



COLEGIO DE POSTGRADUADOS
INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSGRADO DE RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD

FRUTICULTURA

**PLÁNTULAS DE CHABACANO (*Prunus armeniaca* L.) Y SU
RESPUESTA FISIOLÓGICA A CICLOS DE RIEGO-SEQUÍA**

ARELLANO OJEDA CARLOS

T E S I S

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:**

MAESTRO EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO.

2014

CARTA DE CONSENTIMIENTO DE USO DE LOS DERECHOS DE AUTOR Y DE LAS REGALIAS COMERCIALES DE PRODUCTOS DE INVESTIGACION

En adición al beneficio ético, moral y académico que he obtenido durante mis estudios en el Colegio de Postgraduados, el que suscribe Carlos Arellano Ojeda

Alumno de esta Institución, estoy de acuerdo en ser partícipe de las regalías económicas y/o académicas, de procedencia nacional e internacional, que se deriven del trabajo de investigación que realicé en esta institución, bajo la dirección del Profesor Dr. Carlos Trejo López, por lo que otorgo los derechos de autor de mi tesis Plántulas de chabacano (*Prunus armeniaca* L.) y su respuesta fisiológica a ciclos de riego-sequía

y de los producto de dicha investigación al Colegio de Postgraduados. Las patentes y secretos industriales que se puedan derivar serán registrados a nombre el colegio de Postgraduados y las regalías económicas que se deriven serán distribuidas entre la Institución. El Consejero o Director de Tesis y el que suscribe, de acuerdo a las negociaciones entre las tres partes, por ello me comprometo a no realizar ninguna acción que dañe el proceso de explotación comercial de dichos productos a favor de esta Institución.

Montecillo, Mpio. de Texcoco, Edo. de México. a 16 de Junio de 2014


Firma

Carlos Trejo L.
Dr. Carlos Trejo López
Vo. Bo. del Consejero o Director de Tesis

La presente tesis titulada: 'Plántulas de chabacano (*Prunus armeniaca* L.) y su respuesta fisiológica a ciclos de riego-sequía', realizada por el alumno Carlos Arellano Ojeda, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS
RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD
FRUTICULTURA

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO



DR. ALBERTO ENRIQUE BECERRIL ROMÁN

DIRECTOR



DR. CARLOS TREJO LÓPEZ

ASESOR



DR. CARLOS RAMÍREZ AYALA

ASESOR



M.C. DAVID JAÉN CONTRERAS

Montecillo, Texcoco, Estado de México, Junio de 2014.

PLÁNTULAS DE CHABACANO (*Prunus armeniaca* L.) Y SU RESPUESTA FISIOLÓGICA A CICLOS DE RIEGO-SEQUÍA

RESUMEN

Con el objetivo de identificar la sensibilidad de variables fisiológicas y de crecimiento en plántulas de *P. armeniaca*, se realizó un experimento bajo cubierta durante el periodo abril-julio del 2013 en Montecillo, Texcoco, Estado de México. Se utilizaron plántulas de siete meses de edad obtenidas a partir de colectas realizadas en la localidad de San Juan Tetla, San Lorenzo Chiautzingo, Puebla. Se estableció un diseño experimental completamente al azar con dos tratamientos y 15 repeticiones, el primero consistió en la aplicación de ciclos repetidos de riego-sequía y el segundo, en la aplicación de riegos frecuentes manteniendo el suelo con valores cercanos a la capacidad de campo (tratamiento testigo). Cada tratamiento se conformó de 75 individuos (plántulas), considerando una plántula como unidad experimental. Se determinó intercambio de gases (conductancia estomática y tasa de asimilación), crecimiento (altura, diámetro y número de hojas), potencial de agua, osmótico y de turgencia, prolina en hojas, materia seca en hojas tallos y raíces, y nutrientes (fósforo, potasio, calcio y magnesio). Además el porcentaje de humedad del suelo donde se desarrollaron las plántulas, el porcentaje de colonización micorrízica en raíces y el número de esporas presentes en suelo. Las plántulas con ciclos repetidos de riego-sequía no recuperaron los valores de conductancia estomática observados en el testigo ($72.88 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), sin embargo, se desarrollaron en condiciones de suelo con porcentajes de humedad y contenido volumétrico de agua por debajo del punto de marchitamiento permanente (-1.5 MPa), lo que ocasiono una clara reducción de su crecimiento, el aumento en la concentración de prolina, la disminución en las concentraciones de fósforo (hojas y tallos) y potasio (hojas, tallos y raíz), y el aumento de calcio (hojas y raíz) y magnesio (hojas y tallos). Se identificaron tres géneros de hongos micorrízicos: *Acaulospora scrobiculata*, *Scutellispora dipapillosa* y *Gigaspora nigra*, con un porcentaje de colonización de 58.6 % y se contabilizaron 192 esporas en suelo.

