedad relativa (HR), temperatura del aire (TA), temperatura de la hoja (TH), radiación fotosintéticamente activa (RFA), conductividad estomática (g), transpiración (TRP), clorofila en unidades spad (CLspad), clorofila total (CLOROF) y contenido relativo de agua (CRA) de plantas de dos especies de Chile.	82
Tabla 13. Promedios de los valores de potencial hídrico en Megapascales (MPa) (n = 6) (P < 0.01) para plantas de <i>C. frutescens</i> sin déficit hídrico (PSDF) plantas con déficit hídrico (PCDF) y plantas de <i>C. annuum</i> sin déficit hídrico (PSDA) y plantas con déficit hídrico (PCDA).	84
Fig. 1. Humedad del suelo (%) medida a través de los días de experimentación para cada tratamiento (n = 5), plantas sin déficit hídrico de <i>C. annuum</i> (PSDA), plantas con déficit hídrico de <i>C. annuum</i> (PCDA), plantas sin déficit hídrico de <i>C. frutescens</i> (PSDF), plantas con déficit hídrico de <i>C. frutescens</i> (PCDF).	85
Fig. 2 Variables microclimáticas Humedad relativa (HR), temperatura del aire (TA) y radiación fotosintéticamente activa (RFA), medidas a través de los días de experimentación por medio del porómetro para los tratamientos de plantas sin déficit hídrico y con d de <i>C. annuum</i> (PSDA) y <i>C. frutescens</i> (PSDCF) y plantas con déficit hídrico de <i>C. annuum</i> y <i>C. frutescens</i> (PCDA, PCDF).	72
Fig. 3 Variables fisiológicas temperatura de la hoja (TH), transpiración (TRP) y conductividad estomática (g), medidas a través de los días de experimentación por medio del porómetro para los tratamientos de plantas sin déficit hídrico de <i>C. annuum</i> PSDA y <i>C. frutescens</i> PSDCF y plantas con déficit hídrico de <i>C. annuum</i> y <i>C. frutescens</i> PCDA, PCDF.	73
Fig. 4. Relación de la transpiración (TRP) y la conductividad estomática (g) para cada tratamiento de plantas con déficit hídrico de <i>C. frutescens</i> (PCDF x, - -) y <i>C. annuum</i> (PCDA ■, — -), plantas sin déficit hídrico de <i>C. frutescens</i> (PSDF ▲, — -) y <i>C. annuum</i> (PSDA ◆,).	76
Fig. 5 Relación entre conductividad estomática (g) y humedad del suelo (HS) para las plantas del tratamiento con déficit hídrico de <i>C. annuum</i> (PCDA ■, — -) y <i>C. frutescens</i> (PCDF x, —) y plantas sin déficit hídrico (PSDA ◆) y (PSDF ▲) de la misma especie, respectivamente.	82
Fig. 6. Relación entre transpiración (TRP) y humedad del suelo (HS) para las plantas del tratamiento con déficit hídrico de <i>C. annuum</i> (PCDA ■, — -) y <i>C. frutescens</i> (PCDF x, —), y plantas sin déficit hídrico (PSDA ◆) y (PSDF ▲) de la misma especie respectivamente.	83

INDICE DE CONTENIDO

Resumen	vi
1. Introducción	1
2. Hipótesis	6
3. Objetivo general	6
4. Objetivos particulares.....	7
5 Capítulo 1.....	8
Effect of Polyethylene glycol as water stress inductor on germination and seedling of semidomesticated (<i>Capsicum frutescens</i> L.) and domesticated (<i>Capsicum annum</i> L.) peppers	
5.1 Abstract.....	8
5.2 Introduction.....	9
5.3 Materials and methods.....	12
5.3.1 Seed source	12
5.3.2 Water deficit treatments	13
5.3.3 Experimental desing	13
5.3.4 Germination, germination rate, half-time germination and mean germination time measurements Seed source	14
5.3.5 Seedling growth measurements	15
5.3.6 Data analysis	15
5.4 Results	15
5.4.1 Germination percentage, germination rate, mean time germination and half- time germination	15
5.4.2 Growth seedling	20
5.5 Discusion	25
5.6 Conclusions.....	28
5.7 References	29
6. Capítulo 2.....	35
Respuestas de adaptación al estrés hídrico edáfico durante la emergencia y el desarrollo de plántula en una especie semidomesticada de chile <i>Capsicum frutescens</i> L. y una comercial <i>Capsicum annum</i> L.	
6.1 Resúmen.....	33
6.2 Introducción.....	35
6.3 Materiales y métodos	37
6.3.1 Sitio de estudio.....	37
6.3.2 Obtención de semilla	37
6.3.3 Diseño experimental y obtención de plántulas	38
6.3.4 Establecimiento experimental y aplicación de tratamientos.....	38
6.3.5 Variables medidas	39
6.3.6 Análisis estadístico	39
6.4 Resultados y discusión.....	40
6.4.1 Tasa de emergencia, porcentaje de emergencia y emergencia acumulada Resultados y discusión	40
6.4.2 Desarrollo de plántulas.....	44
6.5 Conclusiones	49

6.6 Literatura citada.....	50
7. Capítulo 3.....	54
Efecto del déficit hídrico edáfico sobre variables ecofisiológicas en plantas de chile semi-domesticado <i>C. frutescens</i> L. y domesticado <i>C. annuum</i> L.	
7.1 Resumen.....	54
7.2 Introducción.....	54
7.3 Materiales y métodos	57
7.3.1 Sitio de estudio.....	57
7.3.2 Obtención de semillas y plántulas	58
7.3.3 Transplante.....	59
7.3.4 Inicio del experimento.....	59
7.3.5 Diseño experimental y tratamientos	59
7.3.6 Mediciones de variables ecofisiológicas	60
7.4 Resultados.....	64
7.4.1. Humedad del suelo.....	64
7.4.2 Variables morfológicas	66
7.4.3 Variables ecofisiológicas	71
7.5 Discusión	85
7.6 Conclusión.....	89
7.7 Bibliografía	93
8. Discusión	94
9. Conclusiones.....	101
10. Bibliografía	103
11. Apéndice	114

1. INTRODUCCION

El alcance de resultados sobresalientes en la productividad de las especies vegetales con valor económico o estratégico requiere del conocimiento en extenso de los procesos fisiológicos que suceden en las plantas y de la forma como los factores que caracterizan el ambiente lo influyen. El concepto de ecofisiología incluye el estudio de nuevos cultivos que presentan características con mayor adaptación a determinados ambientes. En el caso de las zonas áridas y semiáridas, el desarrollo de las plantas cultivadas enfrenta condiciones edáficas y ambientales adversas (Hall *et al.*, 1979), por lo que las investigaciones ecofisiológicas en estas zonas son fundamentales para enfrentar tales condiciones.

Estudios acerca de la respuesta fisiológica de plantas de Chile (*Capsicum* sp.) a condiciones de estrés han sido abordado por diversos autores. En dicha gama de investigaciones predominan aquellas que son realizadas con la especie *Capsicum annuum*, especie que corresponde a la especie comúnmente explotada para fines económicos, en términos globales. *C. annuum* ha sido reportada como una especie con alta sensibilidad a la sequía y moderada susceptibilidad a la salinidad (De Pascale *et al.* 2003), los efectos producidos en dicho cultivo por ambos tipos de estrés, aunque no claros del todo, se han observado en una disminución en el crecimiento de la planta, principalmente en el área foliar, tamaño de la planta, menor producción de frutos, desbalance

nutricional, desestabilización de la membrana celular e inhibición de la fotosíntesis, hasta un nivel de daño irreversible en células y tejidos (Murillo-Amador, *et al.*, 2001; Rodríguez *et al.* 2005; Whalley *et al.* 2001; Chartzoulakis y Lapaki, 2000). Dichos estudios incluyen las estrategias que las plantas utilizan para enfrentar las condiciones de estrés, debido a lo cual se han detectado variedades de chile de la especie *C. annuum* más adaptadas para ser cultivadas en zonas áridas o semi-áridas; ejemplo de estas variedades sembradas en BCS son los chiles tipo 'Pimiento', 'California' y 'Ancho' (Larrinaga-Mayoral, 2001). Sin embargo, las especies silvestres y que se encuentran en vías de domesticación (semi-domesticadas) del género *Capsicum* han sido escasamente estudiadas (Hernández-Verdugo *et al.* 1998; Hernández-Verdugo *et al.* 2001). Estas últimas muestran la característica de ser manejadas de forma empírica, de tal manera que se encuentran en su etapa inicial de domesticación, estando presentes en el sitio durante mucho tiempo, por lo que han sido adoptadas por lo lugareños, debido a que han generado una mayor adaptación a las condiciones ambientales en las que se han desarrollado. Tal es el caso del chile *C. frutescens* de Baja California Sur comúnmente llamado 'chiltepín', 'chile bola', 'caribeño', el cual pertenece al tipo de chile de las variedades comerciales 'Tabasco' y 'Cayene'.

La importancia en el estudio de este tipo de especies semi-domesticadas y silvestres radica en que constituyen una reserva de genes que puede contribuir al mejoramiento de especies domesticadas que se cultivan en ambientes áridos

y semiáridos, reduciendo su vulnerabilidad a los tipos de estrés que prevalecen en ambientes secos (Hernández-Verdugo *et al.*, 2001; Portis *et al.*, 2004; Hawkesford, 2001). Por medio de las estrategias que utilizan de tipo bioquímico, fisiológico y morfológico-mecánico, son capaces de mantener su desarrollo en ambientes áridos y semi-áridos donde el estrés hídrico es uno de los factores del ambiente que afecta a las plantas durante los estadios de su crecimiento (Turner y Jones, 1980; Lambers *et al.*, 1998; Fischer y Turner, 1975).

De manera específica, Baja California Sur (B.C.S.) enfrenta una grave problemática en la práctica de la agricultura debido a que forma parte de la amplia extensión de zonas áridas y semiáridas del país (60% del territorio nacional) (Rzedowski, 1978). Presenta escasa precipitación anual (que oscila de 100 a 200 mm), evaporación media anual de 2,838 mm (INEGI, 1996), suelos poco fértiles y en numerosos casos tierras con condiciones salinas o ensalitradas. No obstante lo anterior, la agricultura en B.C.S. es una de las principales actividades por lo que debe ser atendida. Uno de los cultivos importantes en el Estado es el cultivo del chile que representa aproximadamente el 25% del valor en miles de pesos con respecto a los cultivos cíclicos (Centro Estatal de Información, 20005). Dicha hortaliza ha representado siempre un cultivo con importancia económica y cultural en el Estado, por lo que existe una creciente demanda por parte de los productores para la generación de información, principalmente en relación con la introducción de especies mejor adaptadas, con menores requerimientos de agua, con mayores producciones y

con mayores oportunidades de mercado. De las propiedades o atributos a evaluar por parte de las plantas silvestres y semi-domesticadas como *C. frutescens* en BCS, se detecta un bajo porcentaje de germinación y emergencia aunados a un estado de latencia bajo condiciones de oscuridad, por lo que resulta evidente la necesidad de tratamiento físico o químico para el rompimiento de dicho estado, el cual es característico de especies silvestres. Asimismo destaca la presencia de frutos pequeños y ciclos de vida más largos (Ladisinzky, 1985).

Por otro lado, debido al propio mejoramiento, las semillas de plantas domesticadas aseguran hasta el 90% de su germinación sin mayor condición de manejo. La mejora de características de las plantas silvestres o semi-domesticadas como el acortamiento del proceso de germinación, aumento de tamaño de frutos y la forma de reproducción, han tenido que pagar su precio en cuanto a la disminución de la variabilidad genética. El caso del género *Capsicum* no ha sido la excepción; en este sentido, es claro que las variedades y especies silvestres siguen mostrando mejores estrategias de adaptación a climas adversos y ataque de plagas, principalmente, gracias al caudal y variabilidad en la información genética que poseen (Hernández-Verdugo, 1998). El tipo de chile de la especie *C. frutescens* ha sido estudiado a través de varios años en el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR); de los resultados obtenidos se ha encontrado que *C. frutescens* presenta estrategias fisiológicas y morfológicas para enfrentar el estrés hídrico que lo tornan relevante para su

utilización como un cultivo alternativo en la región (Nieto-Garibay, 1994; Nieto-Garibay *et al.*, 2001). Sin embargo, poco se ha abordado para su estudio incluyendo las etapas tempranas, como las etapas de germinación y emergencia, con el fin de conocer si las propiedades tolerantes se presentan desde dichas etapas iniciales. Aunado a su importancia como reservorio genético y por adaptación a la región, *C. frutescens* presenta importancia económica debido a que ofrece diversas posibilidades que ofrece para su comercialización. En la industria alimenticia su venta como fruto seco alcanza precios altos, además, los frutos en fresco se utilizan para la elaboración de conservas, mermeladas y salsas. Los capsaicinoides, como metabolitos secundarios, son utilizados en la industria farmacéutica para la elaboración de cremas para artritis, parches musculares, fármacos cardiovasculares y aerosoles de defensa personal. En la industria cosmetológica los capsaicinoides se utilizan para la elaboración de cremas humectantes, shampoo y geles. Por último existen evidencias y referencias acerca del uso de frutos frescos molidos como bioinsecticidas (Salgado, 1989).

Bajo este contexto se abordó el estudio ecofisiológico del chile 'caribeño' semidomesticado de la especie *C. frutescens* en etapas tempranas de su desarrollo (germinación y emergencia), así como durante las etapas iniciales de su crecimiento vegetativo, comparándolo con la especie comercial de chile 'california' de la especie *C. annuum*.

2. HIPOTESIS

Una línea semidomesticada de chile chiltepín obtenida a partir de la selección individual de 10 años de cultivo experimental presenta mayor tolerancia a la sequía, lo cual redundaría en un menor requerimiento de agua, al ser comparado con una variedad comercial. Dicha aseveración se basa en el análisis de las variables indicadoras de morfometría y respuesta ecofisiológica a las restricciones de agua.

3. OBJETIVO GENERAL

Realizar la caracterización morfométrica y ecofisiológica de una línea de chile semi-domesticado "chiltepín" *Capsicum frutescens* L. y compararla con una variedad comercial de la especie *Capsicum annuum* L. var. Joe Parker en las etapas de germinación, emergencia y desarrollo vegetativo hasta la etapa de fructificación, sometida a tratamientos de déficit hídrico, bajo un enfoque y perspectiva experimental.

4. OBJETIVOS PARTICULARES

- Evaluar el porcentaje de germinación, tasa de germinación, tiempo medio de germinación y tiempo en que tardan el 50% de las semillas totales en germinar, de una línea semi-domesticada de chile chiltepín *C. frutescens* L. comparadas con semillas comerciales de *C. annuum* L. en condiciones de déficit hídrico.
- Evaluar el porcentaje de emergencia y tasa de emergencia de semillas de una línea semi-domesticada de chile chiltepín *C. frutescens* L. comparadas con las semillas comerciales de *C. annuum* L. bajo déficit hídrico.
- Analizar la interrelación de algunos parámetros ecofisiológicos (potencial hídrico, transpiración, temperatura de la hoja, radiación fotosintéticamente activa, conductividad estomática y análisis de crecimiento) de plántulas de una línea semi-domesticada de chile chiltepín *C. frutescens* L. y compararlas con las respuestas mostradas por la especie *C. annuum* L. bajo déficit hídrico durante el desarrollo vegetativo hasta la fructificación.
- Evaluar los cambios en las variables morfométricas de *C. frutescens* L. como estrategia de adaptación al estrés hídrico y compararlas con las respuestas mostradas por la especie *C. annuum* L. bajo déficit hídrico durante la etapa de plántula y el desarrollo vegetativo hasta la fructificación.

5. CAPITULO 1

Effect of polyethylene glycol as water stress inductor on germination and seedling of semidomesticated (*Capsicum frutescens* L.) and domesticated (*Capsicum annum* L.) peppers

(Enviado a Annals of Applied Botany)

Effect of polyethylene glycol as water stress inductor on germination and seedling of semidomesticated (*Capsicum frutescens* L.) and domesticated (*Capsicum annuum* L.) peppers

5.1 Abstract: Semi-domesticated pepper plants are important resources because their genetic variability is reflected in a wide range of phenotypic responses, particularly drought tolerance during seed germination. Domesticated pepper species selection and production reduce genetic variability. We determined germination and seedling patterns and traits of a semi-domesticated hot pepper species (*C. frutescens* L.), and a cultivated species (*C. annuum* L.) exposed to nine levels of water potential induced by polyethylene glycol (PEG) 8000. Cultivated *C. annuum* showed the highest rate of germination, but no differences were observed between water potential treatments on the percentages of germinating seeds for either species. *C. frutescens* showed the lowest rate of germination, significant differences between water potential treatments were observed between treatments, with the slowest rate (24 days) recorded at -0.4 MPa. Mean germination time was seven days shorter for *C. frutescens* at the lowest water potential (-3.2 MPa) than *C. annuum*. *C. frutescens* showed a shorter T_{50} than *C. annuum* for the highest water potential, but this variable was increased by the lowest water potential treatments. In all cases, response values of *C. frutescens* remained below *C. annuum*. Root:shoot ratio was higher for *C. annuum* under -1.2 MPa than the other treatments. In

contrast, *C. frutescens* did not show differences among treatments. There were no differences in fresh and dry total weight among treatments. However, we found significant differences between species, with *C. annuum* having the highest fresh and dry weight production. *C. frutescens* was found to be a possible genetic tolerance to low water potential at the germination and seedling stages. We confirmed that the water potential threshold where germination tends to be blocked is the operational way that the germination capacity is defined and quantified; in this case, the value of the threshold also determines the speed of germination for *Capsicum* spp. seeds at any water potential including pure water.

Key words: PEG- 8000, domesticated, semi domesticated, *Capsicum annuum*, *Capsicum frutescens*, water potential, germination.

5.2 Introduction

In some regions of Mexico, including Baja California Sur (BCS), it is common to find a relatively large variability of wild, semi-domesticated and domestic pepper populations. Ethno-botanical research on peppers in different stages of their domestication process informs us that *C. annuum*, and probably *C. frutescens*, were domesticated in México (Hernández-Verdugo *et al.* 1999). BCS is an arid region where domestic green peppers *C. annuum* varieties, such as 'California' and 'Ancho', have been important crops, despite adverse environmental conditions that prevail in this region, such as water scarcity, high temperatures,

and water and soil salinity (Murillo-Amador *et al.* 2001; Nieto-Garibay 1999). As a consequence, eco-physiological research has played a special role to evaluate responses of commercial varieties of *C. annuum* to drought and salinity (Santos-Díaz and Ochoa-Alejo 1994; Chartzoulakis and Klapaki 2000). On the other hand, little attention has been given to native species, despite the fact that their adaptive mechanisms to environmental stresses in arid environments have been shaped for a long time (Lanteri *et al.* 2003).

C. frutescens is a semi-domesticated endemic crop of Mexico, the southwestern USA, and BCS that has been cultivated as a family garden species. 'Tabasco' and 'Cayenne' are examples of this pepper species. Just as other wild peppers, semi-domesticated *C. frutescens* is a valuable natural resource because its genetic variability provides drought tolerance mechanisms for meeting adverse environmental stresses, particularly during seed germination, when it encounters soil water stress conditions (Nieto-Garibay 2001; Hernández-Verdugo *et al.* 2001; Portis *et al.* 2004).

Seed germination is one of the crucial stages for establishment and development in cultivated plants. As a productive option for farmers, understanding the physiological basis of its germination properties under water deficit conditions is important. Polyethylene glycol (PEG) is a commonly used substrate to simulate drought conditions in laboratory conditions for seed germination studies (Emmerich and Hardegree 1991). In previous works, PEG was used to induce

osmotic stress in seeds of *Capsicum annum* to evaluate germination performance and seedling vigor (Sánchez *et al.* 1999; Trawatha *et al.* 1990; Zgallai *et al.* 2005).

To date, the available information on responses of *Capsicum frutescens* to water potential (Ψ) treatments is scarce. Because *C. frutescens* species represent a gene reservoir which may be used for breeding commercial varieties, determination of drought tolerance in seeds is a first step in assessing an important plant resource. It is well known that domestication reduces genetic variability of plants; in consequence, it is important to compare semi-domesticated and fully domesticated species in the same region to evaluate differential responses to the arid environment and develop a strategy of recovering genetic lines that are important to economically valuable plants grown under adverse conditions.

Here, we compare the germination capability and morphological differences in seedlings of semi-domesticated seeds of a *C. frutescens* hot pepper with a fully domesticated variety of a *C. annum* hot pepper exposed to an artificial gradient of Ψ treatments induced by PEG as a hypertonic osmoregulator. Under the above considerations, we hypothesized that as a consequence of the wider genetic variability of a semi-domesticated species the seeds will show higher variability of responses to waters stress during seed germination and seedling development compared with a fully domesticated species. This variability, as an

important component of the domestication process, is evaluated to measure eco-physiology of seed germination and seedling development, useful for incorporating native semi-wild BCS *Capsicum frutescens* varieties future breeding programs.

5.3 Materials and methods

5.3.1 Seed source

Semi-domesticated *C. frutescens* seeds were obtained from selected plants established at the Experimental Station of CIBNOR. These seeds were originally collected in the nearby semi-rural community of El Centenario. Before starting the Ψ treatments, seeds were disinfected in a CaHCl solution (containing 5% active chlorine) for 5 min, and then washed three times with sterilized distilled water. Commercial seeds of *C. annuum* cv California Joe Parker (FAX, lot. MVF-CT-02, 88% germination) were used for comparison with *C. frutescens*. For this species, it was not necessary to disinfect seeds because commercial seeds regularly receive a fungicide treatment. Germination experiment was conducted according to international standards (ISTA 1985).

5.3.2 Water deficit treatments

Water deficit simulated treatments were established using an aqueous solution of polyethylene glycol (PEG-8000, Spectrum Chemical Mfg. Corp.), described by Emerich and Hardegree (1991). Ψ values were validated using the calibration curves developed by Michel (1983). PEG-8000 was used because it does not cause root damage (Michel 1983; Michel *et al.* 1983). Seeds of *C. annuum* and *C. frutescens* were placed in Petri dishes and exposed to one of seven concentration solutions of PEG-8000 for 72 h at 25°C. Thereafter, seeds were rinsed with distilled water and dried in ambient air. Seeds were sown in 9-cm Petri dishes containing 20 mL distilled water as a substrate. Experiment was conducted in a germination chamber (Model MB-60B, Percival Manufacturing Company, U.S.A.) providing a 12:12 photoperiod with white fluorescent light, luminosity from 120 to 130 $\mu\text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Temperature varied from 20 to 30 °C; relative humidity ranged from 80 to 90%.

5.3.3 Experimental design

Experimental design was a factorial treatment set of two pepper species and nine Ψ levels arranged in a completely randomized design (Zar 1999), with three replications of 20 seeds per treatment unit. Ψ treatments were calibrated in MPa and control groups were not treated with PEG-8000. Ψ treatments were applied at 0.0, -0.4, -0.8, -1.2, -1.6, -2.0, -2.4, -2.8, and -3.2 MPa.

5.3.4 Germination, germination rate, half-time germination and mean germination time measurements

Germinated seeds were counted daily during the experimental period. Germination was calculated as an absolute percentage, considering the total number of seeds included in each treatment (Maguire 1962). The germination rate was calculated according to Maguire's equation (Maguire 1962): $M = n_1/t_1 \dots n_{10}/t_{10}$ where n_1, n_2, \dots, n_{10} are the number of germinated seeds at time t_1, t_2, \dots, t_{10} (in days). Total germination was recorded until 13 days after sowing, at which time germination no longer occurs. Mean germination time (MGT) was calculated using Harrington's equation (Harrington 1962). Half-time germination (T_{50}) is the number of days needed for germination by half of the total number of germinated seeds, which was calculated from the parameters that describe the germination curves (Hacisalihoglu *et al.* 1999). These parameters were obtained for each repetition of each treatment and pepper species by performing a standardized non-linear curve-fitting procedure using the logistic model for four parameters of the SIGMAPLOT computer program. A seed was considered as germinated when the radicle tip had elongated to 2 mm from the seed coat. Values of germination were transformed to arcsine ($\sqrt{\%}$), where data of germination are expressed as a percentage. Normal and abnormal germinated seeds were determined according to the criteria set by the International Seed Testing Association (ISTA 1985).

5.3.5 Seedling growth measurements

Growth characteristics of seedlings, such as hypocotyl and radicle length, root:shoot length ratio index, and dry and fresh total weight were obtained from 10 replicate of 3 plants per replicate of each treatment at the end of experimental time. Hypocotyl and radicle length were measure with a digital caliper (GENERAL, No. 143, GENERAL Tools, Manufacturing Co. Inc, New York USA) and were used to calculated rooth:shoot length ratio. Three plans for treatment were weighted in an analytical balance (METTLER TOLEDO, AG204) to obtain total fresh weigth. The dry weights was determinated after drying the seedling in a force-air dryer (Blue M, OV-490A) at 80°C until reach constant weight, and used to calculated dry biomass production per plant and dry total weight ..

5.3.6 Data analisys

Data were analyzed by performing a factorial ANOVA. Means were separated by Fisher LSD test ($P < 0.05$) using STATISTICA v. 6 (StatSoft, Inc., Tulsa, OK). Figures were drawn using SIGMAPLOT v. 8 (Systat Software Inc. U.S.A.)

5.4 Results

5.4.1 Germination percentage, germination rate, mean time germination and half- time germination

We found that seed germination percentage differed significantly between the pepper species, *C. annuum* showed the highest germination percentage (Table 1), but no significant differences were found between Ψ treatments. Germination rates varied significantly between Ψ treatments for *C. frutescens* and *C. annuum*, but results of homogeneity groups did not show a clear pattern. Mean while for *C. annuum* germination rate for all Ψ treatments was higher than control group except for -2.4 MPa, for *C. frutescens* only -0.4, -1.2 and -3.2 MPa Ψ treatments were higher than control group (Table 1). We did not found significant differences between pepper species in germination rate.

Table 1. Effect of different levels of water stress using PEG (8000) on germination percentage and germination rate observed between two pepper species. Data are de mean \pm SE (8,36 d.f.). There were three replications of 20 seeds per treatment unit, differences between water potential treatments obtained by Fisher LSD test (for germination rate).

Treatment Water potential (MPa)	Germination (%)		Germination rate ^a (no. of germinated seed/day)	
	<i>C. frutescens</i>	<i>C. annuum</i>	<i>C. frutescens</i>	<i>C. annuum</i>
0.0	58	71	2.51 \pm 0.08 ^{bcd}	2.55 \pm 0.2 ^{bcd}
-0.4	72	67	3.47 \pm 0.9 ^e	2.73 \pm 0.1 ^{bcd}
-0.8	57	73	2.17 \pm 0.9 ^{abc}	2.81 \pm 0.1 ^{cde}
-1.2	69	76	2.97 \pm 0.3 ^{de}	3.00 \pm 0.3 ^{de}
-1.6	59	72	2.42 \pm 0.4 ^{abcd}	2.86 \pm 0.1 ^{cde}
-2.0	59	71	2.23 \pm 0.1 ^{abc}	2.62 \pm 0.06 ^{bcd}
-2.4	51	67	1.81 \pm 0.2 ^a	2.55 \pm 0.09 ^{bcd}
-2.8	59	77	2.11 \pm 0.3 ^{ab}	2.57 \pm 0.5 ^{bcd}
-3.2	70	81	2.67 \pm 0.2 ^{bcd}	2.66 \pm 0.1 ^{bcd}

Means followed by different letters in a column are significantly different ($P < 0.05$).

Analysis indicated that seeds of *C. annuum* with the shortest T_{50} were those with a Ψ from -0.4 MPa with its respective control group until to reach -2.8 and -3.2 MPa treatments. For *C. frutescens* the shortest T_{50} were only for -0.4, -1.2 and -1.6 MPa treatments. The longest T_{50} was at a Ψ -2.8 MPa for both species. In general T_{50} increased with Ψ treatments from -2.0 to -3.2 MPa for *C. annuum* and *C. frutescens* species with respect to control groups and treatments from -0.4 to -1.6 MPa (Table 2). Differences between species were found, *C. frutescens* showed a shorter T_{50} than *C. annuum* for Ψ from 0 to -1.6 MPa (Table 2).

Mean germination time (MGT) suggested differences among species and Ψ treatments (Table 2). MGT for *C. frutescens* was shorter than *C. annuum*. Differences among Ψ treatments were found for all treatments in *C. annuum* except for -2.4 MPa MGT was longer than control group. For *C. annuum* only -2.0, -2.8 and -3.2 treatments were longest than control group. In order to find a clear relation between Ψ treatments for T_{50} and MGT lineal and no linear regression models were applied to data. T_{50} showed significative relation for both species were *C. frutescens* T_{50} was in all treatments lowest and with a linear relation than *C. annuum* which the best adjustment was a quadratic equation ($y = 6.03 + 0.55x + 0.269x^2$ $R = 0.65$)($y = 4.882 - 0.43x$ $R = 0.654$)(Fig.1). Results from curves adjustment for MGT showed a significative relation for *C. annuum* but not for *C. frutescens* ($y = 10.43 + 1.68x + 0.806x^2$ $R = 0.745$)($y = 6.65 + 0.0066x$) (Fig.1).

Table 2. Effect of different levels of water stress using PEG (8000) on Half-time germination as the number of days needed for germination by half of the total number of germinated seeds (T_{50}) and mean germination time (MGT) percentage and germination rate observed between two pepper species. Differences among water potential (Ψ) treatments for each pepper species. Data are de mean \pm SE (d.f.8,36). There were three replications of 20 seeds per treatment unit, differences between water potential treatments obtained by Fisher LSD test.

Water potential (MPa)	T_{50} (days)		MGT ^a (days)	
	<i>C. frutescens</i>	<i>C. annuum</i>	<i>C. frutescens</i>	<i>C. annuum</i>
0.0	5.23 \pm 0.1 ^{abc}	6.23 \pm 0.2 ^{defg}	6.64 \pm 0.3 ^{ab}	10.30 \pm 0.3 ^{ef}
-0.4	4.77 \pm 0.3 ^a	5.56 \pm 0.1 ^{abcd}	7.43 \pm 0.5 ^{abcd}	10.10 \pm 0.2 ^{ef}
-0.8	5.87 \pm 0.2 ^{cdef}	5.79 \pm 0.1 ^{cde}	7.51 \pm 1.8 ^{abcd}	9.23 \pm 0.8 ^{cde}
-1.2	4.96 \pm 0.04 ^{ab}	5.69 \pm 0.04 ^{bcd}	8.58 \pm 0.1 ^{abcde}	9.79 \pm 0.8 ^{def}
-1.6	5.27 \pm 0.2 ^{abc}	5.84 \pm 0.1 ^{cde}	7.28 \pm 1.4 ^{abc}	10.23 \pm 1.0 ^{ef}
-2.0	6.12 \pm 0.1 ^{def}	6.19 \pm 0.1 ^{defg}	7.66 \pm 0.1 ^{abcd}	10.82 \pm 0.4 ^{ef}
-2.4	6.16 \pm 0.07 ^{defg}	5.96 \pm 0.09 ^{cde}	6.33 \pm 0.5 ^a	9.79 \pm 0.2 ^{def}
-2.8	6.50 \pm 0.5 ^{efg}	6.93 \pm 0.7 ^g	8.94 \pm 1.6 ^{bcde}	12.07 \pm 0.4 ^{fg}
-3.2	6.09 \pm 0.1 ^{def}	6.81 \pm 0.2 ^{fg}	9.30 \pm 0.1 ^{cde}	13.66 \pm 0.8 ^g

Means followed by different letters in a column are significantly different ($P < 0.05$).

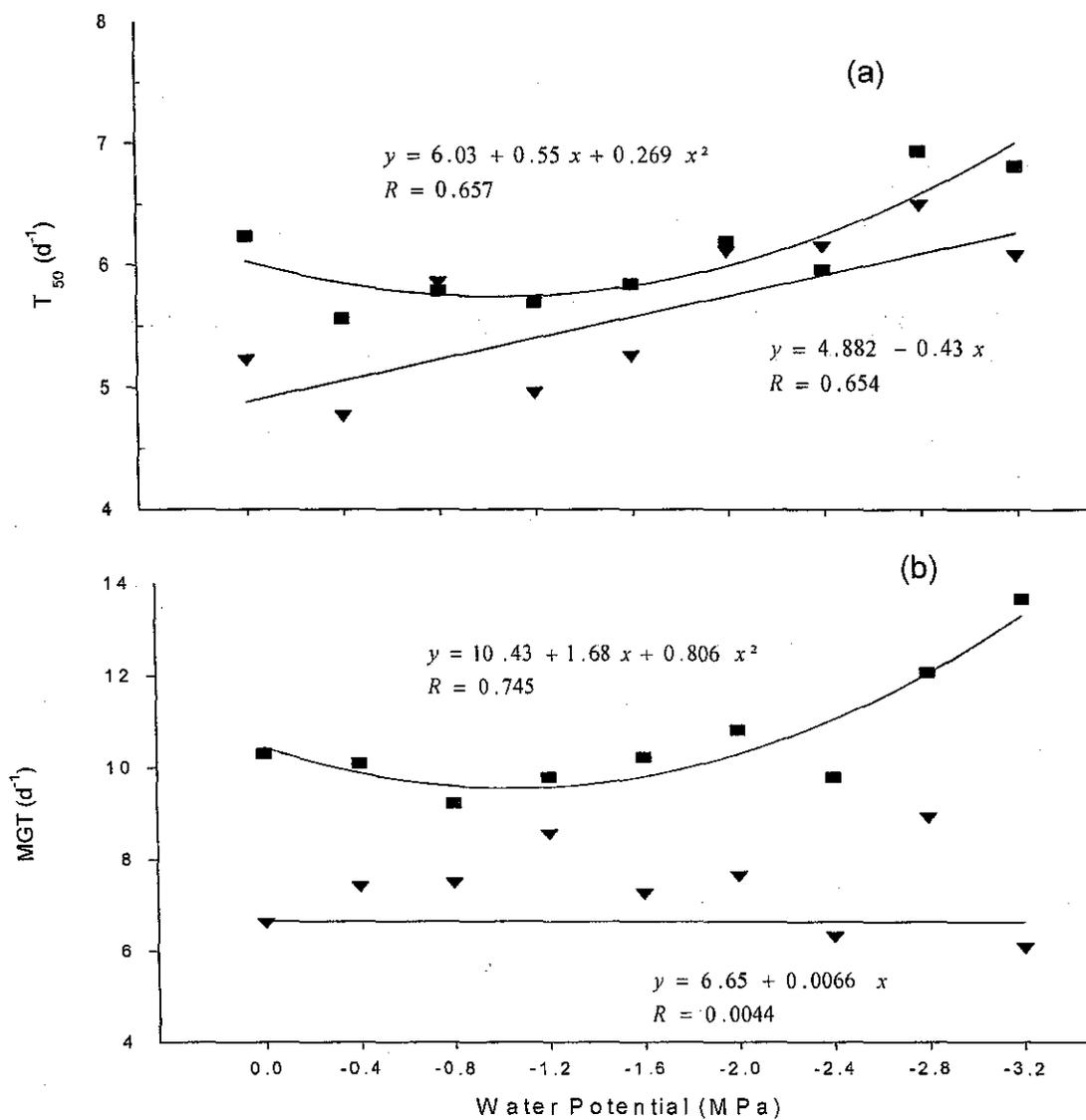


Fig. 1. Water potential treatments effects on half time germination (T_{50}) (a) and Mean Germination Time (TMG) in both pepper species *C. annuum* (-■-) y *C. frutescens* (-▼-) (b).

5.4.2 Growth seedling

Measurements of growth of seedlings did not show significant differences in the length of hypocotyl between pepper species, but there were significant differences between Ψ treatments for both pepper species. *C. frutescens* showed the longest hypocotyl for -0.4 treatments with the same value as *C. annuum* but for -2.0 MPa treatments (Table 3). As a consequence of the lowest values of Ψ , difference between the species for hypocotyl growth was evident for the -2.7 MPa treatments. Differences in *C. annuum* were more apparent than in *C. frutescens* between Ψ treatments; in this sense, in *C. annuum*, the hypocotyl was 42% longer at -2.0 MPa than the control group. For *C. frutescens*, the hypocotyl growth was 12% higher at the -0.4 MPa treatment than the control group (Table 3).

Radicle length results showed statistical differences between *C. frutescens* and *C. annuum* with highest radicle growth for *C. annuum*. Differences between Ψ treatments showed a positive effect of PEG on radicle growth from -0.4 to -1.6 MPa on *C. annuum*. Difference in *C. frutescens* between treatments showed shortest radicle growth at -1.2 MPa Ψ . Differences in treatments and control group were not significant for the radicle-growth variable.

Results of shoot:root length ratio showed for *C. annuum* a smaller ratio than *C. frutescens*. Differences between Ψ treatments were present in *C. annuum* with

the largest ratio in -2.0 MPa treatments. *C. frutescens* showed the largest ratio for -1.2 MPa treatment, results for Ψ treatments showed a larger ratio than control group (Table. 3).

Ψ Treatments did not cause any effect on fresh weight, total dry weight (Table 4), and biomass per plant (Table 5). However, results showed differences among species. *C. annuum* showed the largest fresh weight, similarly total dry weight, and total biomass per seedling (Table 6). Data for abnormal seeds percentage revealed no differences between species and treatments, with a low occurrence of abnormal seeds for both pepper species, with mean values of 11.8% for *C. frutescens* and 13.8% for *C. annuum*.

Table 3 Effect of water potential treatments induced with PEG- 8000 on growth seedling, hypocotyls length, root length and root:shoot length. Data are de mean \pm SE (8,522 d.f.). Data from ten replicates of three plants per experimental unit of each treatment; differences between water potential treatments were obtained by Fisher LSD test.

Treatment Water Potential Ψ (MPa)	Hypocotyl length (cm)		Root length (cm)		Ratio shoot : root length (cm)	
	<i>C. frutescens</i>	<i>C. annuum</i>	<i>C. frutescens</i>	<i>C. annuum</i>	<i>C. frutescens</i>	<i>C. annuum</i>
0.0	1.23 \pm 0.04 ^{fgh}	0.98 \pm 0.04 ^{ab}	2.8 \pm 0.08 ^{coe}	3.6 \pm 0.19 ^{ig}	0.43 \pm 0.07 ^{de}	0.28 \pm 0.08 ^{ab}
-0.4	1.39 \pm 0.05 ⁱ	1.20 \pm 0.04 ^{defgh}	3.0 \pm 0.11 ^{de}	4.8 \pm 0.16 ^j	0.47 \pm 0.01 ^{ef}	0.25 \pm 0.05 ^{ab}
-0.8	1.05 \pm 0.08 ^{abc}	0.99 \pm 0.06 ^{ab}	2.6 \pm 0.23 ^{bcd}	5.0 \pm 0.21 ^j	0.42 \pm 0.09 ^{de}	0.20 \pm 0.07 ^a
-1.2	1.21 \pm 0.04 ^{efgh}	1.20 \pm 0.04 ^{defghi}	2.0 \pm 0.18 ^a	5.0 \pm 0.20 ^j	0.80 \pm 0.05 ^g	0.25 \pm 0.07 ^{ab}
-1.6	1.33 \pm 0.04 ^{hi}	1.28 \pm 0.03 ⁱ	3.2 \pm 0.15 ^{ef}	5.0 \pm 0.22 ^j	0.44 \pm 0.15 ^{de}	0.26 \pm 0.08 ^{ab}
-2.0	1.08 \pm 0.04 ^{bcde}	1.39 \pm 0.05 ^{ghi}	2.3 \pm 0.11 ^{ab}	3.8 \pm 0.11 ^{gh}	0.50 \pm 0.17 ^{ef}	0.37 \pm 0.11 ^{cd}
-2.4	1.12 \pm 0.07 ^{bcdef}	1.28 \pm 0.05 ^a	2.4 \pm 0.16 ^{abc}	4.2 \pm 0.16 ^{hi}	0.48 \pm 0.16 ^{ef}	0.32 \pm 0.10 ^{bc}
-2.8	1.20 \pm 0.04 ^{defghi}	0.91 \pm 0.04 ^{bcd}	2.4 \pm 0.15 ^{abc}	4.1 \pm 0.15 ^{hi}	0.53 \pm 0.13 ^f	0.22 \pm 0.05 ^a
-3.2	1.06 \pm 0.03 ^{bcd}	1.15 \pm 0.04 ^{cdefg}	2.2 \pm 0.10 ^{ab}	4.6 \pm 0.10 ^{ij}	0.49 \pm 0.10 ^{ef}	0.26 \pm 0.07 ^{ab}

Means followed by different letters in a column are significantly different ($P < 0.01$).

Table 4. Means of total fresh and dry weight of two pepper species ($n = 3$), without differences among water potential (Ψ) treatments ($P \geq 0.05$).

Treatment Water Potential Ψ (MPa)	Total fresh weight (g)		Total dry weight (g)	
	<i>C. frutescens</i>	<i>C. annuum</i>	<i>C. frutescens</i>	<i>C. annuum</i>
0.0	0.23	0.50	0.025	0.056
-0.4	0.22	0.51	0.025	0.056
-0.8	0.17	0.52	0.021	0.055
-1.2	0.20	0.53	0.024	0.056
-1.6	0.22	0.52	0.025	0.057
-2.0	0.18	0.53	0.023	0.057
-2.4	0.20	0.53	0.022	0.054
-2.8	0.19	0.52	0.023	0.054
-3.2	0.16	0.53	0.022	0.054

Table 5. Means of fresh and dry biomass per plant of two pepper species without differences among water potential (Ψ) treatments ($P = 0.05$) ($n = 3$).

Water Potential Ψ (MPa)	Fresh biomass (g plant ⁻¹)		Dry biomass weight (g plant ⁻¹)	
	<i>C. frutescens</i>	<i>C. annuum</i>	<i>C. frutescens</i>	<i>C. annuum</i>
0.0	0.0116	0.028	0.00128	0.0028
-0.4	0.0112	0.025	0.00129	0.0028
-0.8	0.0086	0.026	0.00107	0.0027
-1.2	0.0103	0.026	0.00120	0.0028
-1.6	0.0114	0.026	0.00120	0.0028
-2.0	0.0093	0.026	0.00115	0.0028
-2.4	0.0102	0.026	0.00112	0.0027
-2.8	0.0097	0.026	0.00115	0.0027
-3.2	0.0081	0.026	0.00113	0.0027

Table 6. Means and differences amongst water potential treatments obtained by Fisher LSD test in total fresh weight, dry weight, fresh biomass per plant, and dry biomass per plant observed between two pepper species. Data are the mean \pm SE (1,52 d.f.).

Species	Total fresh weight (g)	Total dry weight (g)	Fresh biomass (g plant)	Dry biomass (g plant)
<i>C. frutescens</i>	0.202 \pm 0.006 ^b	0.023 \pm 0.0005 ^b	0.00119 \pm 0.0003 ^b	0.00119 \pm 0.00002 ^b
<i>C. annuum</i>	0.532 \pm 0.007 ^a	0.056 \pm 0.0006 ^a	0.00280 \pm 0.0003 ^a	0.00121 \pm 0.00003 ^a

Means followed by different letters in a column are significantly ($P < 0.05$).

5.5 Discussion

When evaluating wild peppers, the requirements for germination are considered as an adaptive valuable trait (Hernández-Verdugo *et al.* 1998). Commonly wild pepper seeds need auxiliary chemicals and special light conditions to germinate, the reason is because many wild species present dark dormancy (Ramírez-Meraz *et al.* 2002; Hernández-Verdugo 1998).

The 'semi-domesticated' *C. frutescens* did not need an auxiliary chemical treatment to promote seed germination. Usually, seeds of *C. frutescens* have been exposed to cultural practices by rural house keepers in their gardens, but not in commercial production; this suggests that adaptation of *C. frutescens* has been slow but subjected to a constant empirical breeding, with positive effects on its germination capability and by partially breaking the dormancy needs.

In comparison to *C. frutescens* seeds, *C. annuum* showed the greatest germination percentage, a common property of cultivated species. As Ladizinsky (1985) mentioned, one of the physiological traits modified by domestication by seed propagation is the seed dormancy period; this widely explains why semi-domesticated seeds of *C. frutescens* rendered a lower percentage of germination than the breed seeds of cultivated *C. annuum*.

Ψ treatments based on applied by using PEG-8000 as a water deficit simulator did not cause any significant effect on final germination percentage in either

species, Table 2 shows that Ψ effects on *C. frutescens* germination percentage differ from similar studies carried out in winter wheat and tomato genotypes by Main and Nafziger (1994) and Cheng and Bradford (1999). They found that decreasing Ψ reduce final germination. Some of the reasons are explained by the drought tolerance mechanisms in *C. frutescens* plants. In this sense, Santos-Díaz and Ochoa-Alejo (1994) successfully screened drought-tolerant pepper cell clones, using PEG as a drought simulator. They applied lower osmotic potentials in PEG-tolerant clones in comparison with non-tolerant cells, and suggested that osmotic adjustment is involved in the tolerance to PEG. According to other previous studies, an apparent osmotic adjustment mechanism in *C. frutescens* was observed under drought treatment maintaining partial turgor pressure at low water potentials (Nieto-Garibay 2001).

Results suggest that Ψ did not cause any effect on final germination, but it affect the rate of germination, half time germination (T_{50}), and mean germination time (MGT). Apparently, PEG-8000 has a priming action on both *Capsicum* species seeds in values of some Ψ treatments, for *C. annuum* this action was evident for treatments from -0.4 to -2.4 MPa, for *C. frutescens* priming action was evident only for -0.4, -1.2 and -1.6 MPa treatments. Similar results were found when PEG was used as a drought inducing solution to improve germination time. Sánchez *et al.* (1999) observed that bell pepper seeds enhanced their germination percentage and required time at -0.60 and -0.81 MPa, but germination percentage decreased at -1.21 MPa and -1.71 MPa. These

treatments also caused increases in the length of the time period required for germination.

C. frutescens had a shorter MGT than *C. annuum* when seeds were exposed to the lowest Ψ values, suggesting an improvement in germination time for these seeds, a trait useful for searching for drought tolerance characteristics in the semi-domesticated hot pepper. Results of T_{50} confirmed the MGT trend; in this sense, *C. frutescens* showed T_{50} values below *C. annuum* even when T_{50} was increased by low Ψ treatments for both pepper species. Hypocotyl and radicle length and also fresh and dry weights were highly responsive to Ψ treatments in both species.

C. frutescens showed differences in hypocotyl growth in response to Ψ treatments, with larger growth in the high Ψ treatments; however, effects were less evident in radicle length among treatments, suggesting that this variable is less affected by low Ψ values. Because the shoot:root ratio is regularly used as a criterion for evaluating the response to increasing salinities (Murillo-Amador *et al.* 2001), we also used the shoot:root dry weight ratio as a water deficit tolerance criterion (Kramer 1983). The values for this ratio in *C. frutescens* showed no differences between treatments, confirming earlier studies that low Ψ did not have a negative effect on growth of the radicle, indicating tolerance by this species (Murillo-Amador *et al.* 2001).

C. annuum showed positive radicle growth under the highest values of Ψ , which affected hypocotyl growth, which was retarded by similar Ψ treatments. We found significant differences between species, with *C. annuum* having the highest fresh and dry weight production a common characteristic of a domesticated condition.

5.6 Conclusions

We confirmed that the Ψ threshold where germination tends to be blocked is the operational way that the germination capacity is defined and quantified; in this case, the value of the threshold also determines the speed of germination for *Capsicum* spp. seeds at any Ψ including pure water. The observed responses could be considered as a stress adaptation by a plant mechanism to reduce radicle growing rate to adapt to stress in order to maintain plant growth. *C. annuum* showed its domesticated condition in seedling traits, with fresh and dry weights having the highest values. As Hernández-Verdugo (1998) stated about the modification of morphological characteristics in wild species, selection of plants for some properties, such as fruit and plant size, *C. frutescens* seems to have adaptive characteristics for low Ψ in the germination stage. This is an important consideration for future genetic studies. Promotion of studies to assay and evaluate physiological tolerance to arid region environmental stresses has potential as alternative crops for sustainable agriculture. *C. frutescens* was found to be a possible genetic tolerance to low Ψ at the germination and seedling stages.

5.7 References

- Al-Mudari MA, Jutzi SC (1999). The Influence of fertilizer-based seed priming treatments on emergent and seedling growth of *Sorghum bicolor* and *Pennisetum glaucum* in pot trials under greenhouse conditions. *Journal of Agronomy & Crop Science* **182**, 135-141.
- Chartzoulakis K, Klapaki G (2000). Response of two greenhouse pepper hybrids to NaCl salinity during different growth stages. *Scientia Horticulturae* **86**, 247-260.
- Cheng Z, Bradford J (1999). Hydrothermal time analysis of tomato seed germination responses to priming treatments. *Journal of Experimental Botany* **50**, 89-99.
- Emmerich WE, Hardegree SP (1991). Seed germination in polyethylene glycol solution: Effects of filter paper exclusion and water vapor loss. *Crop Science* **31**, 454-458.
- Finch-Savage WE, Phelps K, Steckel JRA, Whalley WR, Rowse HR (2001). Seed reserve-dependent growth responses to temperature and water potential in carrot (*Daucus carota* L.) *Journal of Experimental Botany* **52**, 2187-2197.
- Hacisalihoglu G, Taylor AG, Paine DH, Hilderbrand MB, Khan AA (1999). Embryo elongation and germination rates as sensitive indicators of lettuce seed quality: Priming and aging studies. *HortScience* **34**, 1240-1243.

- Hernández-Verdugo S, Aranda PD, Oyama K (1999). Síntesis del conocimiento taxonómico, origen y domesticación del género *Capsicum*. Boletín de la Sociedad Botánica de México **64**, 65-84.
- Hernández-Verdugo S, Guevara-González RG, Rivera-Bustamante RF, Vázquez-Yañez C, Oyama K (1998). Los parientes silvestres del chile (*Capsicum* spp) como recursos genéticos. Boletín de la Sociedad Botánica de México **62**, 171-181.
- Hernandez-Verdugo S, Oyama K, Vazquez-Yanes C (2001). Differentiation in seed germination among populations of *Capsicum annuum* along a latitudinal gradient in Mexico. *Plant Ecology* **155**, 245-257.
- ISTA (International Seed Testing Association) (1985). International rules for seed testing. *Seed Science and Technology* **13**, 299-335.
- Kramer JP (1983). *Water relations of plants*. Academic Press, Inc.
- Ladinszky G (1985). Founder effect in crop-plant evolution. *Economy Botany* **39**, 191-199.
- Lanteri S, Acquardo A, Quagliotti L, Portis E. (2003). RAPD and AFLP assesment of genetic variation in a landrace of pepper (*Capsicum annuum* L.), grown in North-West Italy. *Genetic Resources Crop Evolution* **50**, 723-735.
- Maguire JD (1962). Speed of germination- aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *Crop Science* **2**, 176-177.
- Main MAR, Nafziger ED (1994). Seed size and water potential effects on germination and seedling growth of winter weath. *Crop Science*. **34**, 169-171.

- Michel BE (1983). Evaluation of water potential of solutions of polyethylene glycol 8000 both in the absence and presence of other solutes. *Plant Physiology* **72**, 76-70.
- Michel BE, Wiggins OK, Outlaw Jr. WH (1983). A guide to establishing water potential of aqueous two-phase solutions (polyethylen glycol plus dextran) by amendment with mannitol. *Plant Physiology* **72**, 60-65.
- Murillo-Amador B, Troyo-Diéguez E, López-Cortés A, Jones HG, Ayala-Chairez F, Tinoco-Ojanguren CL (2001). Salt tolerance of cowpea genotypes in the emergence stage. *Australian Journal of Experimental Agriculture* **41**, 81-88.
- Nieto-Garibay A, Murillo-Amador B, Troyo-Diéguez E (2001). Evaluación de variables ecofisiológicas en plantas de ají (*Capsicum frutescens*) bajo tratamientos de composta y fertilizante químico *PHYTON, International Journal of Experimental Botany* **2001**, 25-34
- Nieto-Garibay A (1999). Características Generales del Noroeste de México. In: Ticul A.S. and Patton J.L. (eds), *Los Mamíferos del Noroeste de México*. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, La Paz, Baja California Sur, Mexico, pp. 14-28.
- Picó B, Nuez F (2000). Minor crops of Mesoamérica in early resources (I). Leafy vegetables. *Genetic Resources and Crop Evolution* **47**, 527-540.
- Portis E, Acquadro A, Comino C, Lanteri S (2004). Effect of farmers' seed selection on genetic variation of a landrace population of pepper (*Capsicum annuum* L.), grown in North-West Italy. *Genetic Resources and Crop Evolution* **51**, 581-590.

- Ramírez-Meraz M, Pozo OC Rodríguez del Bosque LA, Medina TMH, Villalón M (2002). Production technology for piquin pepper (*Capsicum annuum* var. arivulare). Proceedings of the 16th International Pepper Conference, Tampico, Tamaulipas, Mexico, pp. 12-13.
- Sánchez JA, Calvo E, Muñoz BC, Orta R (1999). Comparación de dos técnicas de acondicionamiento de semillas y sus efectos en la conducta germinativa del tomate, pimiento y pepino. *Cultivos Tropicales* **20**, 51-56.
- Santos-Díaz MS, Ochoa-Alejo N (1994). PEG-tolerant cell clones of chili pepper: growth, osmotic potentials and solute accumulation. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture* **37**, 1-8.
- Trawatha SE, Steiner JJ, Bradford KJ (1990). Laboratory vigor tests used to predict pepper seedling field emergence performance. *Crop Science* **30**, 713-717.
- Var der Weele MC, Spollen WG, Sharp RE, Baskin TI (2000). Growth of *Arabidopsis thaliana* seedling under water deficit studied by control of water potential in nutrient-agar media. *Journal of Experimental Botany* **51**, 1555-1562.
- Zar JH (1999). *Biostatistical Analysis*. 4rd Ed. Prentice Hall.
- Zgallai H, Steppe K, Lemeur R (2005) Photosynthetic, physiological and biochemical responses of tomato plants to Polyethylene glycol-induced water stress. *Journal of Integrative Plant Biology* **47**, 1470-1478

Respuestas de adaptación al estrés hídrico edáfico durante la emergencia y el desarrollo de plántula en una especie semidomesticada de chile *Capsicum frutescens* L. y una comercial *Capsicum annuum* L.

6.1 RESUMEN

Se estudió la germinación y el desarrollo de plántulas en una especie semidomesticada de chile (*C. frutescens*) como cultivo familiar y de pequeña escala con características de tolerancia a la sequía y se comparó con una variedad cultivada de chile (*C. annuum*), una de las más cultivadas en la región noroeste de México. Se utilizó un diseño experimental de completamente al azar en las que los tratamientos fueron dos especies de chile expuestas a cinco tratamientos de déficit hídrico. Los resultados muestran una menor tasa de emergencia y menor porcentaje total de la misma para la especie semidomesticada y una diferencia de siete días para emerger con respecto a la especie comercial. Los tratamientos de déficit hídrico no afectaron el desarrollo de la especie de chile semidomesticada (*C. frutescens*), ya que no se afectó la longitud de raíz, la longitud de la parte aérea y la producción de biomasa seca por planta; en contraste, para *C. annuum* el tratamiento más severo de estrés hídrico disminuyó significativamente su tamaño y también redujo la producción de biomasa, por lo que la especie comercial domesticada mostró mayor vulnerabilidad al déficit hídrico.