Palabras clave: Chabacano, sequía, humedad en suelo.

SEEDLINGS OF APRICOT (*Prunus armeniaca* L.) AND ITS PHYSIOLOGICAL RESPONSE TO IRRIGATION-DROUGHT CYCLES.

ABSTRACT

To identify the sensitivity of physiological and growth variables in seedlings of *P. armeniaca*, an experiment was carried out under cover during from April to July 2013 in Montecillo, Texcoco, State of Mexico. Seedlings seven months old were obtained from seeds from collections made in the town of San Juan Tetla, San Lorenzo Chiautzingo, Puebla. A completely randomized design with two treatments and 15 repetitions was used, the first treatment consisted of repeated cycles of irrigation-drought, the second treatment (control) was irrigated frequently maintaining soil water content close to field capacity. Each treatment had 75 seedlings, being a seedling an experimental unit. It was determined gas exchange (stomatal conductance and assimilation rate), growth (height, stem diameter and number of leaves), water, osmotic and turgor potentials, proline content in leaves, dry matter of stems, leaves and roots, and nutrients content (phosphorus, potassium, calcium and magnesium). Furthermore the soil moisture content where the seedlings were growing, the percentage of mycorrhizal colonization in roots and the number of spores in the soil was also determined. Seedlings with repeated cycles of irrigation-drought did not recover the stomatal conductance values observed in the control ($72.88 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), which seems reasonable since they were eventually growing in soil water content having values far under the permanent wilting point (-1.5 MPa). This caused growth reduction, increase in proline concentration, the decrease in the concentrations of phosphorus (leaves and stems) and potassium (leaves, stems and roots), and increased calcium (leaves and roots) and magnesium (leaves and stems). Three kinds of mycorrhizae were observed: *Acaulospora scrobiculata*, *Scutellispora dipapillosa* y *Gigaspora nigra*, with a percentage of 58.6% colonization and counting 192 spores in the soil.

Keywords: Apricot, drought, soil moisture.

A mi familia, que son el motor e impulso que me hacen seguir adelante, es por ustedes que he logrado lo que hasta ahora he conseguido, muchas gracias a todos por su apoyo incondicional, tanto en las buenas, como en las malas.

AGRADECIMIENTOS

A mi país México y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por brindarme la oportunidad de demostrar que siempre es posible seguir superándose, no importan los obstáculos ni los problemas que uno enfrente en la vida.

Al Colegio de Postgraduados Campus Montecillo que me dio la oportunidad de continuar con mi carrera profesional, creer en mí y apoyarme en lo necesario para alcanzar mis metas.

A mi Consejo Particular, los Doctores Carlos Trejo López, Alberto Enrique Becerril Román, Carlos Ramírez Ayala y al M.C. David Jaén Contreras, a todos y cada uno de ellos, les agradezco su asesoría, apoyo y, sobre todo, su amistad.

A mis padres Eustaquio Arellano Ojeda y Felipa Ojeda Salgado, mis hermanos Gregorio, Francisca, Angélica y Laura, que son parte fundamental de mi existir, no sé qué habría hecho sin su apoyo.

Un agradecimiento muy especial a mí primo Yerevan Arellano Osorio que junto con mi hermana Laura, fueron las personas que más me ayudaron en la fase de campo y toma de muestras, así como recorridos y observaciones. Muchas gracias, sin su apoyo no lo hubiera logrado.

A Hildegard Berenice List Montesinos, por tu ejemplo, cariño, constancia y perseverancia, lo hemos conseguido. Te quiero.

CONTENIDO

RESUMEN.....	iv
ABSTRACT.....	v
1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 OBJETIVO GENERAL.....	4
1.1.1 Objetivos específicos.....	4
1.2 HIPÓTESIS.....	4
2.- REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
2.1 Generalidades del chabacano.....	5
2.1.1 Origen.....	6
2.1.2 El cultivo en México.....	7
2.1.2.1 Generalidades en México.....	7
2.2 Agua.....	8
2.3 Suelo.....	9
2.4 Estrés hídrico.....	10
2.4.1 Respuesta de la planta a condiciones de déficit hídrico.....	11
2.4.2 Respuesta de las hojas al estrés.....	11
2.4.3 Respuesta de la raíz al estrés.....	11
2.5 Respuesta fisiológica al estrés.....	12
2.5.1 La generación de déficit hídrico en la planta.....	13
2.5.2 Efectos del déficit hídrico en la nutrición de las plantas	14
2.6 Micorrizas y el estrés hídrico.....	16
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	18
3.1 Origen del material.....	18
3.2 Recolección de semillas.....	19
3.3 Selección de árboles de chabacano y análisis realizados a frutos.....	19
3.4 Ubicación de puntos de monitoreo de la humedad del suelo.....	21
3.5 Establecimiento del experimento.....	22
3.5.1 Escarificación y estratificación de semillas.....	22
3.5.2 Trasplante a bolsa de vivero.....	22
3.5.3 Ubicación del experimento.....	23
3.6 Diseño experimental.....	24

3.7 Determinación de variables.....	24
3.7.1 Intercambio de gases: Conductancia estomática y tasa de asimilación.....	25
3.7.2 Variables de crecimiento: Altura, diámetro y número de hojas.....	25
3.7.3 Potencial de agua.....	25
3.7.4 Potencial osmótico.....	26
3.7.5 Potencial de turgencia.....	27
3.7.6 Porcentaje de humedad en el suelo.....	27
3.7.7 Materia seca.....	27
3.7.8 Prolina.....	28
3.7.9 Nutrientes.....	29
3.7.9.1 Fósforo (P ⁺).....	30
3.7.9.2 Potasio (K ⁺).....	30
3.7.9.3 Calcio (Ca ⁺⁺) y Magnesio (Mg ⁺⁺).....	30
3.8.0 Determinación de micorrizas arbusculares.....	30
3.8.0.1 En raíz.....	30
3.8.0.2 En suelo.....	31
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	32
4.1 Variables de calidad de los frutos de árboles de chabacano.....	32
4.2 Características físico-químicas del suelo	33
4.3 Monitoreo del contenido de humedad en el suelo en la zona de estudio.....	34
4.4 Intercambio de gases.....	37
4.4.1 Conductancia estomática (g_s).....	37
4.4.2 Tasa de asimilación (A).....	38
4.5 Variables de crecimiento.....	39
4.5.1 Altura.....	39
4.5.2 Diámetro.....	40
4.5.3 Número de hojas.....	41
4.6 Potencial de agua.....	42
4.7 Potencial osmótico.....	43
4.8 Potencial de turgencia.....	44
4.9 Porcentaje de humedad en suelo.....	46
4.10 Materia seca.....	48

4.10.1 En hojas.....	48
4.10.2 En tallos.....	49
4.10.3 En raíz.....	50
4.11 Prolina.....	53
4.12 Nutrientes.....	54
4.12.1 Fósforo (P ⁺).....	54
4.12.1.1 En hojas.....	54
4.12.1.2 En tallos.....	55
4.12.1.3 En raíz.....	56
4.12.2 Potasio (K ⁺).....	57
4.12.2.1 En hojas.....	57
4.12.2.2 En tallos.....	58
4.12.2.3 En raíz.....	59
4.12.3 Calcio (Ca ⁺⁺).....	61
4.12.3.1 En hojas.....	61
4.12.3.2 En tallos.....	62
4.12.3.3 En raíz.....	62
4.12.4 Magnesio (Mg ⁺⁺).....	64
4.12.4.1 En hojas.....	64
4.12.4.2 En tallos.....	64
4.12.4.3 En raíz.....	66
4.13 Micorrizas arbusculares	67
4.13.1 En raíz.....	67
4.13.2 En suelo.....	68
4.13.2.1 <i>Acaulospora scrobiculata</i>	68
4.13.2.2 <i>Scutellispora dipapillosa</i>	70
4.13.2.3 <i>Gigaspora nigra</i>	71
5. CONCLUSIONES.....	73
6. LITERATURA CITADA.....	74
7. APÉNDICE.....	87