6. CAPITULO 2

Respuestas de adaptación al estrés hídrico edáfico durante la emergencia y el desarrollo de plántula en una especie semidomesticada de chile *Capsicum frutescens* L. y una comercial *Capsicum annuum* L.

Palabras clave: *Capsicum frutescens*, especie semidomesticada, *C. annuum*, tolerancia, estrés hídrico

SUMMARY

In this work, the emergence and seedling stage of a semi-domesticated hot pepper cultivar (*C. frutescens*), as a family-plot cultivated crop with attributes of drought tolerance adapted to the environmental conditions typical of arid zones, was studied and compared with a commercial variety of green pepper (*C. annuum*), one of the most cultivated crops in northern Mexico. An experimental design was carried out with both pepper species, under five treatments of water deficit. Results show a lower rate of emergence, a lower emergence percentage for the semi-domesticated species, and also a difference of 7 days to emerge as compared to the commercial species (*C. annuum*). Water deficit did not evidence effects on the development of the semi-domesticated hot pepper. Root length, height, and dry biomass production per plant were not influenced by the treatments of water deficit, for both species. In contrast, the commercial species *C. annuum* evidenced a reduction in height and dry biomass production under the most stressing treatment of water deficit, showing a higher vulnerability to water deficit.

Key words: *Capsicum frutescens*, semi-domesticated species, *C. annuum*, tolerance, water stress

6.2 INTRODUCCIÓN

El estrés hídrico en las zonas áridas y semiáridas es uno de los principales factores del ambiente que afecta a las plantas durante los diferentes estadios de su crecimiento y desarrollo (Fischer y Turner, 1975). Las estrategias que las plantas utilizan para enfrentar la falta de agua pueden ser de tipo bioquímico, fisiológico y morfológico-mecánico (Turner y Jones, 1980; Lambers *et al.*, 1998). Uno de los factores involucrados en su supervivencia es la información genética contenida en la misma planta (Hawkesford, 2001). Las plantas silvestres o expuestas a un proceso de domesticación empírico por los habitantes de las comunidades rurales, que se encuentran en el proceso inicial del proceso de domesticación (semi-domesticación), se han adaptado a regiones donde la escasez de agua es uno de los principales factores que limitan la productividad. Constituyen una reserva de genes que puede contribuir al mejoramiento de especies domesticadas que se cultivan en ambientes áridos y semiáridos y a reducir su vulnerabilidad a los tipos de estrés que prevalecen en ambientes secos (Hernández-Verdugo *et al.*, 2001; Portis *et al.*, 2004). La capacidad de adaptación a ambientes extremos, particularmente a la sequía, ha sido ampliamente estudiada en chile (*Capsicum*) (Santos-Díaz y Ochoa-Alejo, 1994; Chartzoulakis y Klapaki, 2000). En el noroeste de México, el chile verde o ancho (*Capsicum annuum*) es un cultivo hortícola importante que requiere de un uso intenso de agroquímicos, principalmente de plaguicidas. Los tipos de chile que se cultivan en Baja California Sur pertenecen a la especie *C. annuum*, incluyendo las variedades de tipo 'Serrano', 'California', 'Ancho' y 'Pimientos'. De

manera similar como sucede con otras especies cultivadas en Baja California Sur, el cultivo de chile se lleva a cabo bajo condiciones de precipitación pluvial escasa, la cual oscila entre 100 y 200 mm de lluvia con una evapotranspiración media anual de 2000 mm y temperaturas de 35 a 40 °C durante el verano y aun a fines de primavera (Murillo-Amador *et al.*, 2001; Nieto-Garibay *et al.*, 2002). Representa una fuente importante de ingresos a los productores agrícolas cerca de 9.5% de la producción total y el 16% dentro de las hortalizas, siendo el cultivo más redituable dentro de los cultivos hortícolas junto con el tomate (SAGARPA, 2005). En Baja California Sur existe otra especie de chile, *C. frutescens*, cuyas variedades comerciales son 'Tabasco' y 'Cayene', a las cuales localmente se les conoce como chile 'Chiltepín' o 'Caribeño'. Dicha especie ha sido manejada como cultivo en huerto familiar, sin explotarse como cultivo extensivo. En estudios anteriores Nieto-Garibay *et al.* (2001) reportó que dicha especie presenta tolerancia a la sequía. Sin embargo, escasos son los estudios que se han realizado durante las etapas críticas de su desarrollo como es la emergencia con el fin de conocer si la tolerancia a la sequía que presenta esta variedad semi-domesticada se expresa desde los estadios tempranos de su desarrollo, estadios que son considerados como los más sensibles para el desarrollo de la mayoría de las plantas cultivadas y silvestres (Smith *et al.*, 1997). El objetivo de este trabajo fue conocer el potencial de emergencia de plántulas de *C. frutescens* y *C. annuum* bajo diferentes intervalos de riego, exponiéndolas a un gradiente de déficit hídrico durante las primeras etapas de su desarrollo, con el fin de probar la hipótesis de que la variedad semidomesticada *C. frutescens* presenta una mayor tolerancia al estrés hídrico en los estadios iniciales de su

desarrollo que la variedad cultivada, debido a que su reservorio genético tiene mayor capacidad de adaptación a la sequía,

6.3 MATERIALES Y MÉTODOS

6.3.1 *Sitio de estudio*

El estudio se realizó en las instalaciones del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR) ubicado se localiza en la porción meridional de la Península de Baja California, en las coordenadas 24°08' latitud Norte y 110°24' longitud Oeste, a 17 Km. al oeste de la Cd. de La Paz, en el extremo sur occidental de la Bahía de La Paz B.C.S., México. La temperatura promedio anual oscila entre los 22 y 23°C. Su clima se clasifica según García (1981) de tipo Bw(h') hw(e), muy seco, muy cálido y extremo. La precipitación media anual va de 100 a 250 mm y la evaporación media anual oscila de 1,758 a 2,472 mm.

6.3.2 *Obtención de semillas*

Las semillas fueron obtenidas de plantas-progenitoras colectadas en huertos traspatio de casas en la población de El Centenario Baja California Sur, a 4 km. al sur del CIBNOR. Las semillas se sembraron para obtener nuevas semillas; dicho proceso se ha realizado continuamente durante los últimos 10 años a la fecha. En el caso de *C. annuum* se utilizaron semillas comerciales de chile tipo

California variedad Joe Parker ('FAX', lote MVF-CT-02, con 85% de germinación), la cual es ampliamente cultivada como hortaliza importante en el noroeste de México.

6.3.3 *Diseño experimental y obtención de plántulas*

El experimento se llevó a cabo usando un diseño completamente al azar con arreglo factorial, definiendo como sujetos de estudio dos especies de chile *C. frutescens* y *C. annuum*, sometidas a cinco niveles de déficit hídrico, inducidos por diferencias entre los tiempos de riego, con cuatro repeticiones por tratamiento, empleando 10 semillas por repetición. Las semillas se sembraron en placas de germinación de plástico negras de 50 cavidades. Se utilizó un sustrato orgánico comercial inerte (Sunshine 3 mix) previamente saturado con agua corriente (pH, 7.4) para la siembra de las semillas. Las placas germinadoras se mantuvieron en cámara de crecimiento con fotoperíodo de luz/ oscuridad de 12h/12h, con una temperatura promedio de 29°C y temperaturas máximas de 30°C y mínimas de 24°C y humedad relativa promedio de 56%.

6.3.4 *Establecimiento experimental y aplicación de tratamientos*

Para establecer los tratamientos de estrés hídrico se usaron cinco intervalos de riego con base a días de riego: (a) riego cada 3 días (control), (b) 8 días, (c) 12 días, (d) 18 días y (e) 26 días. Las semillas de chile tipo *C. frutescens* empleadas se obtuvieron de plantas sembradas en parcelas de experimentación

en el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR), establecido en La Paz B.C.S., México.

6.3.5 Variables medidas

Una vez que fueron sembradas las semillas de ambas especies, se registraron las siguientes variables: 1) tasa de emergencia, la cual se registró con el conteo diario de plántulas emergidas (Maguire, 1962); 2) cálculo de la emergencia como el porcentaje absoluto, considerando el total de número de semillas incluídas desde el inicio del experimento en cada tratamiento; 3) longitud de tallo y raíz; 4) pesos fresco y seco de tallo y raíz, para lo cual se colectaron muestras de las plántulas germinadas al finalizar el conteo de semillas germinadas para ser secadas en un horno de flujo laminar a 70°C, hasta que estas no mostraron cambios en su peso en una balanza analítica (Mettler Toledo, modelo AG204).

6.3.6 Análisis estadísticos

Los datos de emergencia fueron transformados empleando los ajustes numéricos correspondientes, mediante la conversión a arc sen ($\% \text{ germinación} \wedge 0.5$), según el método propuesto por Steel y Torrie (1985). Se aplicaron ANDEVA bifactorial con la finalidad de detectar las diferencias entre las medias de los tratamientos de déficit hídrico y especies de Chile. Posteriormente a la prueba de relación de varianzas de Fisher se realizó la comparación de medias LSD ($P <$

0.05) para determinar las diferencias estadísticas entre grupos (Steel y Torrie, 1985); se utilizó el programa STATISTICA ver 6.0, con licencia institucional.

6.4 RESULTADOS Y DISCUSION

6.4.1 Tasa de emergencia, porcentaje de emergencia y emergencia acumulada

No se encontraron diferencias significativas entre tratamientos de la tasa de emergencia, porcentaje de emergencia y emergencia acumulada en ninguna de las dos especies de Chile. Sin embargo, los resultados mostraron una clara diferencia tanto en el porcentaje de emergencia y tasa de emergencia (Fig. 1a, 1b) como en la emergencia acumulada (Fig. 2 a-e) entre las especies *C. frutescens* y *C. annuum*. La especie de Chile cultivada *C. annuum* mostró los valores mayores en las tres variables medidas con respecto a *C. frutescens* (semidomesticada). La tasa de emergencia de las semillas fue cuatro veces mayor en *C. annuum* que en *C. frutescens* (Figura 1a). La emergencia acumulada mostró una diferencia en tiempo de siete días en la emergencia con respecto a *C. annuum*, iniciando su emergencia a los 14 días después de la fecha de siembra, logrando el valor mayor de emergencia a los 29 días (Figura 2a-e). En *C. annuum* se registró la emergencia a los cinco días y alcanzó su máximo valor a los siete días (Figura 2a-e). *C. frutescens* mostró un bajo porcentaje de emergencia (30%) a diferencia de las especies silvestres del género *Capsicum*, *C. frutescens* no presentó la condición de latencia a la

oscuridad (Hernández-Verdugo *et al*, 2001, 1998) (Figura 1b). La pérdida de latencia para lograr la germinación y emergencia es común en especies que se encuentra en un grado intermedio de domesticación (semidomesticación). Esta condición se debe al manejo rústico que se realiza en algunas especies vegetales a pequeña escala (Heywood, 1999) y que se esperaría afectara en cierto grado la expresión del mecanismo de latencia, como parte del proceso de evolución bajo domesticación (Harlan, 1983; Ladizinsky, 1985).

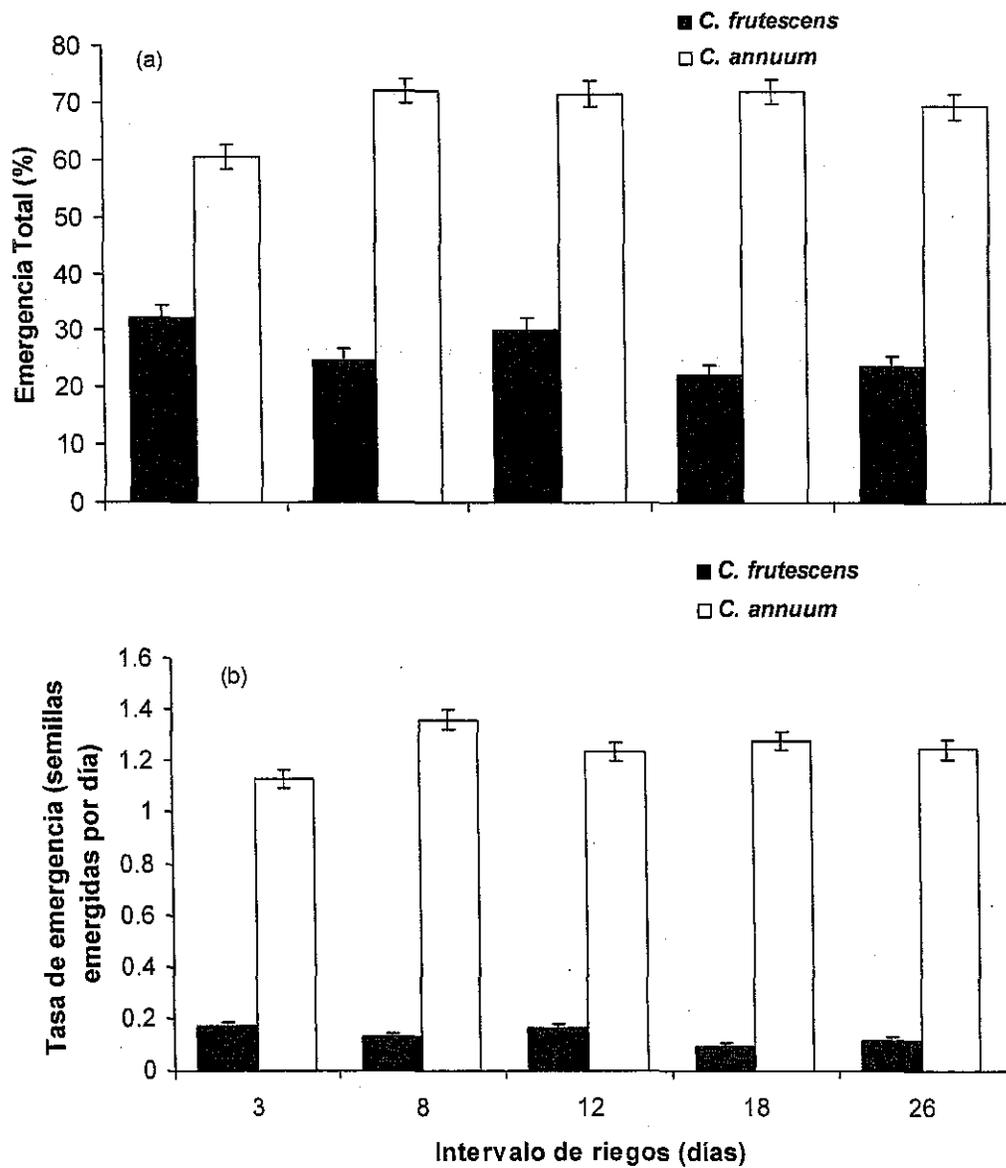


Figura 1. Tasa de emergencia (a) y porcentaje total de emergencia (b) de las especies de chile *C. frutescens* y *C. annuum* bajo tratamientos de déficit hídrico y días de riego. Cada punto representa el promedio de 4 repeticiones (10 semillas por repetición) \pm error estándar.

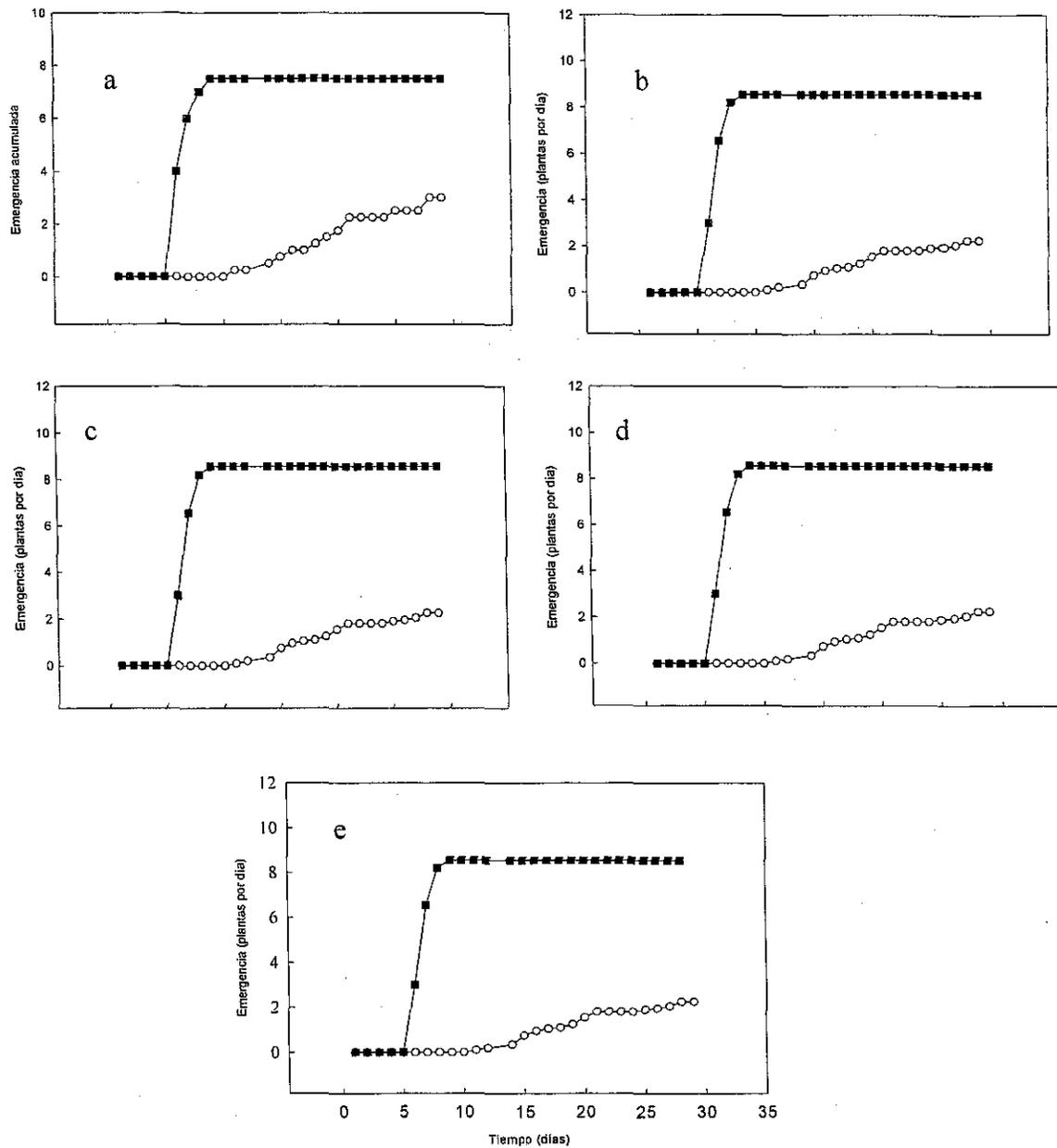


Figura 2. Emergencia acumulada de *C. annuum* (-■-) y *C. frutescens* (-o-) para tratamientos de déficit hídrico en intervalos de riego de 3 días (a), 8 días (b), 12 días (c), 18 días (d) y 26 días (e). Los puntos representan el promedio de 4 repeticiones (10 semillas por repetición) ± error estándar

6.4.2 Desarrollo de plántulas

El análisis de los resultados de la longitud de la parte aérea de la planta y la longitud de raíz no mostró diferencias significativas entre los tratamientos de estrés hídrico de la especie semidomesticada (*C. frutescens*) (Figura 3 a,b). Lo anterior obedece a que las condiciones de aridez en las que se desarrolla *C. frutescens* desde el inicio de su manejo en ambiente de huerto traspatio han conducido a que esta especie tenga menor requerimiento hídrico durante su cultivo en comparación con especies de chile cultivadas, como lo es el caso de *C. annuum*, lo cual se considera como un carácter de valor adaptativo (Olf *et al.* 1994; Meyer *et al.*, 1995). En *C. annuum* el crecimiento pareció estimularse en los tratamientos con intervalos de riego de 8, 12 y 18 días, Whalley (*et al.*, 2001) menciona al respecto que esta respuesta de crecimiento parece responder a un estado de latencia que se induce al presentarse bajos potenciales de agua en el suelo en donde una vez que se hidrata nuevamente se interrumpe dicho estado estimulando su crecimiento, hasta un período umbral crítico de 26 días (tratamiento de estrés hídrico más severo), momento a partir del cual la plántula ya no crece. En cuanto al crecimiento entre especies, *C. annuum* mostró su condición de planta domesticada, lo cual se expresa a través de un mayor crecimiento que *C. frutescens*, característica que durante el proceso de domesticación se busca en las plantas por interés comercial. Los resultados obtenidos de la biomasa seca producida por planta tanto de la parte aérea de la planta como de la raíz para ambas especies confirmaron lo encontrado en las variables de crecimiento. La Figura 4a muestra claramente la relación existente

entre la producción de biomasa seca de la parte aérea y los tratamientos en *C. annuum* donde la biomasa se incrementa en los tratamientos de 8, 12 y 18 días para disminuir con el tratamiento más severo, mientras que para *C. frutescens* no se presenta una relación significativa de biomasa seca de la parte aérea entre tratamientos. En el caso de la producción de biomasa seca de raíz, *C. frutescens* tiende a aumentar conforme el estrés hídrico mientras que *C. annuum* disminuye (Figura 4b). La especie cultivada presentó la mayor producción de biomasa en la parte aérea y raíz con respecto a *C. frutescens*. Dentro de los indicadores de la resistencia a la sequía, las proporciones entre la longitud de la parte aérea de la planta con respecto a su raíz, así como la producción de biomasa de ambas partes de la planta son uno de los indicadores más utilizados (Murillo-Amador *et al.*, 2001; Kramer, 1989; y Dhanda *et al.*, 2004). Analizando dichas proporciones para ambas especies de Chile y el efecto de los tratamientos de estrés hídrico se encontró que *C. frutescens* presentó una mayor longitud de su raíz con respecto a su parte aérea independientemente del tratamiento de estrés hídrico, tendencia opuesta a la observada en *C. annuum*, la que presentó un mayor desarrollo de su parte aérea con respecto a su raíz (Figura 3c). Esta tendencia fue similar cuando se analizaron los datos de las proporciones de producción de biomasa seca por planta de raíz y parte aérea a través del análisis de regresión para modelos no lineales como se observa en la Figura 4c. Resultados similares han sido obtenidos en trigo (Dhanda *et al.*, 2004), cebolla (Whalley *et al.*, 2001) y Chile (De Pascale *et al.*, 2003), cuando estas especies se expusieron a estrés hídrico. El mayor desarrollo de la raíz con respecto a su parte aérea favorece que *C. frutescens* tenga una capacidad superior para explorar un mayor volumen

del suelo para extraer los recursos minerales nutrimentales y el agua disponibles, además, aumenta la eficiencia de la planta en el uso del agua, debido a que aumenta la superficie de absorción de agua y disminuye la transpiración. Aunado a la respuesta anterior, los mecanismos bioquímicos y fisiológicos como el ajuste osmótico pueden también contribuir a las estrategias que le permiten responder y adaptarse a las plantas a la sequía (Stephen y Siddique, 1994; Basnyake *et al.*, 1996).

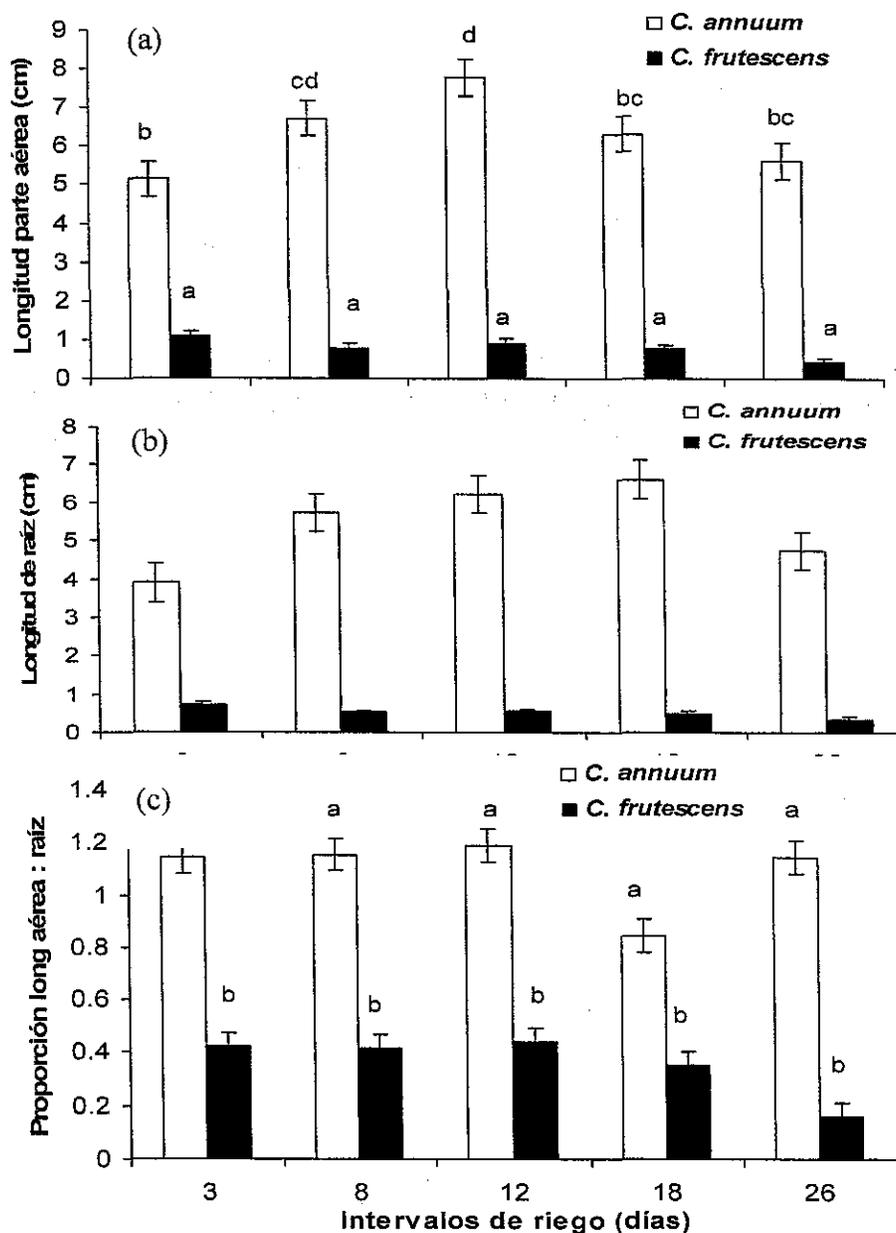


Figura 3. Resultados de la prueba para grupos homogéneos por tratamientos y especie de chile (Fisher LSD $p=0.05$) de la longitud de la parte aérea de la planta, longitud de raíz y la relación proporcional de ambas partes. Las mismas literales indican igualdad estadística. *C. frutescens* se indica con barras vacías y *C. annuum* con barras de líneas diagonales. Se presentan los promedios de 4 repeticiones (10 semillas por repetición) \pm error estándar.

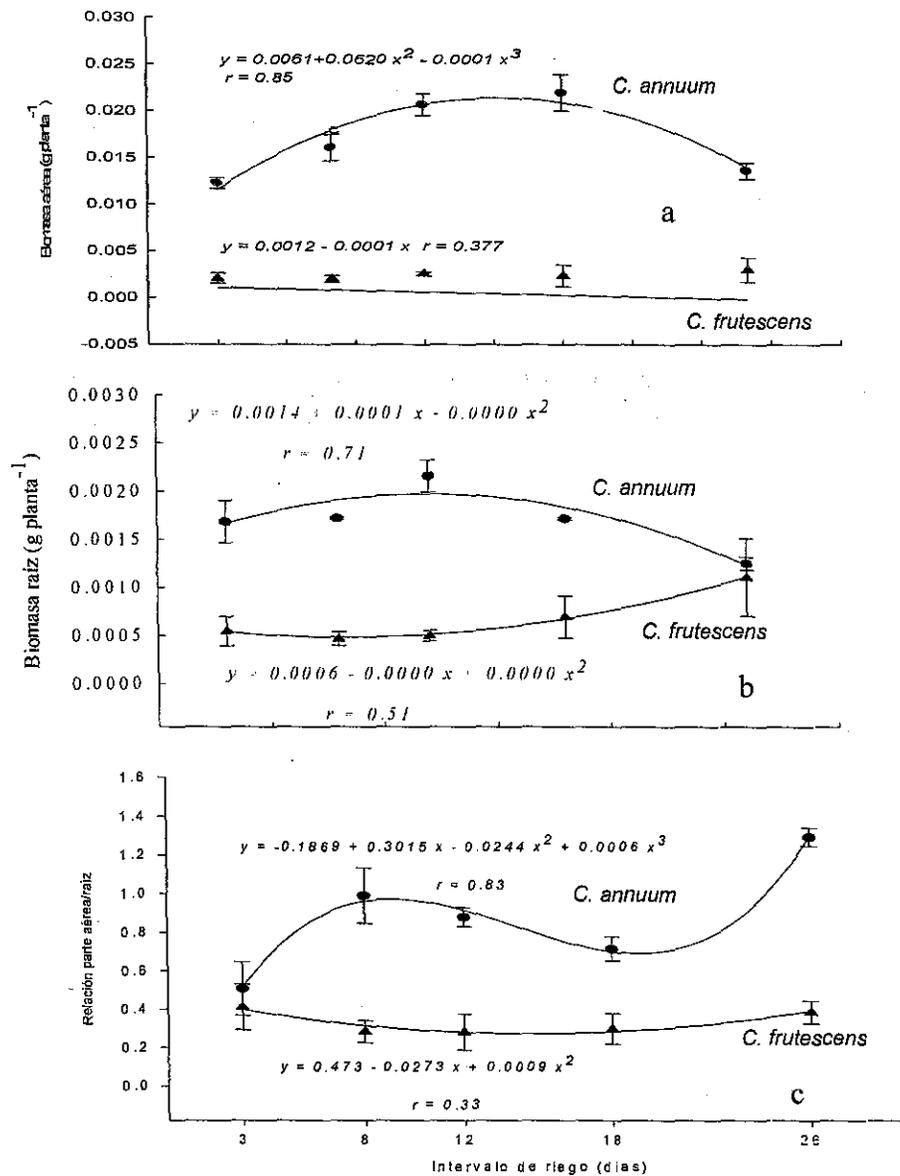


Figura 4. Relación entre tratamientos de déficit hídrico y la producción de biomasa seca por planta de la parte aérea, biomasa seca de la raíz por planta y la proporción de ambas partes. Se muestran los resultados de *C. annuum* (-◆-) y *C. frutescens* (-▲-). Los símbolos representan el promedio de 4 repeticiones (10 semillas por repetición) \pm error estándar.

6.5 CONCLUSIONES

C. frutescens presenta diferentes estrategias para desarrollarse en ambientes con estrés hídrico durante su etapa de emergencia. Dicha propiedad se debe a su variabilidad genética inherente a la especie por su condición semi-domesticada, lo cual como menciona Hernández-Verdugo *et al.* (1998), le permite a la planta una gama más amplia de respuestas, fisiológicas, bioquímicas y morfológicas para resistir y tolerar el estrés hídrico, en comparación con la especie domesticada, cultivada comercialmente. De aquí que se hace necesario profundizar en el conocimiento de especies que se encuentran en un estado semidomesticado y silvestre con el fin de conocer y aprovechar de una mejor manera la diversidad genética que nos ofrecen dichas especies. Con mayor importancia si se toma en cuenta que los países Latinoamericanos cuentan con una gran riqueza biológica y nativa susceptible de ser aprovechada.

6.6 LITERATURA CITADA

- Basnyake J; Cooper MR; Henzell G; Ludlow MM (1996) Influence of rate development of water deficit on the expression of maximum osmotic adjustment and desiccation tolerance in three sorghum lines. *Field Crop Res.* 49:65-76
- Chartzoulakis K y Lapaki GK (2000) Response of two greenhouse pepper hybrids to NaCl salinity during different growth stages. *Scientia Horticulturae* 86: 247-260.
- De Pascale RC; Barbieri G; Maggio A (2003) Physiological responses of pepper to salinity and drought. *Journal of American Society of Horticulture Science* 128 (1):48-54
- Dhanda SS; Sethi GS; Behl RK (2004) Indices of drought tolerance in wheat genotypes at early stages of plant growth. *J. Agronomy & Crop Science* 190:6-12.
- Fischer RA y Turner NC (1975) Plant productivity in the arid an semirarid zones. *Annu. Rev. Plant Phsysiol.* 29: 277-317.
- García E (1981) Modificaciones al sistema de clasificación climático de Köppen. 2ª. Edición. Instituto de Geografía UNAM. México. 246 pp.
- Harlan JR (1983) Directing the accelerated evolution of crops plants, pp. 61-69. *In: Strategies of Plant Reproduction.* Meudt, J. (eds). Ed. BARC Symposium 6. Allanhel, Osmun Publishers. Granada.
- Hawkesford MJ (2001) The molecular analysis on plant adaptation to the environment, pp. 1-15. *In: Molecular analysis of plant adaptations to the*

environment. M.J. Hawkesford; P. Buchner (eds). Ed. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht, Netherlands.

Hernández-Verdugo S; Oyama K; Vázquez-Yáñez C (2001) Differentiation in seed germination among populations of *Capsicum annuum* along a latitudinal gradient in Mexico. *Plant Ecology* 155 (2): 245-257.

Hernández-Verdugo S; Guevara-González RG; Rivera-Bustamante RF; Vázquez-Yáñez C; Oyama K (1998) Los parientes silvestres del Chile (*Capsicum* spp) como recursos genéticos. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 62: 171-181.

Heywood V (1999) Use and potential of wild plants in farm households. FAO.

Kramer JP (1983) Water relations of plants. Ed. Academic Press, Inc. 538 pp.

Ladinsky G (1985) Founder effect in crop-plant evolution. *Ec Bot* 39:191-99.

Lambers H; Chapin III FS; Pons TL (1998) Plant physiological ecology. Ed. Springer. New York.

Maguire JD (1962) Speed of germination- aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *Crop Science* 2: 176-177.

Maldonado C; Pujado E; Squeo FA (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.

Meyer SE; Kitchen SG; Carlos SL (1995) Seed germination timing patterns intermountain *Penstemon* (Schrophulariaceae). *American Journal of Botany* 82:377-3889.

- Murillo-Amador B; Troyo-Diéguez E; López-Cortés A; Jones HG; Ayala-Chairez F; Tinoco-Ojaguren C (2001) Salt tolerance of cowpea genotypes in the emergence stage. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 41: 81-88.
- Nieto-Garibay A; Murillo-Amador B; Troyo-Diéguez E (2001) Evaluación de variables ecofisiológicas en plantas de ají (*Capsicum frutescens*) bajo tratamientos de composta y fertilizante químico. *PHYTON, International Journal of Experimental Botany*. 2001:25-34.
- Nieto-Garibay A; Murillo-Amador B; Troyo-Diéguez E; Larrinaga-Mayoral JA; García-Hernández JL (2002) El uso de compostas como alternativa ecológica para la producción sostenible de chile (*Capsicum annuum* L.) en zonas áridas. *Interciencia* 27: 417-421
- Olf H; Pegtel DM; Van Groenendael JM; Bbakker JP (1994) Germination strategies during grassland succession. *Journal of Ecology* 82:69-77.
- Portis E; Acquadro A; Comino C; Lanteri S (2004) Effect of farmers' seed selection on genetic variation of a landrace population of pepper (*Capsicum annuum* L.), grown in North-West Italy. *Genetic Resources and Crop Evolution* 51: 581-590.
- SAGARPA (2005) Reporte mensual de avances de siembra y cosecha. Sistema de Información Agropecuaria y Pesquera. Año 2005. Delegación Estatal de Baja California Sur, México.
- Santos-Díaz MS; Ochoa-Alejo N (1994) PEG-tolerant cell clones of chili pepper: growth, osmotic potentials and solute accumulation. *Plant Cell, Tissue and Organ Cult* 37: 1-8.

- Smith SD; Monson RK; Anderson JE (1997) *Physiological Ecology of North American Desert Plants*. Ed. Springer-Verlag Heilderberg 286 p.
- Steel RGD; Torrie JH (1985) *Bioestadística principios y procedimientos*. 2da. Ed. McGraw Hill. Bogota, Colombia. 622 pp.
- Stephen PL; Siddique KHM (1994) Morphological and physiological traits associated with wheat yield increases in Mediterranean environments. *Adv Agron.* 46:229-276
- Turner NC; Jones MM (1980) Turgor Maintenance by Osmotic Adjustment: A Review and Evaluation. *In: Adaptation of plants to water and high temperature stress*. N.C. Turner & P.J. Kramer (eds) Australia.
- Whalley WR; Lipiec J; Finch-Savage WE; Cope RE; Clark LJ; Rowse HR (2001) Water stress can induce quiescence in newly-germinated onion (*Allium cepa* L.) seedlings. *Journal of Experimental Botany* 52(358):1129-113.

7. CAPITULO 3

Efecto del déficit hídrico edáfico sobre variables ecofisiológicas en plantas de chile semi-domesticado *C. frutescens* L. y domesticado *C. annuum* L.

Efecto del déficit hídrico edáfico sobre variables ecofisiológicas en plantas de chile semi-domesticado *C. frutescens* L. y domesticado *C. annuum* L.

7.1 Resumen

En el presente trabajo se realizó la evaluación ecofisiológica de una variedad domesticada de chile *C. annuum* y una especie semi-domesticada de *C. frutescens*. Para lo cual se establecieron plantas bajo déficit hídrico y plantas a capacidad de campo como grupo control de cada especie de chile. Los resultados mostraron que *C. frutescens* registró un peso seco de raíz mayor al de *C. annuum*, manteniendo un cierre parcial de estomas que en porcentajes severos de déficit hídrico edáfico dicha apertura es la suficiente para permitir una transpiración que le permita llevar a cabo sus funciones fisiológicas. Mientras que *C. annuum* disminuye su transpiración a severos déficit hídrico conforme cierra sus estomas.

Palabras clave: déficit hídrico, *C. frutescens*, *C. annuum*, ecofisiología

7.2 Introducción

El género *Capsicum* (Solaneceae) representa uno de los más importantes cultivos en el mundo, incluye 30 especies de las cuales *C. annuum* es una de las especies mayormente cultivada y por lo tanto de mayor importancia económica

tanto en México como en el mundo (Hernández-Verdugo *et al.*, 2001). La especie *C. annuum* está representada por una diversidad de chiles verdes y se cultivada en todo México incluyendo las zonas áridas y semi-áridas del Noroeste de México, a pesar de estar reportada como una especie sensible a la sequía (De Pascale *et al.*, 2003) su cultivo se relaciona con su importancia económica y cultural. La especie *C. frutescens* es otra de las especies de chile de importancia económica ya que a ella pertenecen los chiles tipo "Tabasco" y "Cayene" comercializados en todo el mundo; además de ser una de las principales especies de donde se extraen los capsaicinoides, metabolitos secundarios utilizados en la industria farmacéutica, cosmetológica y alimenticia (Salgado, 1989). En el Noroeste de México, específicamente el Estado de Baja California Sur, el cultivo de chile se lleva a cabo bajo condiciones de precipitación pluvial escasa, la cual oscila entre 100 y 200 mm de lluvia, una evapotranspiración media anual de 2000 mm y temperaturas de 35 a 40° C durante el verano manteniéndose hasta a finales de primavera (Murillo-Amador *et al.*, 2001; Nieto-Garibay *et al.*, 2002). En Baja California Sur, el cultivo de chile es el segundo cultivo más importante y redituable dentro de las hortalizas después del cultivo de jitomate y en el 2004, representó el 7.8 % de la superficie total sembrada y casi 39 % de la superficie total sembrada de hortalizas. Económicamente este cultivo obtiene un valor de la producción que representa el 9.47 % de la producción total y el 16 % dentro de las hortalizas (SAGARPA, 2005). Las principales variedades ('Serrano', 'California', 'Ancho' y 'Pimientos') pertenecen a la especie *C. annuum* de la que existen estudios acerca de las mejores

variedades y sus respuestas a ambientes áridos (Santos-Díaz y Ochoa-Alejo, 1994; Chartzoulakis y Lapaki, 2000). En Baja California Sur, se ha cultivado de generación en generación de manera rústica como huerto de traspatio, la especie de chile *C. frutescens*, misma que presenta características de adaptación a las condiciones ambientales de la región como son, poca demanda de agua, ciclos de vida más largos y producción sostenida. Esta especie no ha alcanzado una condición completa de domesticación debido a su bajo porcentaje de germinación, pero ha superado condiciones silvestres como el estado de latencia a la oscuridad en semillas (Hernández-Verdugo *et al.*, 2001; Harlan, 1983). Son escasos los trabajos que se han realizado con la especie *C. frutescens* y su adaptación a los ambientes áridos, por lo que son necesarios estudios ecofisiológicos que generen el conocimiento de las estrategias fisiológicas y morfológicas que las plantas de este cultivo presenta y su relación con los factores ambientales que caracterizan las zonas áridas. Por otro lado, *C. annuum* y *C. frutescens* son dos de las especies en nuestro país cuyo acervo genético es indispensable conservar y estudiar para su mejor aprovechamiento. Con base en lo anterior y con el objetivo de conocer las estrategias fisiológicas y morfológicas, así como su respuesta a ambientes áridos, en el presente trabajo se estudiaron las relaciones entre variables fisiológicas y microclimáticas de la variedad de chile 'California var. Joe Parker' de la especie *C. annuum* y una variedad semi-domesticada de *C. frutescens*.

7.3 Materiales y métodos

7.3.1 Sitio de estudio

El trabajo experimental se realizó en el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C. (CIBNOR), el cual forma parte de los terrenos costeros del Comitán, que se localizan en la porción meridional de la Península de Baja California, a 24°08' LN y 110°24' LO a 17 km al Oeste de la ciudad de La Paz, en el extremo sur occidental de la Bahía de La Paz B.C.S., México (Cruz, 1992). La Península de Baja California se ubica dentro de la franja limitada por los paralelos 19° y 31° Norte, donde se localizan los principales desiertos y zonas de mayor aridez en el mundo (Aguilera y Martínez, 1996). De acuerdo con Köppen, modificado por García (1981), el sitio presenta un clima tipo Bw (h') hw (e), muy seco, muy cálido y extremoso. La temperatura promedio anual oscila entre 22 y 23° C, con una temperatura media anual de 22.6° C. La temperatura media mensual más alta se presenta en el mes de julio y promedia alrededor de 28° C, las mínimas en enero oscilan entre 8 y 16° C. La precipitación es escasa, de 100 a 250 mm anuales. Durante la temporada lluviosa, septiembre es el mes con mayor precipitación (150 mm) y mayo el menos lluvioso (1 mm o menos). Según registros de las algunas estaciones distribuidas en el Estado, la evaporación media anual oscila de 1,758 a 2,472 mm (INEGI, 1996). La baja precipitación, alta evaporación y altas temperaturas en todo el Estado de Baja California Sur, hacen de la zona un lugar con características semiáridas que

limitan el desarrollo de la agricultura. El tipo de suelo es Yermosol Háplico (FAO/UNESCO, 1968 modificada por CETENAL en 1970), que se distingue por tener una capa superficial de color claro, muy pobre en materia orgánica y textura franco-arenosa, con fase química ligeramente salina en algunos sitios (Naranjo, 1994).

7.3.2 Obtención de semillas y plántulas

Las semillas se obtuvieron de plantas progenitoras colectadas en huertos de traspatio en la población de El Centenario, Baja California Sur, a 4 km. al sur del CIBNOR. Las semillas se sembraron para obtener nuevas semillas; proceso que se realizó continuamente durante los últimos 10 años. En el caso de *C. annuum*, se utilizaron semillas comerciales de chile tipo California variedad Joe Parker ('FAX', lote MVF-CT-02, con 85 % de germinación), la cual es una variedad de importancia comercial en el Noroeste de México.

Las semillas se sembraron en charolas de unicel con sustrato orgánico comercial (Sun-Shine 3 mix), se regaron diariamente con agua de la llave, aplicándose el fertilizante en el agua de riego, el cual consistió en la fórmula 18-18-18 de nitrógeno, fósforo y potasio, respectivamente, con una dosis de 100 ppm, complementándose con una fertilización foliar utilizando un producto comercial (Grofol 20-30-10) con una dosis de 2 g L⁻¹

7.3.3 Transplante

El transplante se realizó a los 30 días después de la emergencia, en macetas de plástico con capacidad de 5 L, utilizando como sustrato una combinación de suelo:arena:sustrato (Sun-shine 3 mix) en proporciones 1:1:1 (v). Las macetas se colocaron bajo la estructura de una malla sombra. El suelo utilizado presentó una textura migajón arenoso y se extrajo del campo experimental del CIBNOR. Las plántulas se mantuvieron a capacidad de campo hasta el inicio del experimento y se fertilizaron a los 13 días después del transplante, utilizando la fórmula anteriormente mencionada.

7.3.4 Inicio del experimento

A los 25 días después del transplante se inició el experimento, seleccionando previamente plantas homogéneas, las cuales fueron sometidas a los tratamientos de humedad, por lo que algunas de ellas se regaron hasta capacidad de campo (CC) y otras se eligieron para aplicar el tratamiento de déficit hídrico.

7.3.5 Diseño experimental y tratamientos

Se utilizó un diseño completamente al azar con arreglo factorial, donde el primer factor (Factor A) con dos niveles, estuvo representado por las dos especies de

chile *C. frutescens* L. y *C. annuum* L., y el segundo factor (Factor B) con dos niveles, estuvo representado por los tratamientos de humedad (un tratamiento a capacidad de campo y un tratamiento de déficit hídrico). El número de repeticiones fue de tres y de cinco dependiendo de las variables medidas.

El criterio empleado para considerar el tratamiento de déficit hídrico consistió en no regar las plantas hasta que presentaron síntomas de estrés hídrico (pérdida de turgencia de las hojas desde en la mañana) sin llegar al punto de marchitamiento permanente. Se contó con 4 tratamientos incluyendo los grupos control quedando de la siguiente manera:

- 1.- Plantas de chile *C. annuum* (PSDA) a capacidad de campo (sin déficit hídrico)
- 2.- Plantas de chile *C. annuum* (PCDA) con déficit hídrico
- 3.- Plantas de chile *C. frutescens* (PSDF) a capacidad de campo (sin déficit hídrico)
- 4.- Plantas de chile *C. frutescens* (PCDF) con déficit hídrico

7.3.6 Mediciones de variables ecofisiológicas

7.3.6.1 Porometría

Se midió la transpiración (TRP) ($\mu\text{g cm}^2 \text{s}^{-1}$), conductividad estomática (g)(cm s^2), temperatura de la hoja (TH)($^{\circ}\text{C}$), temperatura del aire (TA)($^{\circ}\text{C}$), radiación fotosintéticamente activa (RFA)($\mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^2$) y humedad relativa (HR)(%) con un

porómetro de estado estable Li-Cor 1600 (Li-Cor, Inc., Lincoln, Nebraska, USA). Las mediciones se realizaron en plantas sin déficit hídrico (PSD) y plantas con déficit hídrico (PCD) de ambas especies de Chile. Se seleccionaron hojas completamente sanas y activas fotosintéticamente, aproximadamente la cuarta hoja contando de la parte apical de la planta hacia la base con el fin de evitar que fueran hojas muy maduras o muy jóvenes. Las mediciones se realizaron al medio día donde el déficit de presión de vapor (DPV) es mayor durante el día con un total de cuatro repeticiones por tratamiento (planta por repetición). Las mediciones de porometría se realizaron dos veces por semana durante dos meses.

7.3.6.2. Potencial hídrico

De las plantas a las que se les midieron las variables de porometría, en la etapa de floración se eligieron tres plantas por tratamiento para medir el potencial hídrico con una cámara de presión (PMS Instrument Company, Corvallis, Oregon) siguiendo la metodología de Tyree (1982). Las hojas se seleccionaron con los mismos criterios que para las mediciones de Porometría. Se cortaron tres hojas (una por planta) activas fotosintéticamente, jóvenes y sanas. Las hojas se colocaron individualmente en bolsas de plástico, se cerraron y se transportaron inmediatamente al laboratorio donde se midió el potencial hídrico.

7.3.6.3 Contenido relativo de agua

Se determinó el contenido relativo de agua (CRA) mediante el corte de discos de tejido foliar de 17 mm de diámetro, registrando inmediatamente el peso fresco (Pf) después del corte, el peso turgente (Pt) después que los discos se imbibieron en agua destilada por 24 h y el peso seco (Ps) después de secar los discos en una estufa de circulación laminar a 80° C durante 48 horas (Larqué-Saavedra y Trejo, 1990).

El contenido relativo de agua se determina con la siguiente ecuación (El resultado se expresa en porcentaje):

$$\text{CRA} = \frac{\text{Pf} - \text{Ps}}{\text{Pt} - \text{Ps}} \times 100$$

7.3.6.4 Clorofila

Se colectó una hoja por planta de la cual se extrajeron tres discos de media pulgada tratando que los discos fueran lo más cercano a la nervadura de la hoja. Se colocaron en tubos de ensaye con 20 mL de acetona al 80 %, los frascos se mantuvieron en la oscuridad con un mínimo de 72 h, para después realizar las lecturas de cada muestra en el espectrofotómetro (Spectronic Unicam Helio Aquamate NC: 9423 AQA 2500E, NO: AQA 084501. England) en longitudes de onda de 645 y 665. Los resultados se reportan como absorbancia a una longitud de onda de 645, absorbancia a una longitud de onda de 665, clorofila a, clorofila b y clorofila total expresadas en mg/mL (Arnon, 1949). También se midió la

clorofila de manera indirecta, utilizando un medidor portátil (Chlorophyll meter SPAD-502, Minolta Camera Co. LTD Japan).

7.3.6.5 Humedad del suelo

La humedad del suelo (HS) (%) se determinó por el método gravimétrico (Hebert, 1992; UABCS, 1991; Torres, 1983) utilizando cinco macetas por tratamiento como repetición obteniendo una muestra de suelo por maceta, tomando la muestra desde la parte inferior de la maceta hasta la superior. Las mediciones se realizaron antes de la medición de las variables ecofisiológicas. Las muestras de suelo se transportaron en recipientes cerrados al laboratorio de suelos para obtener el peso fresco de la muestra, posteriormente se secaron en un horno de flujo laminar (Blue M, OV-490A) a 80° C hasta alcanzar peso constante (24 h), para obtener su peso seco y aplicar la ecuación:

$$\% H = \frac{\text{Peso de suelo húmedo} - \text{Peso de suelo seco}}{\text{Peso de suelo seco}} \times 100$$

7.3.6.6 Variables morfométricas

Se seleccionaron cuatro plantas por tratamiento para obtener las mediciones morfométricas que consistieron en altura total (AT) (cm), número de hojas (NH), suma del área foliar (AFT) la cual se determinó con un medidor de área foliar (Li-Cor 3000A, Li-Cor Inc, Lincoln, Nebraska USA), longitud de raíz (cm), longitud

de tallo (cm). Los pesos frescos y seco se utilizaron para calcular la biomasa total y por planta. Se obtuvo el peso fresco (g) de raíz (PFR), de tallo (PFT) y hojas (PFH), así como el peso seco (g) (PSR, PST, PSH), el cual se obtuvo al colocar las muestras en un horno a 80° C hasta peso constante, para posteriormente pesarlas en una balanza analítica (METTLER TOLEDO, AG204, Japan).

7.3.6.7 Análisis estadísticos

Los datos se analizaron utilizando métodos univariados (ANOVA) y multivariados (MANOVA) y cuando se encontraron diferencias significativas entre tratamientos, se utilizó una prueba de comparación de medias (Fisher LSD, $P \leq 0.01$). Los análisis se realizaron con el paquete de cómputo STATISTICA versión 6.0, (StatSoft, Inc., Tulsa, OK, 1994-2004).

7.4 Resultados

7.4.1 Humedad del suelo

En la figura 1 se muestra la humedad del suelo para cada tratamiento durante el período de experimentación, donde los picos indicados con flechas señalan los días de riego y la recuperación de la humedad en el suelo de manera momentánea para los tratamientos de plantas con déficit hídrico. La Tabla 1

muestra los resultados estadísticos de las diferencias de la humedad de suelo en cada tratamiento tomando a los días como repeticiones.

Tabla 1. Humedad del suelo promedio (n = 4) en cada tratamiento. PSDA=plantas de *C. annuum* sin déficit hídrico, PSDF=plantas de *C. frutescens* sin déficit hídrico, PCDF=plantas de *C. frutescens* con déficit hídrico y PCDA=plantas de *C. annuum* con déficit hídrico.

Tratamientos	HS (%)
PSDA	19b*
PCDA	11a
PSDF	21b
PCDF	11a

* Literales distintas por columna indican diferencias estadísticas.

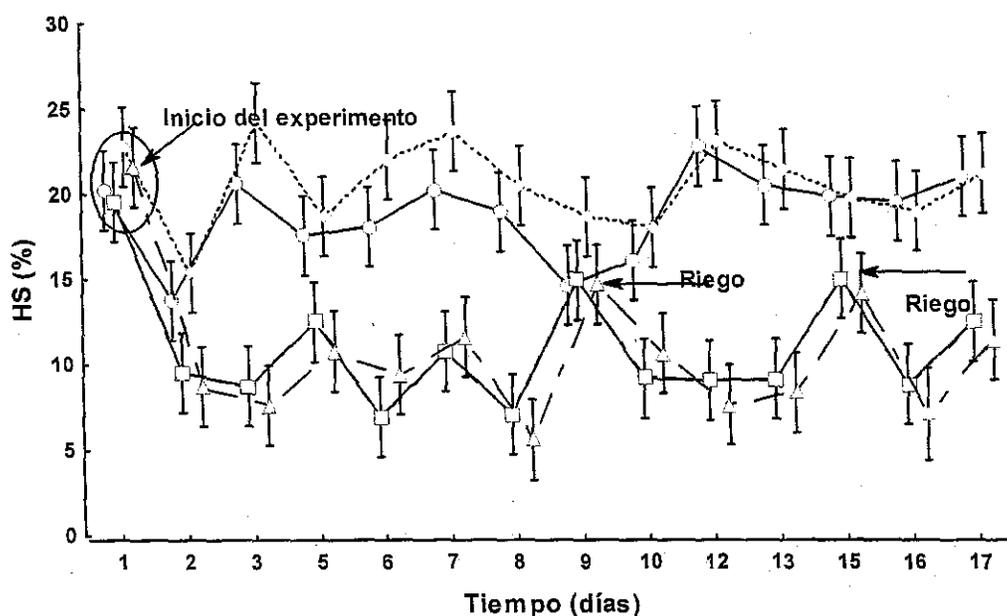


Fig. 1. Humedad del suelo (%) medida a través de los días de experimentación para cada tratamiento (n= 5), plantas sin déficit hídrico de *C. annuum* (PSDA) (-o-), plantas con déficit hídrico de *C. annuum* (PCDA) (-□-), plantas sin déficit hídrico de *C. frutescens* (PSDF) (---◇---), plantas con déficit hídrico de *C. frutescens* (PCDF) (--△--). Las barras verticales corresponden al error estándar de la media.