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Diferencias observadas respecto a la producción de chabacano en riego y temporal durante el año 2012.....	7
Cuadro 2. Información básica de los árboles seleccionados de <i>P. armeniaca</i> para la obtención de frutos durante el mes de mayo en la localidad de San Juan Tetla. La denominación SJ indica la población (San Juan) y el número de árbol correspondiente.....	20
Cuadro 3. Curva de calibración de prolina (cada valor es el promedio de tres repeticiones por cada punto de la curva)	28
Cuadro 4. Calidad de fruto de chabacano obtenido de cuatro árboles provenientes de la localidad de San Juan Tetla, San Lorenzo Chiautzingo, Puebla.....	32
Cuadro 5. Características físico-químicas de dos muestras de suelo provenientes de la localidad de San Juan Tetla, San Lorenzo Chiautzingo, Puebla.....	34

ÍNDICE DE CUADROS DEL APÉNDICE

Cuadro 1A. Resumen de análisis de varianza por muestreo de las variables en estudio (indicadas en negrillas a la derecha), en el experimento realizado con plántulas de <i>Prunus armeniaca</i> colectadas en la localidad de San Juan Tetla, Chiautzingo, Pue., sometidas a ciclos de riego-sequía.....	87
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1.** Ubicación geográfica del municipio de San Lorenzo Chiautzingo, perteneciente al estado de Puebla, donde se colectaron semillas de chabacano (*Prunus armeniaca* L.) desarrolladas en zonas de temporal18
- Figura 2.** De izquierda a derecha. A) árbol seleccionado de *P. armeniaca* con base en su adaptación, B) frutos cosechados en etapa de madurez fisiológica, C) semillas obtenidas después de los procesos de despulpado y secado.....19
- Figura 3.** De izquierda a derecha. A) frutos de *P. armeniaca*, después de ser sometidos a la prueba de firmeza, B) muestras concluidas de acidez titulable.....21
- Figura 4.** Ilustración representativa en la que se observa cómo se colocó la muestra vegetal en la cámara de presión o de “Scholander” (Hernández, 2007).....26
- Figura 5.** Fluctuación de la humedad en el suelo en un periodo de 20 meses en el punto de muestreo 1 (coordenadas 19° 12´ 08.4" de latitud N y 98° 32' 25.3" de longitud O) donde se recolectaron semillas para la obtención de plántulas de *P. armeniaca* en la localidad de San Juan Tetla, profundidad de muestreo a 30 cm (línea azul) y 60 cm (línea roja).....35
- Figura 6.** Fluctuación de la humedad en el suelo en un periodo de 20 meses en el punto de muestreo 2 (coordenadas 19° 12´ 08.3 de latitud N y 98° 32' 29.3" de longitud O) donde se recolectaron semillas para la obtención de plántulas de *P. armeniaca* en la localidad de San Juan Tetla, profundidad de muestreo a 30 cm (línea azul) y 60 cm (línea roja).....35
- Figura 7.** Fluctuación de la humedad en el suelo en un periodo de 20 meses en el punto de muestreo 3 (coordenadas 19° 12´ 09.5" de latitud N y 98° 32' 23.9" de longitud O) donde se recolectaron semillas para la obtención de plántulas de *P. armeniaca* en la localidad de San Juan Tetla, profundidad de muestreo a 30 cm (línea azul) y 60 cm (línea roja).....36