7.4.2. Variables morfológicas

Los resultados muestran que el desarrollo del tallo presentó diferencias significativas entre los tratamientos, donde el peso fresco y seco fueron mayores para las plantas sin déficit hídrico de *C. frutescens*, mientras que un desarrollo menor se presentó en las plantas de *C. annuum* en ambos tratamientos (Tabla 2). Asimismo, las plantas de *C. frutescens* bajo déficit hídrico presentaron mayores valores de PFT, PST y LT con respecto a las plantas de los tratamientos PCDA y PSDA pero inferiores al de las plantas sin déficit hídrico (PSDF). El desarrollo de las hojas de las plantas PSDF presentaron los mayores valores para las variables peso fresco de las hojas, peso seco de las hojas (PSH), número de hojas (NH) y área foliar total (AFT), los tratamientos restantes presentaron valores menores. La producción de frutos fue menor en las plantas sometidas al tratamiento PCDA, mientras que las plantas con el tratamiento PSDA mostraron valores mayores de PFF y PSF con respecto al resto de los tratamientos (Tabla 2).

El desarrollo de la raíz mostró diferencias significativas en las variables peso fresco (PFR), peso seco (PSR) y longitud de raíz (LR) donde las plantas del tratamiento PCDF presentaron los valores menores para PFR y LR, mientras que las plantas de *C. annuum* en ambos tratamientos presentaron un menor PSR (Tabla 2).

En los índices de peso fresco de raíz/peso fresco de parte aérea (PFR/PFA) y longitud de raíz/longitud de parte aérea (LR/LA), las plantas de los tratamientos PCDA y PSDA presentaron un mayor valor que las plantas de PCDF y PSDF, mientras que en la relación peso seco de raíz/peso seco de parte aérea (PSR/PSA) las plantas sometidas al tratamiento PCDA mostraron los valores menores (Tabla 3).

Los resultados mostraron diferencias significativas entre especies, donde *C. frutescens* obtuvo los valores mayores con respecto al desarrollo del tallo (PFT, PST LT) y hoja (PFH, PSH, NH, AFT) que *C. annuum* (Tabla 4). En relación al desarrollo de raíz, las plantas de *C. frutescens* presentaron una menor longitud de raíz, sin embargo presentaron un mayor peso seco de las mismas, aunque en la variable PFR no se presentaron diferencias significativas entre especies. No se presentaron diferencias significativas en el número de frutos entre las especies. La especie de chile, *C. annuum* presentó mayor PFF y PSF que *C. frutescens* (Tabla 4). La especie *C. annuum* mostró valores mayores en las relaciones PFR/PFA y LR/LA, mientras que para PSR/PSA no se presentaron diferencias significativas entre especies (Tabla 5).

Tabla 2. Promedios de de las variables morfométricas medidas en los diferentes tratamientos (n= 4). PSDA plantas de *C. annuum* sin déficit hídrico, PSDF plantas de *C. frutescens* sin déficit hídrico, PCDF plantas de *C. frutescens* con déficit hídrico, PCDA plantas de *C. annuum* con déficit hídrico.

	PFT	PST	LT	PFH	PSH	NH	AFT	NF	PFF	PSF	PFR	PSR	LR
PSDA	23.3a*	3.79a	35.4a	26.5a	4ab	49.8a	1039ab	6.4b	43.3b	5.7b	10.6b	1.4a	22.4ab
PCDA	17.5a	2.666a	30.5a	20a	3a	36.6a	889a	2.4a	13.9a	1.7a	11b	1.5a	22.6b
PSDF	53.9c	13.64c	55.8b	38b	8c	175.5c	1833c	5.7b	3.1a	0.60a	10ab	3.3c	19.7ab
PCDF	36.7b	9.176b	49.4b	27.6a	5.7b	127.4b	1338b	6.4b	2.7a	0.50a	7a	2.4b	17.4a

PFT peso fresco del tallo (g), PST peso seco del tallo (g), LT longitud del tallo (cm), PFH peso fresco de hojas (g), PSH peso seco de hojas (g), NH número de hojas, AFT área foliar total (cm²), NF número de frutos, PFF peso fresco de frutos (g), PSF peso seco de frutos (g), PFR peso fresco de raíz (g), PSR peso seco de raíz (g), LR longitud de raíz (cm).

*Literales distintas por columna indican diferencias estadísticas.

Tabla 3. Promedios de las variables (proporciones) en los diferentes tratamientos (n= 4). PSDA plantas de *C. annuum* sin déficit hídrico, PSDF plantas de *C. frutescens* sin déficit hídrico, PCDF plantas de *C. frutescens* con déficit hídrico, PCDA plantas de *C. annuum* con déficit hídrico.

Tratamientos	PFR/PFA	PSR/PSA	LR/LA
PSDA	0.218b*	0.181a	0.635b
PCDA	0.306b	0.267b	0.746b
PSDF	0.108a	0.154a	0.355a
PCDF	0.113a	0.162a	0.351a

PFR = Peso fresco de raíz, PFA = peso fresco parte aérea de la planta, PSR = Peso seco de raíz, PSA = peso seco de la parte aérea de la planta, LR = Longitud de raíz. LA longitud de parte aérea.

*Literales distintas por columna indican diferencias estadísticas.

Tabla 4. Promedios (n= 4) de las variables morfométricas considerando las dos especies de chile en estudio.

Especie	PFT	PST	LT	PFH	PSH	NH	AFT	NF	PFF	PSF	PFR	PSR	LR
<i>C. annuum</i>	20.4a*	3.2a	32.95a	23.3a	3.7a	43.2a	964a	4.40	28.6b	3.76b	10.8	1.46a	22.5b
<i>C. frutescens</i>	44.3b	11.16b	52.27b	32.3b	6.7b	148.7b	1558b	5.11	2.9a	0.54a	8.4	2.86b	18.4a

PFT peso fresco del tallo, PST peso seco del tallo, LT longitud del tallo, PFH peso fresco de hojas, PSH peso seco de hojas, NH número de hojas, AFT área foliar total, NF número de frutos, PFF peso fresco de frutos, PSF peso seco de frutos, PFR peso fresco de raíz, PSR peso seco de raíz, LR Longitud de raíz.

*Literales distintas por columna indican diferencias estadísticas.

Tabla 5. Promedios (n= 4) de las relaciones entre Peso fresco de raíz y peso fresco parte aérea de la planta (PFR/PFA), Peso seco de raíz y peso seco de la parte aérea de la planta (PSR/PSA), longitud de raíz y longitud de parte aérea (LR/LA).

Especie	PFR/PFA	PSR/PSA	LR/LA
<i>C. annuum</i>	0.262 a*	0.224	0.691 a
<i>C. frutescens</i>	0.111 b	0.159	0.353 b

*Literales distintas por columna indican diferencias estadísticas.

7.4.3 Variables ecofisiológicas

7.4.3.1 Porometría

Las variables microclimáticas (TA, HR y RFA) no mostraron diferencias significativas para ninguno de los factores ni para la interacción cuando se consideró al tiempo (días) como primer factor y los tratamientos como segundo factor (Fig. 2 a,b,c). De las variables fisiológicas, TH no presentó diferencias significativas en ninguno de los factores (Fig. 3 a), mientras que las variables TRP y *g* presentaron diferencias significativas para la interacción de los factores (Fig. 3 b, c). La conductividad estomática (*g*) y la transpiración (TRP) mostraron diferencias significativas entre tratamientos cuando se consideró al tiempo (días) como repeticiones, obteniendo los valores mayores las plantas de chiles *C. frutescens* sin déficit hídrico (PSDF) y los menores las plantas de chile PCDA (Tabla 6). La clorofila (unidades SPAD-CLspad), la clorofila total (CLOROF) y el contenido relativo de agua mostraron diferencias significativas entre tratamientos, donde las plantas del tratamiento PSDF presentaron un valor menor de CLspad y las plantas de chile PCDA y PSDA obtuvieron los valores menores de clorofila total. Las plantas de los tratamientos PSDF y PSDA mostraron mayores contenidos relativos de agua en el tejido foliar (CRA) que plantas de los tratamientos PCDF y PCDA (Tabla 6). La Tabla 7 muestra los datos de las variables microclimáticas: humedad relativa (HR), temperatura ambiental (TA) y radiación fotosintéticamente activa (RFA) registrados durante el desarrollo del experimento.

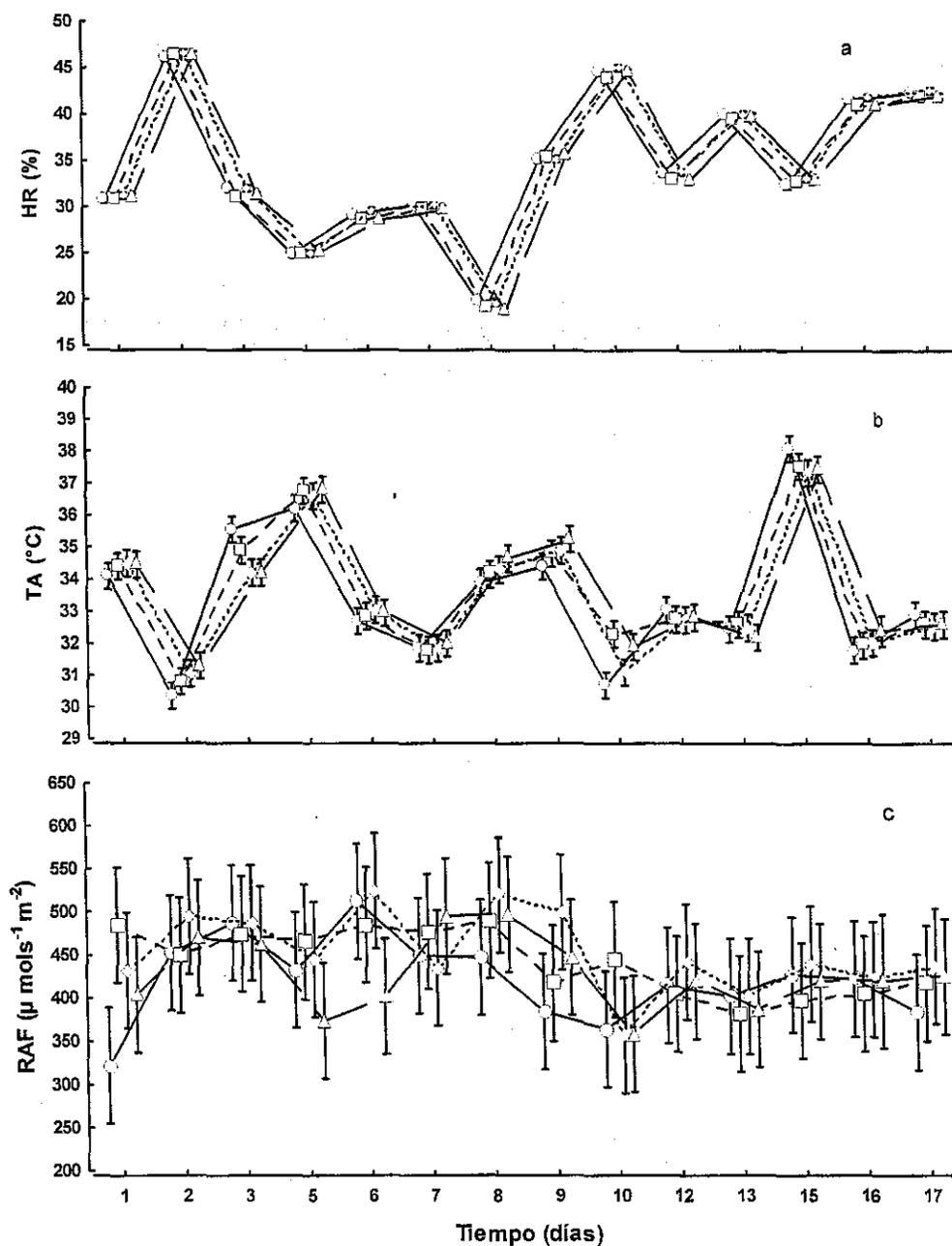


Fig. 2. Humedad relativa (a) (HR), temperatura del aire (b) (TA) y radiación fotosintéticamente activa (c) (RFA), registradas a través de los días de experimentación para los tratamientos de plantas sin déficit hídrico de *C. annuum* (—○— PSDA) y *C. frutescens* (---◇--- PSDCF) y plantas con déficit hídrico de *C. annuum* y *C. frutescens* (- -□- - PCDA, -Δ- PCDF). Las barras verticales corresponden al error estándar de la media (n = 4).

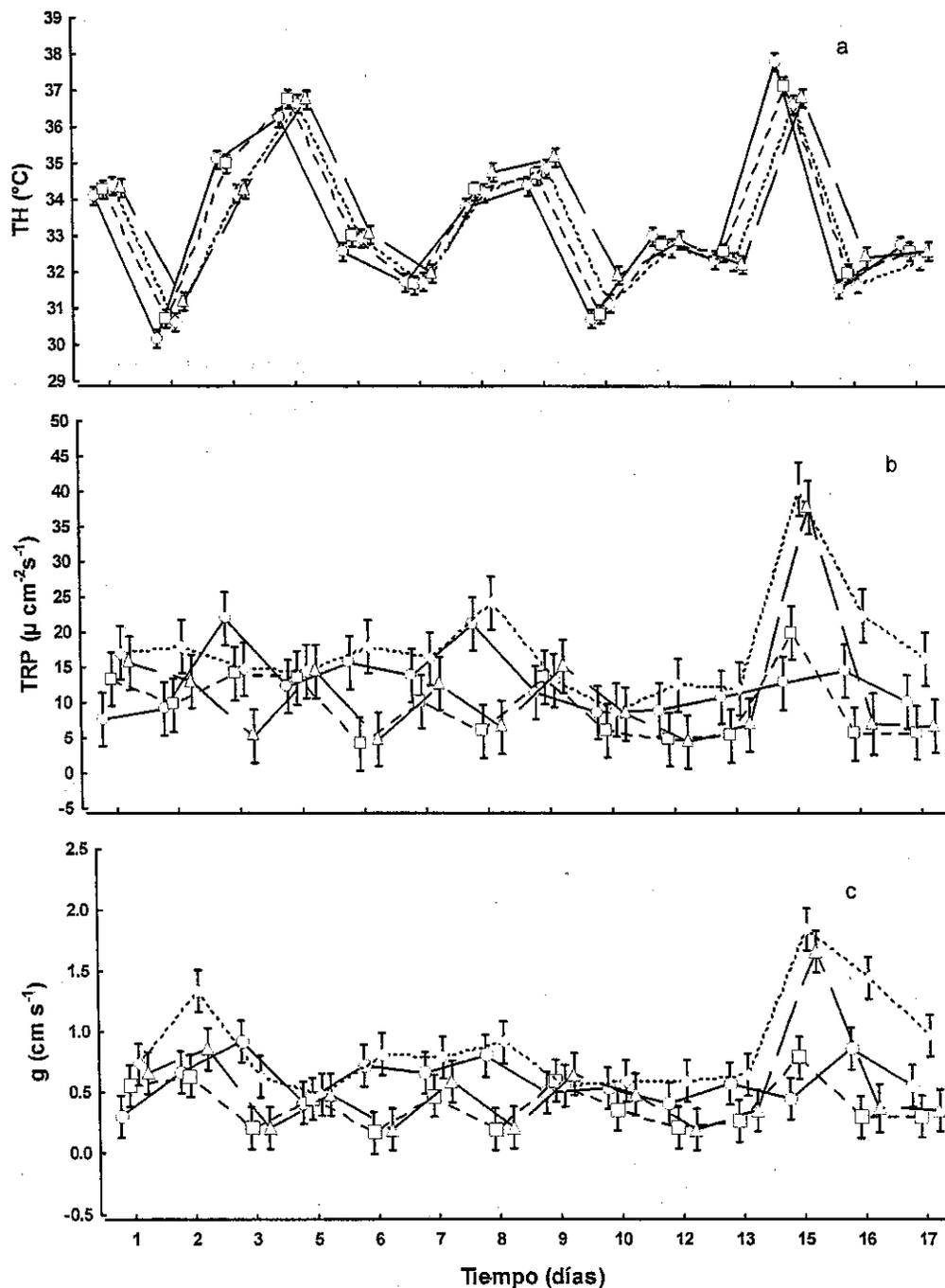


Fig. 3. Temperatura de la hoja (a) (TH), transpiración (b) (TRP) y conductividad estomática (c) (g), registradas a través de los días de experimentación para los tratamientos de plantas sin déficit hídrico de *C. annuum* -o- PSDA y *C. frutescens* ---◇--- PSDCF y plantas con déficit hídrico de *C. annuum* y *C. frutescens* --□- PCDA, -Δ- PCDF. Las barras verticales corresponden al error estándar de la media (n = 4).

Tabla 6. Promedios (n= 4) de humedad del suelo (HS), conductividad estomática (g), transpiración (TRP), temperatura de la hoja (TH), fluorescencia (FLUOR), clorofila (CLOROF), contenido relativo de agua (CRA) de plantas de dos especies de chile (*C. annuum* y *C. frutescens*) sometidas a dos tratamientos de humedad (plantas con y sin déficit hídrico)

Tratamientos	TH (°C)	g (cm s ⁻¹)	TRP (µg cm ² s ⁻¹)	CLspad (spad)	CLOROF	CRA (%)
PSDA	33.1	0.57 b*	12 b	51 a	6 a	61 b
PCDA	33.3	0.37 a	8.6 a	52 a	6 a	58 a
PSDF	33.1	0.88 c	16.5 c	49 b	8 b	60 ab
PCDF	33.4	0.45 ab	9.7 ab	52 a	8 b	59 ab

PSDA plantas de *C. annuum* sin déficit hídrico, PSDF plantas de *C. frutescens* sin déficit hídrico, PCDF plantas de *C. frutescens* con déficit hídrico, PCDA plantas de *C. annuum* con déficit hídrico.

* Literales distintas por columna indican diferencias estadísticas.

Tabla 7. Valores de la humedad relativa (HR), temperatura del aire y radiación fotosintéticamente activa (RFA).

	HR (%)	TA (°C)	RFA ($\mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^2$)
Promedio	34.42	33.4	434.5
Máximo	46.8	38	560
Mínimo	18.8	29.3	101

7.4.3.2 Relación entre estado hídrico del suelo y variables ecofisiológicas

Obteniendo la matriz de correlación entre las variables microclimáticas y fisiológicas de los datos de cada tratamiento y especie de chile se observa que la humedad del suelo (HS) muestra valores significativos de correlación (r) con la TH, g, TRP, CLspad y CLOROF para plantas con déficit hídrico en las dos especies de chile. En las plantas de PSDA, la CLOROF y CRA mostraron relaciones significativas con la HS, para PSDF fue CLOROF. Los cambios en TRP y g en las plantas con déficit hídrico de ambas especies se hacen más dependientes de la humedad del suelo que plantas sin déficit (Tablas 8-11), estos cambios ocurren con la misma magnitud entre ambas especies.

En cada tratamiento se encontró una correlación positiva entre la TRP y la g (Tablas 8-11). Los resultados de la ecuación de la recta muestran que para plantas de chile *C. annuum* con déficit hídrico (PCDA) la magnitud del cambio de la TRP con respecto a g es menor que para las plantas de chile PCDF del mismo tratamiento (Fig. 4).

Las relaciones encontradas entre las variables microclimáticas y las fisiológicas muestran que la TA y la TH se correlacionan positivamente con la TRP en las plantas PCDA, PCDF y PSDF, sin embargo esta relación no fue significativa para plantas PSDA, donde la humedad presentó una relación con la TRP. La TA y TH también presentaron una relación significativa con g en las plantas PCDF.

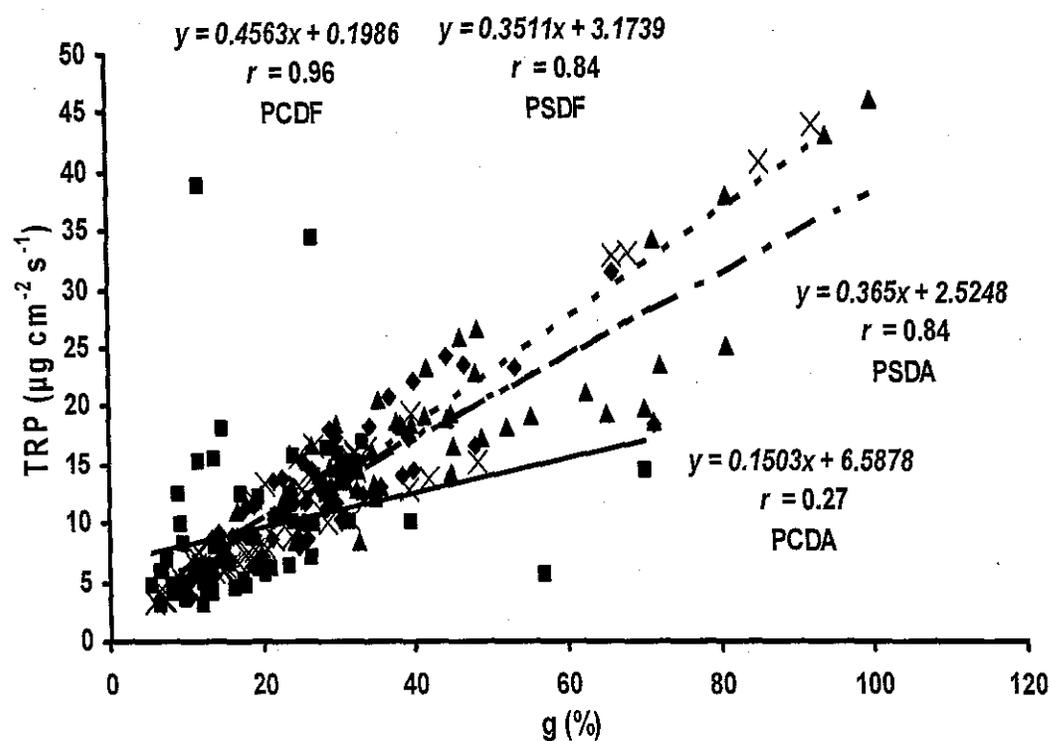


Fig. 4. Relación de la transpiración (TRP) y la conductividad estomática (g) para cada tratamiento de plantas con déficit hídrico de *C. frutescens* (PCDF x, - -) y *C. annuum* (PCDA ■, —), plantas sin déficit hídrico de *C. frutescens* (PSDF ▲, - -) y *C. annuum* (PSDA ◆, - -).

Tabla 8. Matriz de correlación múltiple de las variables microambientales: humedad relativa (HR, %), temperatura del aire (TA, °C), radiación fotosintéticamente activa (RFA, $\mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^2$), humedad del suelo (HS %), déficit de presión de vapor (DPV) y variables fisiológicas: temperatura de la hoja (TH, °C), conductividad estomática (g, cm s^{-1}), transpiración (TRP, $\mu\text{g cm}^2 \text{s}^{-1}$), contenido relativo de agua (CRA, %), clorofila en unidades spad (CLspad, spad), clorofila total (CLOROF). PSDF Resultados del tratamiento de plantas sin déficit hídrico de *C. frutescens*.

	HS	HR	TH	TA	RAF	g	TRP	CLspad	CLORF	DPV	CRA
HS	1.00	-0.31	0.08	0.05	-0.04	-0.26	-0.09	-0.01	-0.20	0.17	0.12
HR	-0.31	1.00	-0.65	-0.61	-0.27	0.23	-0.21	0.19	0.21	-0.89	0.16
TH	0.08	-0.65	1.00	0.99	0.16	-0.00	0.41	-0.04	-0.15	0.91	-0.05
TA	0.05	-0.61	0.99	1.00	0.14	0.09	0.49	-0.02	-0.13	0.90	-0.02
RFA	-0.04	-0.27	0.16	0.14	1.00	0.06	0.15	-0.32	-0.13	0.23	-0.12
g	-0.26	0.23	-0.00	0.09	0.06	1.00	0.86	0.05	0.15	-0.06	-0.02
TRP	-0.09	-0.21	0.41	0.49	0.15	0.86	1.00	0.06	0.05	0.40	-0.02
CLspad	-0.01	0.19	-0.04	-0.02	-0.32	0.05	0.06	1.00	0.25	-0.12	0.61
CLORF	-0.20	0.21	-0.15	-0.13	-0.13	0.15	0.05	0.25	1.00	-0.19	0.23
DPV	0.17	-0.89	0.91	0.90	0.23	-0.06	0.40	-0.12	-0.19	1.00	-0.13
CRA	0.12	0.16	-0.05	-0.02	-0.12	-0.02	-0.02	0.61	0.23	-0.13	1.00

Tabla 9. Matriz de correlación múltiple de las variables microambientales: humedad relativa (HR, %), temperatura del aire (TA, °C), radiación fotosintéticamente activa (RFA, $\mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^2$), humedad del suelo (HS, %), y variables fisiológicas: temperatura de la hoja (TH, °C), conductividad estomática (g cm s^{-1}), transpiración ($\text{TRP } \mu\text{g cm}^2 \text{s}^{-1}$), contenido relativo de agua (CRA, %), clorofila en unidades spad (CLspad, spad), clorofila total (CLOROF, mg L^{-1}). Resultados del tratamiento de plantas con déficit hídrico de *C. frutescens*. **PCDF**.

	HS	HR	TH	TA	RAF	g	TRP	CLspad	CLORF	DPV	CRA
HS	1.00	-0.06	0.31	0.34	-0.05	0.45	0.50	-0.38	-0.26	0.21	0.01
HR	-0.06	1.00	-0.62	-0.57	-0.17	0.18	-0.02	0.24	0.32	-0.88	0.32
TH	0.31	-0.62	1.00	0.99	-0.05	0.36	0.56	-0.04	-0.17	0.90	-0.07
TA	0.34	-0.57	0.99	1.00	-0.05	0.43	0.63	-0.03	-0.14	0.88	-0.06
RAF	-0.05	-0.17	-0.05	-0.05	1.00	0.00	-0.01	-0.10	-0.10	0.06	-0.21
g	0.45	-0.18	0.36	0.43	0.00	1.00	0.96	0.07	0.10	0.15	0.02
TRP	0.50	-0.02	0.56	0.63	-0.01	0.96	1.00	0.05	0.06	0.37	0.03
CLspad	-0.38	0.24	-0.04	-0.03	-0.10	0.07	0.05	1.00	0.50	-0.16	0.52
CLORF	-0.26	0.32	-0.17	-0.14	-0.10	0.10	0.06	0.50	1.00	-0.27	0.36
DPV	0.21	-0.88	0.90	0.88	0.06	0.15	0.37	-0.16	-0.27	1.00	-0.22
CRA	0.01	0.32	-0.07	-0.06	-0.21	0.02	0.03	0.52	0.36	-0.22	1.00

Tabla 10. Matriz de correlación múltiple de las variables microambientales: humedad relativa (HR, %), temperatura del aire (TA, °C), radiación fotosintéticamente activa (RFA, $\mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^2$), humedad del suelo (HS, %) y variables fisiológicas: temperatura de la hoja (TH, °C), conductividad estomática (g, cm s^{-1}), transpiración (TRP, $\mu\text{g cm}^2 \text{s}^{-1}$), contenido relativo de agua (CRA, %), clorofila en unidades spad (CLspad, spad), clorofila total (CLOROF, mg L^{-1}). Resultados del tratamiento de plantas sin déficit hídrico de *C. annuum*. **PSDA**.