Figura 8. Fluctuación de la humedad en el suelo en un periodo de 20 meses en el punto de muestreo 4 (coordenadas 19° 12' 10.1" de latitud N y 98° 32' 26.4" de longitud O) en donde se recolectaron semillas para la obtención de plántulas de <i>P. armeniaca</i> en la localidad de San Juan Tetla, profundidad de muestreo a 30 cm (línea azul) y 60 cm (línea roja).....	36
Figura 9. Conductancia estomática en plántulas de <i>P. armeniaca</i> expuestas a ciclos de riego y sequía provenientes de una colecta de semillas de la localidad de San Juan Tetla. Tratamiento testigo (Δ) y tratamiento de ciclos riego-sequía (\blacktriangledown). Cada punto es el promedio de 15 repeticiones \pm error estándar.....	37
Figura 10. Tasa de asimilación (<i>A</i>) en plántulas de <i>P. armeniaca</i> expuestas a ciclos de riego y sequía provenientes de una colecta de semillas de la localidad de San Juan Tetla. Tratamiento testigo (Δ) y tratamiento de ciclos riego-sequía (\blacktriangledown). Cada punto es el promedio de 15 repeticiones \pm error estándar.....	38
Figura 11. Altura de plántulas de <i>P. armeniaca</i> expuestas a ciclos de riego y sequía durante un periodo de 81 días de una colecta de semillas de la localidad de San Juan Tetla. Tratamiento testigo (Δ) y tratamiento de ciclos riego-sequía (\blacktriangledown). Cada punto es el promedio de 15 repeticiones \pm error estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas.....	39
Figura 12. Diámetro del tallo de plántulas de <i>P. armeniaca</i> expuestas a ciclos de riego y sequía durante un periodo de 81 días de una colecta de semillas de la localidad de San Juan Tetla. Tratamiento testigo (Δ) y tratamiento de ciclos riego-sequía (\blacktriangledown). Cada punto es el promedio de 15 repeticiones \pm error estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas.....	41
Figura 13. Número de hojas en plántulas de <i>P. armeniaca</i> expuestas a ciclos de riego y sequía durante un periodo de 81 días de una colecta de semillas de la localidad de San Juan Tetla. Tratamiento testigo (Δ) y tratamiento de ciclos riego-sequía (\blacktriangledown). Cada punto es el promedio de 15 repeticiones \pm error estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas.....	42

Figura 14. Potencial de agua en hojas de plántulas de *P. armeniaca* expuestas a ciclos de riego y sequía durante un periodo de 81 días de una colecta de semillas de la localidad de San Juan Tetla. Tratamiento testigo (Δ) y tratamiento de ciclos riego-sequía (\blacktriangledown). Cada punto es el promedio de 10 repeticiones \pm error estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas.....43

Figura 15. Potencial osmótico en hojas de plántulas de *P. armeniaca* expuestas a ciclos de riego y sequía durante un periodo de 81 días de una colecta de semillas de la localidad de San Juan Tetla. Tratamiento testigo (Δ) y tratamiento de ciclos riego-sequía (\blacktriangledown). Cada punto es el promedio de 10 repeticiones \pm error estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas.....44

Figura 16. Potencial de turgencia en hojas de plántulas de *P. armeniaca* expuestas a ciclos de riego y sequía durante un periodo de 81 días de una colecta de semillas de la localidad de San Juan Tetla. Tratamiento testigo (Δ) y tratamiento de ciclos riego-sequía (\blacktriangledown). Cada punto es el promedio de 10 repeticiones \pm error estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas.....45

Figura 17. Humedad del suelo en bolsas que contenían plántulas de *P. armeniaca* expuestas a ciclos de riego y sequía durante un periodo de 81 días de una colecta de semillas de la localidad de San Juan Tetla. Tratamiento testigo (Δ) y tratamiento de ciclos riego-sequía (\blacktriangledown). Cada punto es el promedio de 10 repeticiones \pm error estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas.....46

Figura 18. Curva de retención de humedad de suelo en bolsas que contenían plántulas de *P. armeniaca* expuestas a ciclos de riego y sequía durante un periodo de 81 días de una colecta de semillas de la localidad de San Juan Tetla. Las determinaciones se realizaron con la técnica de la olla de presión.....48

Figura 19. Materia seca (g) en hojas provenientes de plántulas de *P. armeniaca* expuestas a ciclos de riego y sequía durante un periodo de 81 días de una colecta de semillas de la localidad de San Juan Tetla. Tratamiento testigo (Δ) y tratamiento de ciclos riego-sequía (\blacktriangledown). Cada punto es el promedio de 10 repeticiones \pm error estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas.....49

Figura 20. Materia seca (g) en tallos provenientes de plántulas de *P. armeniaca* expuestas a ciclos de riego y sequía durante un periodo de 81 días de una colecta de semillas de la localidad de San Juan Tetla. Tratamiento testigo (Δ) y tratamiento de ciclos riego-sequía (\blacktriangledown). Cada punto es el promedio de 10 repeticiones \pm error estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas.....50

Figura 21. Materia seca (g) en raíz provenientes de plántulas de *P. armeniaca* expuestas a ciclos de riego y sequía durante un periodo de 81 días de una colecta de semillas de la localidad de San Juan Tetla. Tratamiento testigo (Δ) y tratamiento de ciclos riego-sequía (\blacktriangledown). Cada punto es el promedio de 10 repeticiones \pm error estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas.....51