	HS	HR	TH	TA	RFA	g	TRP	CLspad	CLORF	DPV	CRA
HS	1.00	-0.19	0.17	0.18	0.09	-0.09	0.02	-0.18	0.29	0.18	0.23
HR	-0.19	1.00	-0.59	-0.57	-0.15	0.03	-0.41	0.41	0.10	-0.86	0.10
TH	0.17	-0.59	1.00	0.98	0.00	-0.24	0.18	-0.04	0.09	0.90	-0.14
TA	0.18	-0.57	0.98	1.00	0.03	-0.17	0.24	-0.03	0.12	0.90	-0.16
RAF	0.09	-0.15	0.00	0.03	1.00	0.36	0.39	-0.35	0.04	0.10	-0.23
g	-0.09	0.03	-0.24	-0.17	0.36	1.00	0.84	-0.05	0.06	-0.11	-0.04
TRP	0.02	-0.41	0.18	0.24	0.39	0.84	1.00	-0.20	0.03	0.36	-0.09
CLspad	-0.18	0.41	-0.04	-0.03	-0.35	-0.05	-0.20	1.00	0.07	-0.23	0.35
CLORF	0.29	0.10	0.09	0.12	0.04	0.06	0.03	0.07	1.00	0.02	-0.12
DPV	0.18	-0.86	0.90	0.90	0.10	-0.11	0.36	-0.23	0.02	1.00	-0.17
CRA	0.23	0.10	-0.14	-0.16	-0.23	-0.04	-0.09	0.35	-0.12	-0.17	1.00

Tabla 11. Matriz de correlación múltiple de las variables microambientales: humedad relativa (HR, %), temperatura del aire (TA, °C), radiación fotosintéticamente activa (RFA, $\mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^2$), humedad del suelo (HS, %), y variables fisiológicas: temperatura de la hoja (TH, °C), conductividad estomática (g, cm s^{-1}), transpiración (TRP, $\mu\text{g cm}^2 \text{s}^{-1}$), contenido relativo de agua (CRA, %), clorofila en unidades spad (CLspad, spad), clorofila total (CLOROF, mg L^{-1}). Resultados del tratamiento de plantas sin déficit hídrico de *C. annuum*. PCDA.

	HS	HR	TH	TA	RFA	g	TRP	CLspad	CLORF	DPV	CRA
HS	1.00	-0.00	0.40	0.42	-0.08	0.43	0.40	-0.29	0.14	0.25	0.18
HR	-0.00	1.00	-0.61	-0.52	-0.43	0.17	-0.13	0.14	0.38	-0.86	0.05
TH	0.40	-0.61	1.00	0.91	0.04	0.19	0.49	0.00	0.00	0.89	0.05
TA	0.42	-0.59	0.91	1.00	-0.07	0.22	0.49	-0.01	-0.02	0.88	0.13
RFA	-0.08	-0.43	0.04	-0.07	1.00	-0.04	-0.03	-0.26	-0.19	0.21	-0.40
g	0.43	0.17	0.19	0.22	-0.04	1.00	0.65	-0.27	0.04	0.05	-0.05
TRP	0.40	-0.13	0.49	0.49	-0.03	0.65	1.00	-0.17	0.03	0.37	-0.06
CLspad	-0.29	0.14	0.00	-0.01	-0.26	-0.27	-0.17	1.00	0.16	-0.08	0.12
CLORF	0.14	0.38	0.00	-0.02	-0.19	0.04	0.03	0.16	1.00	-0.20	-0.00
DPV	0.25	-0.86	0.89	0.88	0.21	0.05	0.37	-0.08	-0.20	1.00	0.02
CRA	0.18	0.05	0.05	0.13	-0.44	-0.05	-0.06	0.12	-0.00	0.02	1.00

La relación entre la apertura estomática (g) y el contenido del agua en el suelo (HS) se muestra en la Figura 5. Con un severo déficit hídrico para las plantas de *C. frutescens* y *C. annuum* (PCDF y PCDA) los estomas se cierran hasta un 8 %, sin embargo, conforme el déficit hídrico se hace menos severo, la apertura estomática muestra diferentes tendencias entre las dos especies bajo el mismo tratamiento. En el caso de *C. frutescens*, la apertura estomática alcanza su máximo alrededor del 36 %, para posteriormente cerrar sus estomas (20 % de contenido de agua en el suelo) y mantenerlos parcialmente abiertos. En el caso de *C. annuum*, la apertura estomática se incrementa de manera exponencial al contenido de humedad del suelo hasta mostrar sus valores máximos alrededor de una apertura del 40 %. En el caso de las plantas sin déficit hídrico (PSDF y PSDA) no se encontró relación significativa entre la apertura estomática y el contenido de agua del suelo.

Al igual que para g , se encontró relación significativa entre la TRP y el contenido de agua en el suelo para los tratamientos PCDF y PCDA. A diferencia de la apertura estomática, la TRP se incrementó de manera lineal al incremento del contenido de agua en el suelo (Fig. 6).

Cuando los datos totales se analizaron para detectar diferencias entre especies, se observó que las variables que presentaron diferencias fueron la conductividad estomática y transpiración, ambas con un mayor valor para *C. frutescens* (Tabla 12).

Tabla 12. Promedios de humedad relativa (HR), temperatura del aire (TA), temperatura de la hoja (TH) TH), radiación fotosintéticamente activa /RFA), conductividad estomática (g), transpiración (TRP), clorofila en unidades spad (CLspad), clorofila total (CLOROF) y contenido relativo de agua (CRA) de plantas de dos especies de Chile.

	HR (%)	TA (°C)	TH (°C)	RFA ($\mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^{-2}$)	g cm s^{-1}	TRP $\mu\text{g cm}^{-2} \text{s}^{-1}$	CLspad spad	CLOROF	CRA (%)
<i>C. frutescens</i>	34.7	33.52	33.42	439	0.69 b*	14.3 b	50.0 a	7.8 b	74
<i>C. annuum</i>	34.3	33.5	33.37	429	0.49 a	11 a	51.55 b	6.3 a	74

* Literales distintas por columna indican diferencias estadísticas.

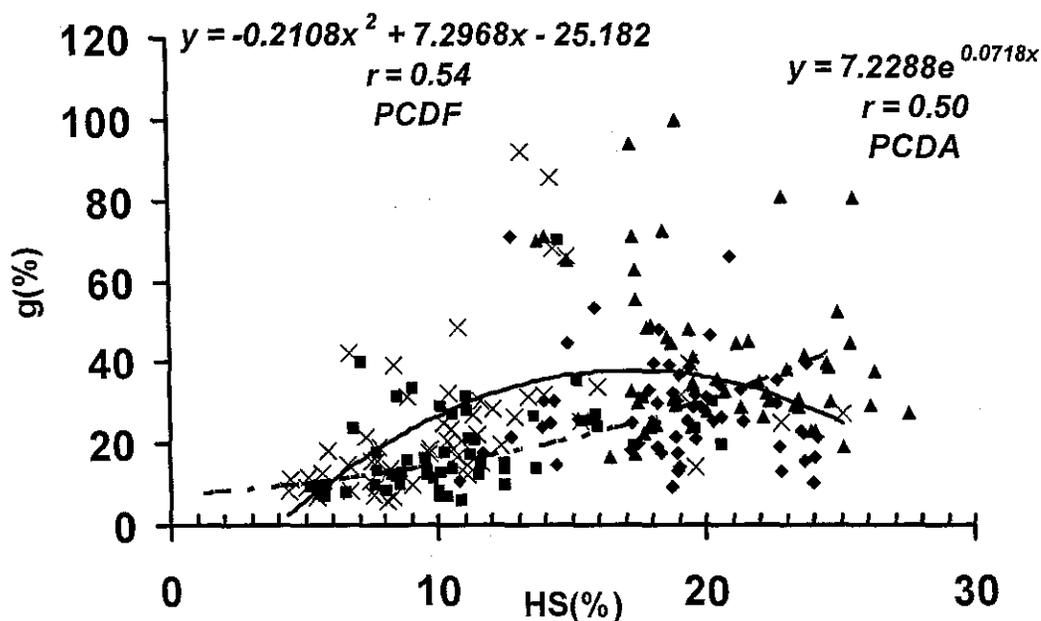


Fig. 5. Relación entre conductividad estomática (g) y humedad del suelo (HS) para las plantas del tratamiento con déficit hídrico de *C. annuum* (PCDA ■, — -) y *C. frutescens* (PCDF x, —) y plantas sin déficit hídrico (PSDA ◆) y (PSDF ▲) de la misma especie, respectivamente.

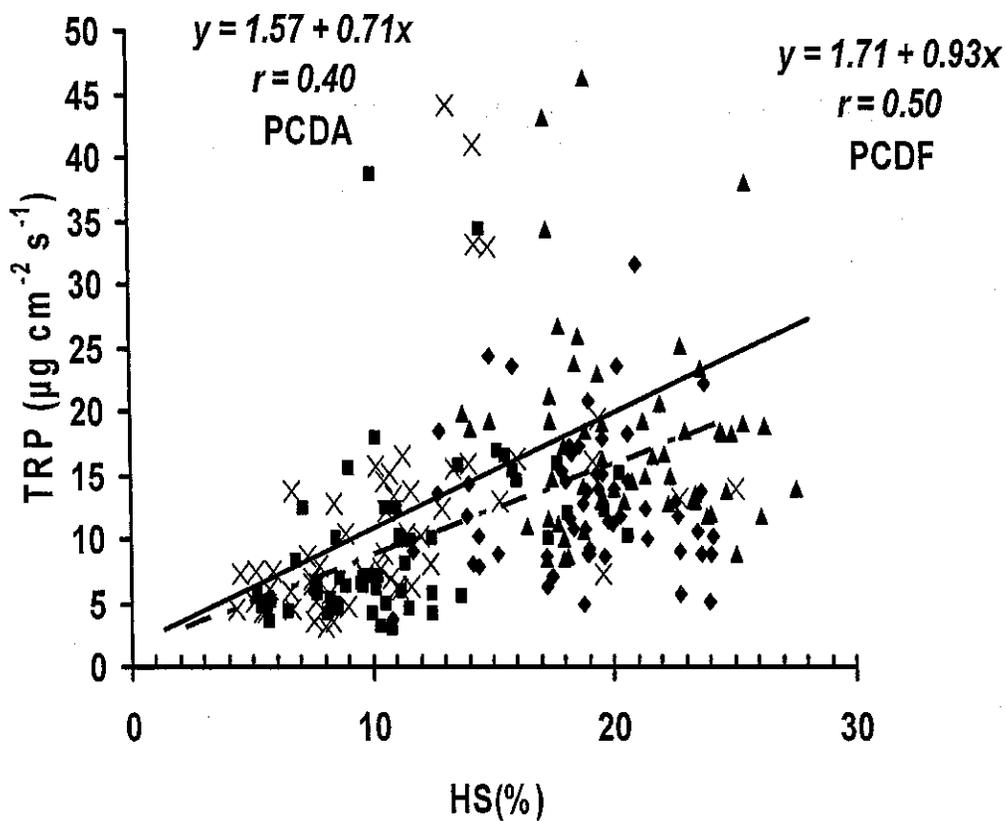


Fig. 6. Relación entre transpiración (TRP) y humedad del suelo (HS) para las plantas del tratamiento con déficit hídrico de *C. annuum* (PCDA ■, —) y *C. frutescens* (PCDF x, —), y plantas sin déficit hídrico (PSDA ◆) y (PSDF ▲) de la misma especie respectivamente.

7.4.3.3 Potencial hídrico

El análisis de varianza para conocer las diferencias ente tratamientos y días del potencial hídrico para cada especie de chile mostró diferencias significativas entre las plantas de los tratamientos sin déficit hídrico para las dos especies (PSDF y PSDA) con un potencial hídrico mayor para el tercer día de medición que los tratamientos con déficit hídrico PCDA y PCDF como su muestra en la Tabla 13.

Tabla13. Promedios de los valores de potencial hídrico en Megapascales (MPa) (n = 6) ($P < 0.01$) para plantas de *C. frutescens* sin déficit hídrico (PSDF) plantas con déficit hídrico (PCDF) y plantas de *C. annuum* sin déficit hídrico (PSDA) y plantas con déficit hídrico (PCDA).

Tratamiento	Día de medición		
	1	2	3
PSDA	-1.5 a*	-1.6 a	-1.7 a
PSDF	-1.6 a	-1.8ab	-1.7 a
PCDA	-1.5 a	-1.7 a	-2.1 b
PCDF	-1.8ab	-1.7 a	-2.1 b

* Literales distintas por columna indican diferencias estadísticas.

7.4.3.4 Variables microclimáticas

Las relaciones entre las variables microclimáticas respondieron a las relación entre la temperatura del aire, la cual fluctuó entre un valor máximo de 38.2° C a un valor mínimo de 29.8° C con una temperatura promedio de 33.5° C. La humedad relativa máxima durante el desarrollo del experimento fue de 46.8 %, mínima de 18.8 %, con un promedio de 34.4 %. Ambas variables presentaron un coeficiente de correlación significativo pero con valor negativo. La radiación fotosintéticamente activa mostró un valor promedio de 434 $\mu\text{mols}^{-1}\text{m}^2$.

7.5 Discusión

El menor desarrollo de hojas, tallo y raíz de plantas bajo déficit hídrico de ambas especies de Chile es un efecto evidente de lo que el estrés hídrico ocasiona en las plantas (Rodríguez *et al.*, 2005), lo cual puede manifestarse como un mecanismo para evadir la pérdida de agua a través de la reducción de la superficie transpiratoria de la planta más el cierre estomático (Turner y Jones, 1980). Las plantas de *C. frutescens* bajo estrés hídrico presentaron un mayor desarrollo de hojas, tallo y peso seco de raíz que las plantas de *C. annuum* bajo el mismo tratamiento. Los resultados muestran que las plantas de *C. frutescens* reducen significativamente (más que *C. annuum*) su superficie transpiratoria como mecanismo morfométrico para evadir el estrés hídrico. Esta respuesta se relaciona directamente con el mecanismo fisiológico que adoptan ante el estrés hídrico. Las plantas bajo déficit hídrico de *C. frutescens* parecen cerrar más sus estomas al déficit hídrico más severo para abriendo paulatinamente a mayores contenidos de agua en el suelo hasta un punto (20 % de humedad) en donde nuevamente empiezan a cerrarse. Por su parte, las plantas de *C. annuum* bajo el mismo tratamiento tienen una apertura de sus estomas de manera lineal al aumento del contenido de humedad del suelo. Salisbury y Ross (1992) explican que el principio fundamental más importante de las respuestas de las plantas al ambiente es el de saturación, a medida que aumenta un parámetro éste alcanza un umbral, por arriba del cual empieza a tener efecto y en consecuencia la respuesta aumenta hasta que el sistema se satura con el parámetro. A partir de

este umbral la curva presenta nuevamente una tendencia de regreso a su estado original. Esta respuesta se observa en la figura 5 para *C. frutescens* donde se presenta una apertura estomática bajo déficit hídrico hasta un contenido de agua del suelo de 20 % para después cerrarlos nuevamente independientemente que el contenido de agua del suelo aumente. Esto significa que *C. frutescens* con ese contenido de agua en el suelo (20 %) alcanza un umbral suficiente para mantener una apertura estomática donde pueda asegurar su transpiración y asegurar la entrada de CO₂. Esto se corrobora en la figura 6 en donde se observa que la transpiración de plantas de *C. frutescens* bajo déficit hídrico se incrementa conforme aumenta el contenido de agua en el suelo y no cae con el cierre estomático. Aunque se presenta el cierre estomático de estas plantas, la transpiración continúa, por lo que es posible afirmar que hasta este umbral la transpiración se hace independiente de la apertura estomática pasando a ser una respuesta más relacionada directamente con el contenido del agua de suelo, que con la apertura estomática. Steudle (2000) menciona la importancia del mantenimiento de la transpiración en plantas bajo déficit hídrico y concluye que cuando se provee de una transpiración suficiente se favorece el flujo de agua mediante fuerzas hidráulicas de tal manera que esto le permite a la planta tener acceso al agua del suelo a bajos potenciales de agua. En términos de adaptación a medios adversos mucho se ha mencionado que el cierre de los estomas puede ser una forma común de evadir la sequía permitiendo a la planta guardar agua en sus tejidos (Ludlow, 1980; Woodward, 1998; Costa Franca *et al.*, 2000, Rodríguez *et al.*, 2005), esto puede comprometer la entrada de CO₂ a

las células mesófilas y consecuentemente reducir las tasas fotosintéticas. Sin embargo, como menciona Costa Franca *et al.* (2000) existen plantas que poseen tolerancia a la sequía a nivel celular y que son capaces de mantener una apertura estomática a severo déficit hídrico. Esto permite una toma de CO₂ aún durante una sequía severa debido a que se tiene conocimiento que los mecanismos fotosintéticos son resistentes a una reducción en el contenido de agua. Esto parece estar ocurriendo en plantas de *C. frutescens* con déficit hídrico cuya apertura estomática es mayor que plantas con déficit de *C. annuum* a bajos contenidos de humedad en el suelo, la mayor transpiración que muestran las plantas bajo déficit hídrico de *C. frutescens* con respecto a plantas del mismo tratamiento de *C. annuum* se debe a una mayor superficie de transpiración de *C. frutescens* reflejada en una mayor área foliar total, este hecho debe ser compensado por otro mecanismo para evitar que la pérdida de agua impacte de manera negativa el desarrollo de la planta. La estrategia de *C. frutescens* es cerrar sus estomas pero solo parcialmente hasta el punto donde permita mantener la transpiración, de esta manera no compromete la producción de tejido fotosintético. Estos resultados se demuestran observando los resultados de clorofila total y clorofila en unidades spad, relacionados con el proceso de fotosíntesis y que presentaron sus mayores valores para plantas bajo déficit hídrico de *C. frutescens*. Por otro lado, los resultados del mayor peso seco de raíz que presentaron las plantas de *C. frutescens* bajo tratamiento de déficit hídrico, muestra un mayor desarrollo de estructura radical representada más que en la longitud de la misma, en número de raíces secundarias (datos no

medidos). El incremento en el número de raíces como estrategia para una mayor captación y retención de agua en plantas bajo condiciones de estrés hídrico ha sido expuesta por otros autores en diferentes especies como maíz, trigo, cebolla y chile (Steudle y Peterson, 1998; Dhanda *et al.*, 2004; Whalley *et al.*, 2001; De Pascale *et al.*, 2003) donde la estrategia es el aumento en la superficie radical para explorar un mayor volumen de suelo y tener una mayor posibilidad de obtención de agua.

Los resultados de las variables morfométricas muestran el estado de domesticación y semi-domesticación de las especies *C. annuum* y *C. frutescens*, respectivamente. El mayor peso seco de raíz, área foliar, número de hojas y longitud de tallo pueden representar una expresión del contenido de la información genética de la planta. Las plantas silvestres de *Capsicum* son plantas herbáceas semi-perennes con un desarrollo erecto y que pueden llegar a medir hasta 4 m de altura, con frutos pequeños, rojos, pungentes y erectos, las semillas presentan latencia a la oscuridad (Hernández-Verdugo *et al.*, 2001). En este caso *C. annuum* ha sufrido gran parte de la transformación de características como las anteriores debido a su domesticación conservando las que se han modificado en mayor beneficio para su cultivo por el hombre, principalmente una mayor tasa de germinación y frutos de mayor tamaño (Hernández-Verdugo *et al.*, 1998). *C. frutescens* por su parte presenta un rompimiento hasta cierto grado de la latencia de sus semillas pero con bajos porcentajes de germinación, condición inicial para ser una planta semi-

domesticada (Ramírez-Meraz *et al.*, 2002; Hernández-Verdugo *et al.*, 1998; Ladisinzky, 1985). Con respecto a las características morfológicas conserva muchas de sus orígenes silvestres anteriormente mencionadas.

7.6 Conclusión

C. frutescens presentó una combinación de estrategias morfológicas y fisiológicas para desafiar su desarrollo ante la exposición a un severo déficit hídrico, como el mayor desarrollo de tejido radicular, el cierre estomático parcial y el mantenimiento de la transpiración para asegurar la absorción de agua a bajos potenciales hídricos. Por su parte, *C. annuum* presentó una respuesta acorde a los síntomas de plantas con menor tolerancia al estrés hídrico como es el aumento de transpiración conforme el aumento del déficit hídrico y una disminución en la superficie transpiratoria de la planta.

Las estrategias morfológicas y fisiológicas presentadas por *C. frutescens* confirman el hecho que la información genética conservada por especies que no han sido totalmente domesticadas por el hombre representan una alternativa que debe ser primeramente conocida, para su conservación y posterior explotación.

7.7 Bibliografía

- Arnon, Daniel I. 1949. **Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoxidase in *Beta vulgaris***. Plant Physiology 24 (1):1-15.
- Chartzoulakis, K. y G. K. Lapaki. 2000. **Response of two greenhouse pepper hybrids to NaCl salinity during different growth stages**. Scientia Horticulturae 86: 247-260.
- De Pascale S., C. Ruggiero, G. Barbieri y G. Maggio. 2003. **Physiological responses of pepper to salinity and drought**. Journal of American Society of Horticulture Science 128 (1):48-54.
- Dhanda, S.S., G. S. Sethi, R. K. Behl. 2004. **Indices of drought tolerance in wheat genotypes at early stages of plant growth**. J. Agronomy & Crop Science 190:6-12.
- Harlan, J. R. 1983. **Directing the accelerated evolution of crops plants**, pp. 61-69. *In: Strategies of Plant Reproduction*. Meudt, J. (eds). Ed. BARC Symposium 6. Allandhel, Osmun Publishers. Granada.
- Herbert del Valle, F. 1992. **Prácticas de relaciones agua-suelo-planta-atmósfera**. UACH, Chapingo, Texcoco, México, 167 p.
- Hernández-Verdugo S., Guevara-González R.G., Rivera-Bustamante R.F., Vázquez-Yáñez C., Oyama K. 1998. **Los parientes silvestres del chile (*Capsicum spp*) como recursos genéticos**. Boletín de la Sociedad Botánica de México 62:171-181.

- Hernandez-Verdugo S., Oyama K., Vazquez-Yanes C. 2001. **Differentiation in seed germination among populations of *Capsicum annuum* along a latitudinal gradient in Mexico.** Plant Ecology 155:245-257.
- Ladinszky G. 1985. **Founder effect in crop-plant evolution.** Economy Botany 39:191-199.
- Larqué-Saavedra A. y C. Trejo L. 1990. **El agua en las plantas: Manual de prácticas de fisiología vegetal.** Editorial Trillas. México 40 pp.
- Ludlow, M. M. 1991. **Adaptative significance of stomatal responses to water stress.** 123-137.
- Costa França M. G., A. T. Pham Thi, C. Pimentel, R. O. Pereyra R., Y. Zuily-Fodil, D. Laffray. 2000. **Differences in growth and water relations among *Phaseolus vulgaris* cultivars in response to induced drought stress.** Environmental and Experimental Botany 43: 227-237.
- Murillo-Amador B., E. Troyo-Diéguez, A. López-Cortés, H. G. Jones, F. Ayala-Chairez, C. L. Tinoco-Ojanguren. 2001. **Salt tolerance of cowpea genotypes in the emergence stage.** Australian Journal of Experimental Agriculture 41:81-88.
- Nieto-Garibay A., B. A. Murillo-Amador, E. Troyo-Diéguez. 2001. **Evaluación de variables ecofisiológicas en plantas de ají (*Capsicum frutescens*) bajo tratamientos de composta y fertilizante químico.** PHYTON, Internacional Journal of Experimental Botany 2001: 25-34
- Ramírez-Meraz M., O. C. Pozo, L. A. Rodríguez del Bosque, T. M. H. Medina, M. Villalón. 2002. **Production technology for piquin pepper (*Capsicum annuum***

var. arvivulare). Proceedings of the 16th International Pepper Conference, Tampico, Tamaulipas, Mexico, pp. 12-13.

Rodríguez P., A. Torrecillas, M. A. Morales. M. F. Ortuño, M. J. Sánchez-Blanco. 2005.

Effects of NaCl salinity and water stress on growth and leaf water relations of *Asteriscos maritimus* plants. Environmental and Experimental Botany 53:113-123.

Salgado, G. R. 1989. **Aislamiento y caracterización de líneas celulares de chile**

(*Capsicum frutescens* L.) resistentes a fluorofenilalanina: implicaciones en la producción de capsaicina. Tesis de maestría en ciencias. Irapuato, Guanajuato. 98 p.

Salisbury B. F. y C. W. Ross. 1992. **Fisiología vegetal.** Grupo Editorial Iberoamérica, México, DF. 750 pp.

Santos-Díaz, M.S. y N., Ochoa-Alejo. 1994. **PEG-tolerant cell clones of chili pepper: growth, osmotic potentials and solute accumulation.** Plant Cell, Tissue and Organ Cult 37:1-8.

Steudle E. y C. A. Peterson. 1998. **How does water get through roots?** Journal of Experimental Botany. 49 (322):775-788.

Steudle E. 2000. **Water uptake by roots: effects of water deficit.** Journal of Experimental Botany. 51 (350):1531-1542.

Tyree, M.T. y Jarvis P.G. 1982. **Water in tissues and cells.** En: Pirson A. y Zimmerman M.H. eds. Encyclopedoa of Plant Physiology, New Series Vol 12B. pp. 35-77. Springer-Verlag, Berlín.

- Turner, N.C y M. M. Jones. 1980. **Turgor Maintenance by Osmotic Adjustment: A Review and Evaluation.** *In:* Adaptation of plants to water and high temperature stress. N.C. Turner & P.J. Kramer (eds) Australia.
- Torres, R. E. 1983. **Agrometeorología.** Diana México 149 p.
- UABCS. 1991. **Manual operativo del laboratorio de suelo y agua.** Manuales Universitarios 8. Universidad Autónoma de Baja California Sur. La Paz. BCS. México 91 p.
- Whalley, W. R.; J. Lipiec; W. E. Finch-Savage; R. E. Cope; L.J. Clark y H. R. Rowse. 2001. **Water stress can induce quiescence in newly-germinated onion (*Allium cepa* L.) seedlings.** Journal of Experimental Botany 52(358):1129-1133.
- Woodward F. I. 1998. **Do plants really need stomata?.** Journal of Experimental Botany. 49:471-480

8. DISCUSION

Los resultados obtenidos en los experimentos de germinación y emergencia mostraron que *C. frutescens* presenta una condición de semi-domesticación debido a su bajo porcentaje de germinación (30 %) y emergencia -comparado con *C. annuum*- además que sus semillas germinaron sin presentar latencia en la oscuridad, ésta última característica es propia de las plantas silvestres de *Capsicum* (Ramírez-Meráz *et al.*, 2002; Hernández-Verdugo *et al.*, 1998). El porcentaje de germinación no presentó diferencias significativas entre las especies de chile ni entre los tratamientos de estrés hídrico inducido a través del Polietilen-glicol 8000 (PEG-8000). El efecto fue evidente en las variables referidas a los tiempos de germinación, el tiempo medio de germinación (TMG) y el tiempo en que tarda el 50 % de la semillas en germinar (T_{50}). En *C. frutescens* fue menor que *C. annuum* en tratamientos menos severos de déficit hídrico. Estos resultados permiten enfocarse en estudios futuros para mejorar el porcentaje de germinación de *C. frutescens* utilizando el PEG-8000 como un pre-acondicionador de semillas, tal como se ha probado en semillas de chile 'pimiento' de la especie *C. annuum* (Sánchez *et al.*, 1999; Trawatha *et al.*, 1990; Zgallai *et al.*, 2005).

A diferencia de lo encontrado en el experimento de germinación utilizando PEG-8000, donde no se presentaron diferencias en la tasa de germinación entre especies, los resultados en el experimento durante la etapa de emergencia de

las dos especies de chile bajo tratamientos de déficit hídrico inducido a través de diferentes intervalos de riego, mostraron que la tasa de emergencia fue cuatro veces superior para las plantas de la especie *C. annuum*, lo que confirma la característica de semi-domesticación de *C. frutescens* en un menor tiempo de emergencia que la especie cultivada (Hernández-Verdugo *et al.*, 1999).

Dentro de los indicadores de la resistencia a la sequía, las proporciones entre la longitud de la raíz con respecto a la parte aérea de la planta, así como la producción de biomasa de ambas partes son uno de los indicadores más utilizados (Murillo-Amador *et al.*, 2001; Kramer, 1989; y Dhanda *et al.*, 2004). Analizando dichas proporciones para ambas especies de chile y el efecto de los tratamientos de estrés hídrico en el experimento de emergencia se encontró que *C. frutescens* presentó una mayor longitud de su raíz con respecto a su parte aérea independientemente del tratamiento de estrés hídrico, tendencia opuesta a la observada en *C. annuum*. Esta tendencia fue similar cuando se analizaron las proporciones de producción de biomasa seca por planta de raíz y parte aérea en el mismo tratamiento (Fig. 4 c Cap. 2). Resultados similares se han obtenido en plántulas de trigo (Dhanda *et al.*, 2004), cebolla (Whalley *et al.*, 2001) y chile (De Pascale *et al.*, 2003), cuando estas especies se expusieron a estrés hídrico..

Aunque en el caso de los resultados obtenidos en el experimento de germinación donde a diferencia de *C. frutescens*, *C. annuum* presentó una mayor proporción de la raíz con respecto a la parte aérea de la planta, es

interesante ver como no se presentan diferencias entre esta proporción para *C. frutescens* entre tratamientos, por lo que el déficit hídrico parece no tener efecto negativo en el crecimiento de *C. frutescens*. Los resultados obtenidos con respecto a este índice de proporción para el experimento de déficit hídrico en plantas de ambas especies de chile en su etapa de desarrollo vegetativo hasta la fructificación, mostraron las mismas tendencias que en los experimentos de germinación y emergencia. Mientras que *C. annuum* presentó un mayor crecimiento en su raíz y parte aérea, cuando se analizan los resultados del peso seco de cada una de las partes, se observa que existe un mayor desarrollo de raíz en *C. frutescens* (Tabla 2, Cap. 3).

Los resultados de la proporción de biomasa de la parte aérea de la planta con respecto a la raíz, mostraron que la biomasa seca de raíz resultó mayor, indicando con ello que parte de la estrategia de *C. frutescens* para adaptarse al déficit hídrico es incrementar la producción de raíces representada en un mayor número de raíces secundarias (datos no medidos) manifestada en una mayor biomasa seca producida comparada con *C. annuum*. El incremento en el número de raíces como estrategia para una mayor captación y retención de agua en plantas bajo condiciones de estrés hídrico ha sido expuesto por diversos autores en diferentes especies como maíz, trigo, cebolla y chile (Steudle y Peterson, 1998; Dhanda *et al.*, 2004; Whalley *et al.*, 2001; De Pascale *et al.*, 2003). La estrategia es el aumento en la superficie radical para explorar un mayor volumen de suelo y tener una mayor posibilidad de obtener agua. Lo

anterior se observa en la figura 4b (Cap. 2) de los resultados del presente estudio en el experimento de emergencia, existe una tendencia en el incremento de la biomasa seca de raíz conforme el déficit hídrico es mayor. En este mismo experimento, en *C. annuum* el crecimiento aparentemente se estimuló en los tratamientos con intervalos de riego de 8, 12 y 18 días, lo cual parece responder a un estado de latencia que se induce al presentarse potenciales bajos de agua en el suelo en donde una vez que se hidrata nuevamente se interrumpe dicho estado estimulando su crecimiento, hasta un umbral crítico de 26 días (tratamiento de estrés hídrico más severo), momento a partir del cual la plántula no crece (Whalley *et al.*, 2001).

Por su parte, *C. frutescens* no presenta efecto negativo en su crecimiento en ninguno de los déficits hídricos. Lo anterior obedece a que las condiciones de aridez en las que se desarrolla *C. frutescens* desde el inicio de su manejo en ambiente de huerto traspatio han conducido a que esta especie posea menor requerimiento hídrico durante su cultivo en comparación con especies de chile cultivadas, como lo es el caso de *C. annuum*, lo cual se considera como un carácter de valor adaptativo (Olf *et al.*, 1994; Meyer *et al.*, 1995).

Los resultados del experimento del desarrollo vegetativo hasta la fructificación de ambas especies de chile mostraron que otra de las estrategias de *C. frutescens* fue reducir significativamente su superficie transpiratoria como mecanismo morfométrico para evadir el estrés hídrico. Los resultados muestran

que esta respuesta se relaciona directamente con el mecanismo fisiológico que adoptan ante el estrés hídrico. La figura 5 (Cap. 3) del experimento correspondiente al desarrollo de la planta hasta su fructificación, muestra que las plantas de *C. frutescens* bajo déficit hídrico mantienen una mayor apertura en sus estomas a bajos déficit hídricos que *C. annuum*. Las plantas de *C. frutescens* bajo déficit hídrico parecen cerrar más sus estomas al déficit hídrico más severo para abrirlos a mayores contenidos de agua en el suelo hasta un punto (20 % de humedad) en donde nuevamente empiezan a cerrarse. Por su parte, las plantas de *C. annuum* bajo el mismo tratamiento evidenciaron una apertura de sus estomas de manera lineal al incrementar el contenido de humedad del suelo.

Salisbury y Ross (1992) afirmaron que el principio fundamental más importante de las respuestas de las plantas al ambiente es el de saturación, a medida que aumenta un parámetro éste alcanza un umbral, por arriba del cual empieza a tener efecto y en consecuencia la respuesta aumenta hasta que el sistema se satura con el parámetro. A partir de este umbral la curva presentó nuevamente una tendencia de regreso a su estado original. Esta respuesta se observa en la figura 5 (Cap. 3) para *C. frutescens* donde se presenta una apertura estomática bajo déficit hídrico hasta un contenido de agua del suelo del 20 % para después cerrarlos nuevamente independientemente del incremento del contenido de agua. Esto significa que *C. frutescens* con ese contenido de agua en el suelo (20 %) llega al umbral donde es suficiente para mantener una apertura estomática

donde pueda asegurar una mayor entrada de CO₂ y el mantenimiento de su transpiración. Lo anterior se corrobora en la figura 6 (Cap. 3) en donde la transpiración de plantas de *C. frutescens* bajo déficit hídrico incrementa conforme aumenta el contenido de agua en el suelo. Aunque se presente el cierre estomático de estas plantas, la transpiración continúa, por lo que se afirma que hasta este umbral la transpiración se hace independiente de la apertura estomática pasando a ser una respuesta más relacionada directamente con el contenido del agua del suelo, que con la apertura estomática.

Steudle (2000) mencionó sobre la importancia del mantenimiento de la transpiración en plantas bajo déficit hídrico y concluyó que cuando se provee de una transpiración suficiente, se favorece el flujo de agua mediante fuerzas hidráulicas de tal manera que esto le permite a la planta tener acceso al agua del suelo a bajos potenciales de agua. En términos de adaptación a medios ambientes adversos se ha mencionado enfáticamente que el cierre de los estomas puede ser una forma común de evadir la sequía permitiendo a la planta guardar agua en sus tejidos (Ludlow, 1980; Woodward, 1998; Costa Franca *et al.*, 2000, Rodríguez *et al.*, 2005), esto puede comprometer la entrada de CO₂ a las células mesófilas y consecuentemente reducir las tasas fotosintéticas. Sin embargo, como menciona Costa Franca *et al.* (2000) existen plantas que poseen tolerancia a la sequía a nivel celular y que son capaces de mantener una apertura estomática a severos déficits hídricos. Esto permite una captura de CO₂ aún durante una sequía severa debido a que es conocido que los mecanismos

fotosintéticos son resistentes a una reducción en el contenido de agua. Lo anterior parece estar ocurriendo en plantas de *C. frutescens* con déficit hídrico cuya apertura estomática es mayor que plantas con déficit de *C. annuum* a bajos contenidos de humedad en el suelo. La mayor transpiración que muestran las plantas bajo déficit hídrico de *C. frutescens* con respecto a plantas del mismo tratamiento de *C. annuum* se debe a una mayor superficie de transpiración de *C. frutescens* reflejada en una mayor área foliar total, este hecho debe ser compensado por otro mecanismo para evitar que la pérdida de agua impacte de manera negativa el desarrollo de la planta.

Según las evidencias encontradas, la estrategia principal de *C. frutescens* fue la de cerrar sus estomas, aunque solo parcialmente hasta el punto donde le fue posible mantener la transpiración. De esta manera no compromete la producción de tejido fotosintético, esta evidencia también se comprueba al observar los resultados de clorofila total y clorofila en unidades spad (fluorescencia relativa instantánea), relacionados con el proceso de fotosíntesis y que presentaron sus mayores valores para plantas bajo déficit hídrico de *C. frutescens*.

9. CONCLUSIONES

- 1.- El nivel de semi-domesticación de plantas de Chile de la especie *C. frutescens* fue evidente en los experimentos realizados durante la germinación y emergencia, debido por un lado a los bajos porcentajes de estas variables con respecto a la especie comercial *C. annuum* y por otro lado, a que la semilla no necesita un tratamiento físico y/o químico para su germinación superando la latencia en la oscuridad como característica común de las semillas silvestres.
- 2.- Las plantas de Chile *C. annuum* mostraron respuestas favorables de crecimiento a determinados déficit hídricos durante la etapa de plántula, detectándose su umbral en los tratamientos de déficit severo. Por su parte, *C. frutescens* no mostró efecto en el crecimiento debido a los tratamientos de déficit hídricos.
- 3.- Se comprobó que el uso de PEG-8000 puede ser útil como acondicionador para mejorar el porcentaje de germinación de semillas de *C. frutescens*.
- 4.- El mejor indicador para detectar la estrategia morfológica de adaptación a un sustrato con déficit hídrico en *C. frutescens* fue la evaluación de la producción de biomasa o peso seco de raíz en plantas.

5.- El mantenimiento de la transpiración pese al cierre parcial estomático de *C. frutescens* a contenidos de agua en suelo del 20 % se presentó como umbral y estrategia de la planta para continuar sus actividades metabólicas como las plantas de la misma especie sin déficit hídrico.

6.- Los resultados obtenidos permiten confirmar los bajos requerimientos de agua de la especie de chile semi-domesticada *C. frutescens* así como conocer más acerca de las estrategias fisiológicas y morfológicas utilizadas para su adaptación a medios de déficit hídrico, lo cual puede ser atribuible al reservorio de información genética que posee y a la diversidad de respuesta que esta información le permite. Por lo anterior, resulta primordial continuar con estudios moleculares de la especie tanto para su conservación como para su uso potencial alternativo tanto en su cultivo como para la obtención de materiales genéticos de ayuda en el mejoramiento de especies vegetales para enfrentar el estrés hídrico.

10. BIBLIOGRAFIA

- Al-Mudari MA, Jutzi SC (1999). **The Influence of fertilizer-based seed priming treatments on emergent and seedling growth of *Sorghum bicolor* and *Pennisetum glaucum* in pot trials under greenhouse conditions.** *Journal of Agronomy & Crop Science* **182**, 135-141.
- Arnon, Daniel I. 1949. **Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoxidase in *Beta vulgaris*.** *Plant Physiology* 24 (1):1-15.
- Basnyake J., M.R. Cooper, G. Henzell y M.M. Ludlow. 1996. **Influence of rate development of water deficit on the expression of maximum osmotic adjustment and desiccation tolerance in three sorghum lines.** *Field Crop Res.* 49:65-76
- Centro Estatal de Información. 2005. **Indicadores Básicos 2002-2005.** Secretaria de Promoción y Desarrollo Económico. Gobierno de Baja California Sur. 382 pp.
- Chartzoulakis, K. y G. K. Lapaki. 2000. **Response of two greenhouse pepper hybrids to NaCl salinity during different growth stages.** *Scientia Horticulturae* 86: 247-260.

- Cheng Z. y J. Bradford. 1999. **Hydrothermal time analysis of tomato seed germination responses to priming treatments.** *Journal of Experimental Botany* **50**, 89-99.
- Costa França M. G., A. T. Pham Thi, C. Pimentel, R. O. Pereyra R., Y. Zuily-Fodil, D. Laffray. 2000. **Differences in growth and water relations among *Phaseolus vulgaris* cultivars in response to induced drought stress.** *Environmental and Experimental Botany* **43**: 227-237.
- De Pascale S., C. Ruggiero, G. Barbieri y G. Maggio. 2003. **Physiological responses of pepper to salinity and drought.** *Journal of American Society of Horticulture Science* **128** (1):48-54.
- Dhanda, S.S., G. S. Sethi, R. K. Behl. 2004. **Indices of drought tolerance in wheat genotypes at early stages of plant growth.** *J. Agronomy & Crop Science* **190**:6-12.
- Emmerich W.E. y S. P. Hardegree. 1991. **Seed germination in polyethylene glycol solution: Effects of filter paper exclusion and water vapor loss.** *Crop Science* **31**, 454-458.
- Finch-Savage W.E., K. Phelps, J.R.A. Steckel, W. R. Whalley y H. R. Rowse. 2001. **Seed reserve-dependent growth responses to temperature and water**

potential in carrot (*Daucus carota* L.) *Journal of Experimental Botany* **52**, 2187-2197.

Fischer R. A. y N. C. Turner. 1975. **Plant productivity in the arid and semiarid zones.** *Annu. Rev. Plant Physiol.* 29: 277-317.

García E. 1981. **Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen.** 2ª. Edición. Instituto de Geografía UNAM. México. 246 pp.

Hacisalihoglu G., A. G. Taylor, D. H. Paine, M. B. Hilderbrand y A. A. Khan. 1999. **Embryo elongation and germination rates as sensitive indicators of lettuce seed quality: Priming and aging studies.** *HortScience* 34, 1240-1243.

Harlan, J. R. 1983. **Directing the accelerated evolution of crops plants,** pp. 61-69. *In: Strategies of Plant Reproduction.* Meudt, J. (eds). Ed. BARC Symposium 6. Allanhel, Osmun Publishers. Granada.

Hawkesford M.J. 2001. **The molecular analysis on plant adaptation to the environment,** pp. 1-15. *In: Molecular analysis of plant adaptations to the environment.* M.J. Hawkesford; P. Buchner (eds). Ed. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht, Netherlands.

Herbert del Valle, F. 1992. **Prácticas de relaciones agua-suelo-planta-atmósfera.**

UACH, Chapingo, Texcoco, México, 167 p.

Hernández-Verdugo S., P. D. Aranda, K Oyama. 1999. **Síntesis del conocimiento taxonómico, origen y domesticación del género *Capsicum*.** *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 64:65-84.

Hernández-Verdugo S., R. G. Guevara-González, R. F. Rivera-Bustamante, C. Vázquez-Yáñez y K. Oyama. 1998. **Los parientes silvestres del chile (*Capsicum spp*) como recursos genéticos.** *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 62:171-181.

Hernandez-Verdugo S., K. Oyama y C. Vazquez-Yáñez. 2001. **Differentiation in seed germination among populations of *Capsicum annuum* along a latitudinal gradient in Mexico.** *Plant Ecology* 155:245-257.

Heywood V.1999. **Use and potential of wild plants in farm households.** FAO.

ISTA (International Seed Testing Association) (1985). International rules for seed testing. *Seed Science and Technology* 13:299-335.

INEGI. 1996. **Estudio hidrológico del estado de Baja California Sur.** INEGI, Gobierno del Estado. 179 pp.

Kramer J.P.1983. **Water relations of plants.** Academic Press, Inc.

Ladinszky G. 1985. **Founder effect in crop-plant evolution.** *Economy Botany* 39:191-199.

Lambers H., F.S. Chapin III y T. L. Pons. 1998. **Plant physiological ecology.** Ed. Springer. New York.

Lanteri S, Acquardo A, Quagliotti L y Portis E. 2003. **RAPD and AFLP assesment of genetic variation in a landrace of pepper (*Capsicum annuum* L.), grown in North-West Italy.** *Genetic Resources Crop Evolution* 50:723-735.

Larqué-Saavedra A. y C. Trejo L. 1990. **El agua en las plantas: Manual de prácticas de fisiología vegetal.** Editorial Trillas. México 40 pp.

Larrinaga-Mayoral J.A. 2001. **Efecto de NaCl sobre la fisiología, crecimiento y producción de plantas de chile (*Capsicum annuum* L.).** Tesis para obtener el título de Doctor en Ciencias. Centro de investigaciones Biológicas del Noroeste, La Paz, B.C.Sur, México. 141 pp.

Ludlow, M. M. 1991. **Adaptative significance of stomatal responses to water stress.** 123-137.

- Maguire J.D. 1962. **Speed of germination- aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor.** *Crop Science* 2: 176-177.
- Main M.A.R. y E. D. Nafziger. 1994. **Seed size and water potential effects on germination and seedling growth of winter weath.** *Crop Science.* 34:169-171.
- Maldonado C., E. Pujado y F. A. Squedo. 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.
- Meyer, S.E.; Kitchen S. G.; Carlos, S. L. 1995. **Seed germination timing patterns intermountain *Penstemos* (Schrophulariaceae).** *American Journal of Botany* 82:377-3889.
- Michel B. E. 1983. **Evaluation of water potential of solutions of polyethylene glycol 8000 both in the absence and presence of other solutes.** *Plant Physiology* 72:76-70.
- Michel B.E., O. K. Wiggins, W. H. Outlaw Jr.1983. **A guide to establishing water potential of aqueous two-phase solutions (polyethylen glycol plus dextran) by amendment with mannitol.** *Plant Physiology* 72:60-65.

- Murillo-Amador B., E. Troyo-Diéguez, A. López-Cortés, H. G. Jones, F. Ayala-Chairez, C. L. Tinoco-Ojanguren. 2001. **Salt tolerance of cowpea genotypes in the emergence stage.** *Australian Journal of Experimental Agriculture* 41:81-88.
- Nieto-Garibay A. 1994. **Evapotranspiración y relaciones hídricas de un cultivo hortícola integrado a un sistema de desalador costero.** Tesis para obtener el título de Biólogo, UNAM, La Paz, BCS. México. 121 pp.
- Nieto-Garibay A. 1999. **Características Generales del Noroeste de México.** En: Ticul A.S. and Patton J.L. (eds), *Los Mamíferos del Noroeste de México.* Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, La Paz, Baja California Sur, Mexico, pp. 14-28.
- Nieto-Garibay A, B. Murillo-Amador, E. Troyo-Diéguez. 2001. **Evaluación de variables ecofisiológicas en plantas de ají (*Capsicum frutescens*) bajo tratamientos de composta y fertilizante químico** *PHYTON, Internacional Journal of Experimental Botany.* 2001: 25-34
- Nieto-Garibay, A.; B. Murillo-Amador, E. Troyo-Diéguez; J. A. Larrinaga-Mayoral, J. L. García-Hernández. 2002. **El uso de compostas como alternativa ecológica para la producción sostenible de chile (*Capsicum annuum* L.) en zonas áridas.** *Interciencia* 27: 417-421

- Olf, H.; D. M. Pegtel; J. M. Van Groenendael; J. P. Bbakker. 1994. **Germination strategies during grassland succession.** *Journal of Ecology* 82:69-77.
- Picó B. y F. Nuez. 2000. **Minor crops of Mesoamérica in early resources (I). Leafy vegetables.** *Genetic Resources and Crop Evolution* 47:527-540.
- Portis E., A. Acquadro, C. Comino y S. Lanteri. 2004. **Effect of farmers' seed selection on genetic variation of a landrace population of pepper (*Capsicum annuum* L.), grown in North-West Italy.** *Genetic Resources and Crop Evolution* 51:581-590.
- Ramírez-Meraz M., O. C. Pozo, L. A. Rodríguez del Bosque, T. M. H. Medina y M. Villalón. 2002. **Production technology for piquin pepper (*Capsicum annuum* var. *arvicolare*).** *Proceedings of the 16th International Pepper Conference*, Tampico, Tamaulipas, Mexico, pp. 12-13.
- Rodríguez P., A. Torrecillas, M. A. Morales. M. F. Ortuño, M. J. Sánchez-Blanco. 2005. **Effects of NaCl salinity and water stress on growth and leaf water relations of *Asteriscos maritimus* plants.** *Environmental and Experimental Botany* 53:113-123.
- Rzedowski, Jerzy. 1978. **Vegetación en México.** LIMUSA. 432 pp. México.

- SAGARPA. 2005. **Reporte mensual de avances de siembra y cosecha. Sistema de Información Agropecuaria y Pesquera.** Año 2005. Delegación Estatal de Baja California Sur.
- Salgado, G. R. 1989. **Aislamiento y Caracterización de Líneas Celulares de Chile (*Capsicum frutescens* L.) resistentes a fluorofenilalanina: implicaciones en la producción de capsaicina.** Tesis de maestría en ciencias. Irapuato, Guanajuato. 98 p.
- Salisbury B. F. y C. W. Ross. 1992. **Fisiología Vegetal.** Grupo Editorial Iberoamérica, México, DF. 750 pp.
- Sánchez J. A., E. Calvo, B. C. Muñoz y R. Orta. 1999. **Comparación de dos técnicas de acondicionamiento de semillas y sus efectos en la conducta germinativa del tomate, pimiento y pepino.** *Cultivos Tropicales* 20:51-56.
- Santos-Díaz M.S. y N. Ochoa-Alejo. 1994. **PEG-tolerant cell clones of chili pepper: growth, osmotic potentials and solute accumulation.** *Plant Cell, Tissue and Organ Culture* 37: 1-8.
- Smith S. D., R. K. Monson y J. E. Anderson 1997. **Physiological Ecology of North American Desert Plants.** Ed. Springer-Verlag Heilderberg 286 p.

Steel R. G. D. y J. H. Torrie. 1985. **Bioestadística principios y procedimientos**. 2da. Ed. McGraw Hill. Bogota, Colombia. 622 pp.

Stephen, P. L. y K. H. M. Siddique. 1994. **Morphological and physiological traits associated with wheat yield increases in Mediterranean environments**. *Adv Agron.* 46:229-276

Steudle E. y C. A. Peterson. 1998. **How does water get through roots?**. *Journal of Experimental Botany.* 49 (322):775-788.

Steudle E. 2000. **Water uptake by roots: effects of water deficit**. *Journal of Experimental Botany.* 51 (350):1531-1542.

Torres, R. E. 1983. **Agrometeorología**. Diana México 149 p.

Trawatha S. E., J. J. Steiner y K. J. Bradford. 1990. **Laboratory vigor tests used to predict pepper seedling field emergence performance**. *Crop Science* 30:713-717.

Turner, N.C y M. M. Jones. 1980. **Turgor Maintenance by Osmotic Adjustment: A Review and Evaluation**. *In: Adaptation of plants to water and high temperature stress*. N.C. Turner & P.J. Kramer (eds) Australia.

Tyree, M.T. y P. G. Jarvis. 1982. **Water in tissues and cells**. En: Pirson A. y Zimmerman M.H. eds. *Encyclopedia of Plant Physiology, New Series Vol 12B*. pp. 35-77. Springer-Verlag, Berlín.

UABCS. 1991. **Manual operativo del laboratorio de suelo y agua**. Manuales Universitarios 8. Universidad Autónoma de Baja California Sur. La Paz. BCS. México 91 p.

Van der Weele M.C., W. G. Spollen, R. E. Sharp y T. I. Baskin. 2000. **Growth of *Arabidopsis thaliana* seedling under water deficit studied by control of water potential in nutrient-agar media**. *Journal of Experimental Botany* 51, 1555-1562.

Whalley, W. R.; J. Lipiec; W. E. Finch-Savage; R. E. Cope; L.J. Clark y H. R. Rowse. 2001. **Water stress can induce quiescence in newly-germinated onion (*Allium cepa* L.) seedlings**. *Journal of Experimental Botany* 52(358):1129-1133.

Woodward F. I. 1998. **Do plants really need stomata?**. *Journal of Experimental Botany*. 49:471-480

Zar J. H. 1999. *Biostatistical Analysis*. 4rd Ed. Prentice Hall.

Zgallai H., K. Steppe y R. Lemeur. 2005. **Photosynthetic, physiological and**

biochemical responses of tomato plants to Polyethylene glycol-induced water stress. *Journal of Integrative Plant Biology.* 47:1470-1478

11. APENDICE

Respuestas de variables morfométricas al déficit hídrico de dos especies de chile (*Capsicum frutescens* L. y *Capsicum annuum* L. Solanaceae).

(Aceptado en SCIENTA-CUCBA)



UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

CENTRO UNIVERSITARIO DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y AGROPECUARIAS

COORDINACIÓN DE INVESTIGACIÓN

CINV.644/06

A QUIEN CORRESPONDA:

Me permito hacer **CONSTAR** que el artículo 'RESPUESTA DE VARIABLES MORFOMÉTRICAS AL DÉFICIT HÍDRICO DE DOS ESPECIES DE CHILE (*CAPSICUM FRUTESCENS* L. Y *CAPSICUM ANNUUM* L., SOLANACEAE)', de los autores **ALEJANDRA NIETO GARIBAY, ENRIQUE TROYO DIÉGUEZ Y EULOGIO PIMIENTA BARRIOS**, fue recibido por un servidor y enviado a revisores, corregido y aceptado para su publicación en el volumen 9 (1) correspondiente a 2007.

Se extiende la presente a petición del interesado para los fines que juzgue convenientes.

ATENTAMENTE "PIENSA Y TRABAJA"

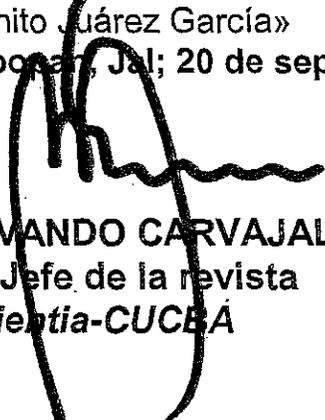
«2006. Año del Bicentenario del Natalicio del Benemérito de las Américas»

Don Benito Juárez García»

Las Agujas, Nextipac; Zapopan, Jal; 20 de septiembre de 2006



COORDINACIÓN DE
INVESTIGACIÓN
CUCBA


DR. SERVANDO CARVAJAL
Editor Jefe de la revista
Scientia-CUCBA

Km. 15.5 Carretera Guadalajara - Nogales
Predio "Las Agujas", Nextipac • AP 1-139
Tel. 37 77 11 55 y Fax 37 77 11 59
Zapopan, 45101, Jalisco, México

Respuestas de variables morfométricas al déficit hídrico de dos especies de chile (*Capsicum frutescens* L. y *Capsicum annuum* L. Solanaceae).

8.1 RESUMEN

Se estudió la respuesta de variables morfométricas al déficit hídrico de plantas de dos especies de chile, *Capsicum frutescens* (especie semidomesticada) y *C. annuum* (especie cultivada), en virtud de la importancia económica que representa el cultivo de chile en Baja California Sur, México, y los factores de estrés que debe enfrentar durante su desarrollo bajo condiciones de sequía. Los resultados muestran que las plantas de ambas especies disminuyeron su número de hojas, la longitud de tallo y sus raíces como respuesta al estrés hídrico. *C. frutescens* bajo déficit hídrico presentó una mayor producción de hojas comparada con plantas de *C. annuum* bajo el mismo tratamiento; dicho mecanismo le permite mantener una transpiración suficiente para realizar sus actividades metabólicas. Las plantas de *C. frutescens* desarrollaron una mayor biomasa seca de raíz lo cual representa la posibilidad de explorar un mayor volumen de suelo y de aprovechar una mayor superficie de captación de agua. *C. frutescens* en comparación con *C. annuum* parece tener mecanismos morfológicos que le han resultado en una mayor adaptación a las condiciones áridas de Baja California Sur, México.

Palabras clave: Variables morfométricas, *C. frutescens*, *C. annuum*, Déficit hídrico.

ABSTRACT

The responses of morphometric variables of plants of two species of chili, *C. frutescens* (semidomesticated species), and *C. annuum* (cultivated species), under water deficit, were studied, due to the economic importance of hot pepper crop in Baja California Sur, México, and to the stress factors that must face during its development under the prevailing conditions of drought. Results show that plants of both species decreased in the number of leaves, length of stem and roots, as a response to water stress. *C. frutescens* under water deficit presented a major production of leaves when compared with plants of *C. annuum* under the same treatment; this mechanism favors to maintain a sufficient transpiration to carry out metabolic activities. Plants of *C. frutescens* developed more root dry biomass which implies the possibility of exploring a major volume of soil and of making use of a major surface of water caption. *C. frutescens* compared to *C. annuum* seems to have morphologic mechanisms that have resulted in a major adaptation to the arid conditions Baja California Sur, México.

Key words: Morphometric variables, *C. frutescens*, *C. annuum*, Water deficit.

8.2 INTRODUCCION

El género *Capsicum* (Solanaceae) representa uno de los cultivos hortícolas más importantes en el mundo; incluye alrededor de 30 especies de las cuales *C. annuum* es una de las especies más cultivadas y por lo tanto de mayor importancia económica tanto en México como en el mundo (Hernández-Verdugo et al., 2001). La especie *C. annuum* está representada por una diversidad de chiles verdes y es cultivada en todo México incluyendo las zonas áridas y semi-áridas del noroeste de México, a pesar de reportarse como una especie sensible a la sequía (De Pascale et al., 2003); su cultivo obedece tanto a su importancia económica como cultural. La especie *C. frutescens* es otra de las especies de chile que ha ido cobrando importancia económica ya que a ella pertenecen los chiles tipo "Tabasco" y "Cayene" comercializados en todo el mundo. Además, es una de las principales especies de donde se extraen los capsaicinoides, metabolitos secundarios utilizados en la industria farmacéutica, cosmetológica y alimentaria (Salgado, 1989). En Baja California Sur, como parte de los estados pertenecientes al noroeste de México, el cultivo de chile se realiza bajo condiciones de precipitación pluvial escasa, la cual oscila entre 100 y 200 mm, con evapotranspiración potencial media anual de 2000 mm y temperaturas de 35 a 40°C durante el verano, por lo que solo puede mantenerse hasta fines de primavera (Murillo-Amador et al. 2001; Nieto-Garibay et al., 2001), con riegos y fertilización adecuados.

En el año 2004 el cultivo del chile en Baja California Sur representó el 7.8% de la superficie total sembrada y casi 39% de la superficie total sembrada con hortalizas. Desde hace varias décadas el cultivo del chile es el segundo más importante dentro de las hortalizas, después del cultivo de tomate en el citado Estado. Desde el punto de vista económico, de este cultivo se obtiene un valor de producción que representa cerca de 9.5% de la producción total y el 16% dentro de las hortalizas, siendo el cultivo más redituable dentro de los cultivos hortícolas junto con el tomate (SAGARPA, 2005). Las principales variedades ('Serrano', 'California', 'Ancho' y 'Pimientos') pertenecen a la especie *Capsicum annuum*, de la cual existen estudios y reportes acerca de las mejores variedades según sus respuestas a ambientes áridos (Santos-Díaz y Ochoa-Alejo 1994; Chartzoulakis y Lapaki 2000). Sin embargo, existen en el Estado especies como *C. frutescens* que ha sido manejada por varias generaciones sucesivas de manera empírica y rústica, en huertos familiares. Presenta características de adaptación a las condiciones ambientales de la región, incluyendo sequías prevaletentes y altas temperaturas, por lo que ha desarrollado mecanismos ecofisiológicos con bajos requerimientos de agua, ciclo de vida más largo y producción sostenida. No ha alcanzado una condición completa de domesticación a causa de su bajo porcentaje de germinación, pero a su vez ha superado condiciones silvestres, como el estado de latencia en semillas sujeto a la oscuridad y a la condición de potencial hídrico (Harlan 1983; Hernández-Verdugo et al., 2001;). Los estudios realizados sobre *C. frutescens* y su adaptación a dichos ambientes son escasos. Por lo anterior, es necesario

ampliar las investigaciones que generen el conocimiento de las estrategias morfológicas, entre otras, que las plantas de este potencial nuevo cultivo presentan, así como su relación con los factores ambientales que caracterizan las zonas áridas. Por otro lado, *C. annuum* y *C. frutescens* son dos de las especies presumiblemente domesticadas en nuestro país cuyo acervo genético es indispensable conservar y estudiar para su mejor aprovechamiento. Por lo anterior, en el presente trabajo se estudiaron las respuestas de algunas variables morfométricas de la variedad de chile 'California' var. 'Joe Parker' de la especie *C. annuum* y una variedad semi-domesticada de *C. frutescens*, establecida en el estado de Baja California Sur tradicionalmente en huertos familiares, con el objetivo de conocer las estrategias morfológicas, así como sus respuestas a las condiciones prevalecientes en ambientes áridos.

8.3 MATERIALES Y METODOS

El trabajo experimental se realizó en el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C. (CIBNOR). El CIBNOR se localiza en la porción meridional de la Península de Baja California, en las coordenadas 24°08' latitud Norte y 110°24' longitud Oeste, a 17 Km. al oeste de la Ciudad de La Paz, en el extremo sur occidental de la Bahía de La Paz Baja California Sur (BCS), México.

8.3.1 Obtención de semillas y plántulas.

Se obtuvieron las semillas fueron obtenidas de plantas sembradas en el CIBNOR que provenien, a su vez, de plantas-progenitoras colectadas en huertos familiares de casas y predios rurales, en El centenario B.C.S., población cercana al CIBNOR. En el caso de *C. annuum*, se utilizaron semillas comerciales de chile tipo California variedad Joe Parker ('FAX', lote MVF-CT-02, con 85% de germinación), la cual es ampliamente cultivada como hortaliza importante en el noroeste de México. Las semillas se sembraron en placas para germinación de unicel con sustrato orgánico comercial (Sun Shine 3 mix), las cuales se regaron a diario con agua corriente. La fertilización que se aplicó consistió en producto fertilizante proporcionado a través del riego con una dosis de 100 ppm de nitrógeno a base de fertilizante comercial (18-18-18 NPK), así como fertilizante foliar comercial equivalente a 20-30-10 (NPK). Una vez que se obtuvieron las plántulas se transplantaron en macetas de plástico con dimensiones y capacidad de 5 litros a los 30 días de haber emergido. El sustrato que se utilizó utilizado fue una combinación de suelo, arena y sustrato orgánico comercial (Sun shine 3 mix) en proporciones 1:1:1 (v:v:v). El suelo, con textura migajón arenosa se extrajo del campo experimental del CIBNOR, donde se realizó el experimento. A los 13 días las plántulas se fertilizaron con una dosis equivalente a 100 ppm de N con un fertilizante a base de 18-18-18 (NPK) y un fertilizante foliar comercial 20-30-10 (NPK), a una dosis de 2 g/L. Las plantas se mantuvieron con suficiente agua hasta el inicio del experimento. Este comenzó una vez que las plantas

tuvieron 25 días de aclimatación en macetas colocadas en un invernadero de malla sombra. Se eligieron plantas homogéneas y se llevaron a capacidad de campo (CC); a partir de este momento se eligieron plantas homogéneas para el tratamiento de déficit hídrico.

8.3.2 Diseño experimental y tratamientos

El trabajo se organizó mediante un diseño completamente al azar con arreglo factorial con dos especies de chile *C. frutescens* L. y *C. annuum* L., un tratamiento de déficit hídrico y el grupo control (sin déficit hídrico); el número de repeticiones varió de 3 a 5 dependiendo de la variable a medir. El tratamiento de déficit hídrico consistió en plantas a las que después de haberse llevado a capacidad de campo no se regaron sino hasta que presentaron síntomas de estrés hídrico (pérdida de turgencia de las hojas desde las primeras horas matinales) sin llegar al punto de marchitamiento permanente. Se contó con 4 tratamientos incluyendo los grupos control, los cuales se describen a continuación:

- 1.- Plantas de chile *C. annuum* sin déficit hídrico (PSDA) (control)
- 2.- Plantas de chile *C. annuum* con déficit hídrico (PCDA)
- 3.- Plantas de chile *C. frutescens* sin déficit hídrico (PSDF) (control)
- 4.- Plantas de chile *C. frutescens* con déficit hídrico (PCDF)

La humedad del suelo (HS) (%) se determinó por el método gravimétrico (Hebert 1992; UABCS Manual operativo del laboratorio de suelo y agua, 1991; Torres, 1983). Se utilizaron 5 macetas por tratamiento como repetición obteniendo una muestra de suelo por maceta, tomando la muestra desde la parte inferior de la maceta hasta la superior. Las muestras de suelo fueron transportadas en recipientes cerrados al Laboratorio de Edafología para obtener el peso fresco de la muestra. Posteriormente las muestras se secaron en un horno de flujo laminar (Blue M, OV-490A) a 80°C hasta alcanzar peso constante (24 horas), para obtener su peso seco y aplicar la ecuación:

$$\% H = \frac{\text{peso de suelo húmedo} - \text{peso de suelo seco}}{\text{Peso de suelo seco}} \times 100$$

Peso de suelo seco

La humedad del suelo se determinó durante todo el experimento.

8.3.3 Medición de variables morfométricas

Se seleccionaron cuatro plantas por tratamiento para obtener las mediciones morfométricas, las cuales consistieron en altura total de planta (AT) (cm), número de hojas (No.H), suma del área foliar (AFT) con medidor de área foliar Li-Cor 3000A (Li-Cor Inc, Lincoln, Nebraska USA), Longitud de raíz (cm) y longitud de tallo (cm). Asimismo se obtuvo el peso fresco de raíz (PFR), tallo (PFT) y hojas (PFH) secando las muestras en un horno a 80°C hasta obtener el valor correspondiente a peso constante, para posteriormente ser pesadas en

una balanza analítica (METTLER TOLEDO, AG204, Japan) y obtener su peso seco (PSR, PST, PSH); los resultados se expresan en gramos. Los datos de las variables de peso se utilizaron para realizar el cálculo de biomasa por planta y total.

8.3.4 Análisis Estadístico

Se realizaron análisis de varianza factoriales y análisis de varianza simples; cuando se detectaban diferencias significativas se aplicó la prueba de comparación de grupos según Fisher LSD (DMS) ($P < 0.05$). Los análisis se realizaron con el programa para computadora Statistica versión 6 de StatSoft.

8.4 RESULTADOS

8.4.1 Humedad del suelo

Los resultados muestran las diferencias significativas de los promedios de la humedad en el suelo entre los tratamientos para ambas especies de Chile con déficit hídrico y sin déficit hídrico

8.4.2 Parámetros morfométricos

Los resultados muestran que el desarrollo del tallo presentó diferencias significativas entre tratamientos; el peso fresco del tallo (PFT) y peso seco del tallo (PST) fueron mayores para las plantas sin déficit hídrico de *C. frutescens*

(PSDF). Se encontró que el menor desarrollo correspondió a las plantas de *C. annuum* en los dos tratamientos (PCDA y PSDA) (Cuadro 1). A su vez, las plantas bajo déficit hídrico de *C. frutescens* (PCDF) presentaron mayores valores de PFT, PST y LT que las plantas bajo los tratamientos PCDA y PSDA pero más bajos que PSDF. El desarrollo de las hojas de las plantas PSDF presentaron los mayores valores para las variables peso fresco de las hojas (PFH), peso seco de las hojas (PSH), número de hojas (No.H) y área foliar total (AFT). Los tratamientos restantes presentaron valores menores y en el caso del No.H las plantas de *C. frutescens* presentaron un mayor valor comparadas a PSDA y PCDA. La producción de frutos mostró diferencias significativas en número para las plantas PCDA con un menor número que el resto de los tratamientos, en tanto que las plantas de PSDA mostraron mayores valores de PFF y PSF que el resto de los tratamientos (Cuadro 2). El desarrollo de la raíz mostró diferencias significativas en las variables de peso fresco de raíz (PFR) y longitud de raíz (LR), donde las plantas del tratamiento PCDF presentaron un menor valor. En cuanto al peso seco de raíz (PSR), las plantas de la especie *C. annuum* bajo ambos tratamientos presentaron un menor PSR (Cuadro 2). En cuanto a los índices 'peso fresco de raíz'/ 'peso fresco de parte aérea' (PFR/PFA) y 'Longitud de raíz'/ 'longitud de parte aérea' (LR/LA), las plantas de los tratamientos PCDA y PSDA presentaron un mayor valor que las plantas de PCDF y PSDF. La relación de peso seco de raíz/peso seco de parte aérea (PSR/PSA) fue significativa para las PCDA presentando un valor menor que el resto de los tratamientos (Cuadro 3). Al analizar los datos mediante ANOVA simple para conocer las diferencias

entre especies, se encontró que *Capsicum frutescens* obtuvo los valores mayores con respecto al desarrollo del tallo (PFT, PST LT) y hoja (PFH, PSH, No.H, AFT) que *C. annuum*. Con respecto al desarrollo de raíz se muestra que las plantas de *C. frutescens* presentaron una menor longitud de raíz, sin embargo presentaron un mayor peso seco de las mismas y no presentaron diferencias significativas en el peso fresco. En cuanto a los frutos producidos, no se detectaron diferencias significativas en el número de frutos entre especies. Las diferencias del peso fresco y seco de frutos (PFF y PSF) se presentaron entre especies de Chile; *C. annuum* presentó mayor de PFF y PSF que *C. frutescens* (Cuadro 4). La relación PFR/PFA y LR/LA fue mayor para *C. annuum*, mientras que para PSR/PSA no fue significativa (Cuadro 5).

Tabla 1. Promedios (n = 68) y resultado del análisis de grupos homogéneos de la prueba de Fisher LSD ($P = 0.01$) PSDA plantas de *C. annuum* sin déficit hídrico, PSDF plantas de *Capsicum frutescens* sin déficit hídrico, PCDF plantas de *C. frutescens* con déficit hídrico y PCDA plantas de *C. annuum* con déficit hídrico.

Tratamientos	HS (%)
PSDA	19b*
PCDA	11a
PSDF	21b
PCDF	11a

8Literales distintas por columna indican diferencias estadísticas

Tabla 2. Resultados del análisis de grupos homogéneos de Fisher LSD ($P = 0.01$) de las variables morfométricas medidas en los diferentes tratamientos ($n = 4$). PSDA plantas de *Capsicum annuum* sin déficit hídrico, PSDF plantas de *C. frutescens* sin déficit hídrico, PCDF plantas de *C. frutescens* con déficit hídrico, PCDA plantas de *C. annuum* con déficit hídrico.

	PFT	PST	LT	PFH	PSH	No.H	AFT	No.F	PFF	PSF	PFR	PSR	LR
PSDA	23.3 ^{a*}	3.7a	35.4a	26.5a	4ab	49.8a	1039ab	6.4a	43.3b	5.7b	10.6a	1.4a	22.4ab
PCDA	17.5a	2.6a	30.5a	20a	3a	36.6a	889a	2.4b	13.9a	1.7a	11a	1.5a	22.6b
PSDF	53.9c	13.6c	55.8b	38b	8c	175.5c	1833c	5.7a	3.1a	0.60a	10ab	3.3c	19.7ab
PCDF	36.7b	9.17b	49.4b	27.6a	5.7b	127.4b	1338b	6.4a	2.7a	0.50a	7b	2.4b	17.4a

PFT peso fresco de tallo (g), PST peso seco de tallo (g), LT longitud de tallo (cm), PFH peso fresco de hojas (g), PSH peso seco de hojas (g), No.H número de hojas, AFT área foliar total (cm²), No.F número de frutos, PFF peso fresco de frutos (g), PSF peso seco de frutos (g), PFR peso fresco de raíz (g), PSR peso seco de raíz (g), Longitud de raíz (cm). *Literales distintas por columna indican diferencias estadísticas.

Tabla 3. Resultados de comparación de grupos según la LSD (DMS) de Fisher ($P = 0.01$) para las variables de las proporciones en los diferentes tratamientos ($n = 4$). PSDA plantas de *C. annuum* sin déficit hídrico, PSDF plantas de *C. frutescens* sin déficit hídrico, PCDF plantas de *C. frutescens* con déficit hídrico, PCDA plantas de *C. annuum* con déficit hídrico. Literales distintas por columna indican diferencias estadísticas.

Tratamientos	PFR/PFA	PSR/PSA	LR/LA
PSDA	0.218b*	0.181a	0.635b
PCDA	0.306b	0.267b	0.746b
PSDF	0.108a	0.154a	0.355 ^a
PCDF	0.113a	0.162a	0.351 ^a

PFR = Peso fresco de raíz, PFA = peso fresco parte aérea de la planta, PSR = Peso seco de raíz, PSA = peso seco de la parte aérea de la planta, LR = Longitud de raíz. *Literales distintas por columna indican diferencias estadísticas.

Tabla 4. Promedios (n = 4) y resultados de la comparación de grupos por prueba de LSD (DMS) de Fisher ($P = 0.01$) de las variables morfométricas de las dos especies de chile.

Espece	PFT	PST	LT	PFH	PSH	No.H	AFT	No.F	PFF	PSF	PFR	PSR	LR
<i>C. annuum</i>	20.4 ^{a*}	3.2a	32.9a	23.3a	3.7a	43.2a	964a	4.40	28.6a	3.7a	10.8	1.4a	22.5a
<i>C. frutescens</i>	44.3b	11.1b	52.2b	32.3b	6.7b	148b	1558b	5.11	2.9b	0.5b	8.4	2.8b	18.4b

PFT peso fresco del tallo, PST peso seco del tallo, LT longitud del tallo, PFH peso fresco de hojas, PSH peso seco de hojas, No.H número de hojas, AFT área foliar total, No.F número de frutos, PFF peso fresco de frutos, PSF peso seco de frutos, PFR peso fresco de raíz, PSR peso seco de raíz, Longitud de raíz. * Literales distintas por columna indican diferencias estadísticas.

Tabla 5. Promedios (n = 4) y resultados de la comparación de grupos por la prueba LSD (DMS) de Fisher (P = 0.01) de las relaciones entre PFR = Peso fresco de raíz, PFA = peso fresco parte aérea de la planta, PSR = Peso seco de raíz, PSA = peso seco de la parte aérea de la planta y LR = Longitud de raíz.

Especie	PFR/PFA	PSR/PSA	LR/LA
<i>C. annuum</i>	0.262 ^{a*}	0.224	0.691 ^a
<i>C. frutescens</i>	0.111b	0.159	0.353b

*Literales distintas por columna indican diferencias estadísticas.

8.5 DISCUSION

El menor desarrollo de hojas, tallo y raíz de plantas bajo déficit hídrico de ambas especies de Chile es un claro efecto del estrés hídrico en plantas (Rodríguez et al., 2005). Lo anterior puede manifestarse como un mecanismo para evadir la pérdida de agua a través de la reducción de la superficie transpiratoria de la planta representada principalmente por el tejido foliar en el cual se lleva a cabo. ocurre la mayor pérdida de agua por transpiración (Turner y Jones, 1980; Salisbury y Ross, 1994). Los resultados de la comparación entre especies muestra que las plantas de *Capsicum frutescens* bajo estrés hídrico presentaron un mayor desarrollo de hojas, tallo y peso seco de raíz que las plantas de *C. annuum* bajo el mismo tratamiento. Esto representa para *C. frutescens* un mecanismo para asegurar una superficie transpiratoria suficiente para llevar a cabo sus actividades metabólicas. Como menciona Steudle (2000), el mantenimiento de la transpiración en plantas bajo déficit hídrico es de suma importancia y cuando se provee de una transpiración suficiente se favorece el flujo de agua mediante fuerzas hidráulicas de tal manera que esto le permite a la planta tener acceso al agua del suelo a bajos potenciales de agua. Por otro lado, los resultados del mayor peso seco de raíz que presentaron las plantas de *C. frutescens* bajo tratamiento de déficit hídrico, muestra un mayor desarrollo de estructura radical representada al parecer en número de raíces secundarias (datos no medidos), más que en la longitud de la misma. El incremento en el número de raíces como estrategia para una mayor captación y retención de

agua en plantas bajo condiciones de estrés hídrico ha sido expuesto por diversos autores en diferentes especies como el maíz, trigo, cebolla y chile (Steudle y Peterson 1998; Whalley et al. 2001; De Pascale et al. 2003 Dhanda et al. 2004). Una estrategia común es el aumento en la superficie radical para explorar un mayor volumen de suelo y tener una mayor posibilidad de obtención de agua. Por otro lado, los resultados de las variables morfométricas muestran el estado de domesticación y semi-domesticación de la especie *C. annuum* y *C. frutescens* respectivamente. El mayor peso seco de raíz, área foliar, número de hojas y longitud de tallo pueden representar una expresión del contenido de la información genética de la planta. Las plantas silvestres de *Capsicum* son plantas herbáceas semi-perennes con un desarrollo erecto y que pueden llegar a medir hasta 4 m de altura; los frutos son pequeños, rojos, pungentes y erectos, en tanto que las semillas presentan latencia a la oscuridad (Hernández-Verdugo et al. 2001). En contraste, la especie *C. annuum* ha sido sometida a una transformación de características, debido a su domesticación y mejoramiento, conservando las que se han modificado en mayor beneficio para ser cultivada como hortaliza mejorada por el hombre, buscando una mayor tasa de germinación y uniformidad de frutos de mayor tamaño (Hernández-Verdugo et al. 1998). *C. frutescens* por su parte permite una alteración o rompimiento hasta cierto grado de la latencia de semillas, pero con bajos porcentajes de germinación, condición inicial común de una planta semi-domesticada (Ladisinzky 1985; Hernández-Verdugo et al. 1998; Ramírez-Meraz et al., 2002).

Con respecto a las características morfológicas, *C. frutescens* conserva varios de sus atributos originales anteriormente mencionados.

8.6 CONCLUSIONES

Los parámetros morfométricos evaluados reflejaron el estado de mayor adaptación de *Capsicum frutescens* a las condiciones de sequía del suelo que caracteriza la región árida y la sensibilidad de la especie *C. annum* a dichas condiciones. Para enfrentar la sequía, la estrategia morfo-fisiológica de la especie *C. frutescens* incluye el mantenimiento de una transpiración a través de una mayor producción de tejido foliar y producción de biomasa seca de raíz. La condición semidomesticada de *C. frutescens* se reflejó en su morfometría expresando una mayor altura de la planta y menor tamaño y peso de frutos, características propias de plantas silvestres del género *Capsicum*.

8.7 LITERATURA CITADA

- Chartzoulakis, K. y G. K. Lapaki. 2000. Response of two greenhouse pepper hybrids to NaCl salinity during different growth stages. *Scientia Horticulturae* **86**: 247-260.
- De Pascale, S., C. Ruggiero, G. Barbieri y G. Maggio. 2003. Physiological responses of pepper to salinity and drought. *Journal of American Society of Horticulture Science* **128** (1):48-54.
- Dhanda, S.S., G. S. Sethi y R. K. Behl. 2004. Indices of drought tolerance in wheat genotypes at early stages of plant growth. *Journal of Agronomy & Crop Science* **190**:6-12.
- Harlan, J. R. 1983. **Directing the accelerated evolution of crops plants**, pp. 61-69. *In: Strategies of Plant Reproduction*. Meudt, J. (eds). Ed. BARC Symposium 6. Allandhel, Osmun Publishers. Granada.
- Herbert del Valle, F. 1992. *Prácticas de relaciones agua-suelo-planta-atmósfera*. UACH, Chapingo, Texcoco, México, 167 p.
- Hernandez-Verdugo S., K., Oyama y C. Vazquez-Yanes. 2001. Differentiation in seed germination among populations of *Capsicum annuum* along a latitudinal gradient in Mexico. *Plant Ecology* **155**:245-257.
- Hernández-Verdugo S., R. G. Guevara-González, R. F. Rivera-Bustamante, C. Vázquez-Yañez y K. Oyama. 1998. Los parientes silvestres del chile (*Capsicum* spp) como recursos genéticos. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* **62**:171-181.

- Ladinszky, G. 1985. Founder effect in crop-plant evolution. *Economy Botany* **39**:191-199.
- Murillo-Amador, B., E. Troyo-Diéguéz, A. López-Cortés, H. G. Jones, F. Ayala-Chairez y C. L. Tinoco-Ojanguren. 2001. Salt tolerance of cowpea genotypes in the emergence stage. *Australian Journal of Experimental Agriculture* **41**:81-88.
- Nieto-Garibay, A., B. Murillo-Amador y E. Troyo-Diéguéz. 2001. Evaluación de variables ecofisiológicas en plantas de ají (*Capsicum frutescens*) bajo tratamientos de composta y fertilizante químico. *PHYTON, Internacional Journal of Experimental Botany* **2001**: 25-34
- Ramírez-Meraz, M., O. C. Pozo, L. A. Rodríguez del Bosque, T. M. H. Medina y M. Villalón. 2002. Production technology for piquin pepper (*Capsicum annuum* var. arvivulare). Proceedings of the 16th International Pepper Conference, Tampico, Tamaulipas, Mexico, pp. 12-13.
- Rodríguez, P., A. Torrecillas, M. A. Morales. M. F. Ortuño, M. J. Sánchez-Blanco. 2005. Effects of NaCl salinity and water stress on growth and leaf water relations of *Asteriscos maritimus* plants. *Environm. and Experim. Botany* **53**:113-123.
- Salgado, G. R. 1989. Aislamiento y Caracterización de Líneas Celulares de Chile (*Capsicum frutescens* L.) resistentes a fluorofenilalanina: implicaciones en la producción de capsaicina. Tesis de M. en C. Irapuato, Guanajuato. 98 p.
- Salisbury, B. F. y C. W. Ross. 1992. **Fisiología Vegetal**. Grupo Editorial Iberoamérica, México, DF. 750 p.

Antos-Díaz, M.S. y N. Ochoa-Alejo. 1994. PEG-tolerant cell clones of chili pepper: growth, osmotic potentials and solute accumulation. *Plant Cell, Tissue and Organ Cult* **37**:1-8.

AGARPA. 2005. Reporte mensual de avances de siembra y cosecha. Sistema de Información Agropecuaria y Pesquera. Año 2005. Delegación Estatal de Baja California Sur.

teudle, E., y C. A. Peterson. 1998. How does water get through roots?. *Journal of Experimental Botany*. **49** (322):775-788.

teudle, E. 2000. Water uptake by roots: effects of water deficit. *Journal of Experimental Botany*. **51** (350):1531-1542.

Torres, R. E. 1983. Agrometeorología. Diana México 149 p.

Turner, N.C. y M. M. Jones. 1980. Turgor Maintenance by Osmotic Adjustment: A Review and Evaluation. *In: Adaptation of plants to water and high temperature stress*. N.C. Turner & P.J. Kramer (eds) Australia.

UABCS. 1991. Manual operativo del laboratorio de suelo y agua. Manuales Universitarios 8. Universidad Autónoma de Baja California Sur. La Paz. BCS. México 91 p.

Whalley, W. R., J. Lipiec, W. E. Finch-Savage, R. E. Cope, L.J. Clark y H. R. Rowse. 2001. Water stress can induce quiescence in newly-germinated onion (*Allium cepa* L.) seedlings. *Journal of Experimental Botany* **52**(358):1129-1133.