Figura 22. Acumulación total de materia seca (g) obtenida del último muestreo realizado, dividido en componentes (hojas tallos y raíz) provenientes de plántulas de *P. armeniaca* expuestas a ciclos de riego y sequía (T1) y plántulas en riego constante (T0) durante un periodo de 81 días de una colecta de semillas de la localidad de San Juan Tetla.....52

Figura 23. Concentración de prolina en plántulas de *P. armeniaca* expuestas a ciclos de riego y sequía durante un periodo de 81 días de una colecta de semillas de la localidad de San Juan Tetla. Tratamiento testigo (Δ) y tratamiento de ciclos riego-sequía (\blacktriangledown). Cada punto es el promedio de 5 repeticiones \pm error estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas.....54

Figura 24. Concentración de fósforo en hojas provenientes de plántulas de *P. armeniaca* expuestas a ciclos de riego y sequía durante un periodo de 81 días de una colecta de semillas de la localidad de San Juan Tetla. Tratamiento testigo (Δ) y tratamiento de ciclos riego-sequía (\blacktriangledown). Cada punto es el promedio de 5 repeticiones \pm error estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas.....55

Figura 25. Concentración de fósforo en tallos provenientes de plántulas de *P. armeniaca* expuestas a ciclos de riego y sequía durante un periodo de 81 días de una colecta de semillas de la localidad de San Juan Tetla. Tratamiento testigo (Δ) y

tratamiento de ciclos riego-sequía (▼). Cada punto es el promedio de 5 repeticiones ± error estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas.....56

Figura 26. Concentración de fósforo en raíces provenientes de plántulas de *P. armeniaca* expuestas a ciclos de riego y sequía durante un periodo de 81 días de una colecta de semillas de la localidad de San Juan Tetla. Tratamiento testigo (Δ) y tratamiento de ciclos riego-sequía (▼). Cada punto es el promedio de 5 repeticiones ± error estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas.....57

Figura 27. Concentración de potasio en hojas provenientes de plántulas de *P. armeniaca* expuestas a ciclos de riego y sequía durante un periodo de 81 días de una colecta de semillas de la localidad de San Juan Tetla. Tratamiento testigo (Δ) y tratamiento de ciclos riego-sequía (▼). Cada punto es el promedio de 5 repeticiones ± error estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas.....58

Figura 28. Concentración de potasio en tallos provenientes de plántulas de *P. armeniaca* expuestas a ciclos de riego y sequía durante un periodo de 81 días de una colecta de semillas de la localidad de San Juan Tetla. Tratamiento testigo (Δ) y tratamiento de ciclos riego-sequía (▼). Cada punto es el promedio de 5 repeticiones ± error estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas59

Figura 29. Concentración de potasio en raíces provenientes de plántulas de *P. armeniaca* expuestas a ciclos de riego y sequía durante un periodo de 81 días de una colecta de semillas de la localidad de San Juan Tetla. Tratamiento testigo (Δ) y tratamiento de ciclos riego-sequía (▼). Cada punto es el promedio de 5 repeticiones ± error estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas60

Figura 30. Concentración de calcio en hojas provenientes de plántulas de *P. armeniaca* expuestas a ciclos de riego y sequía durante un periodo de 81 días de una colecta de semillas de la localidad de San Juan Tetla. Tratamiento testigo (Δ) y tratamiento de ciclos riego-sequía (▼). Cada punto es el promedio de 5 repeticiones ± error estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas.....61

Figura 31. Concentración de calcio en tallos provenientes de plántulas de *P. armeniaca* expuestas a ciclos de riego y sequía durante un periodo de 81 días de una colecta de semillas de la localidad de San Juan Tetla. Tratamiento testigo (Δ) y tratamiento de ciclos riego-sequía (\blacktriangledown). Cada punto es el promedio de 5 repeticiones \pm error estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas.....62

Figura 32. Concentración de calcio en raíces provenientes de plántulas de *P. armeniaca* expuestas a ciclos de riego y sequía durante un periodo de 81 días de una colecta de semillas de la localidad de San Juan Tetla. Tratamiento testigo (Δ) y tratamiento de ciclos riego-sequía (\blacktriangledown). Cada punto es el promedio de 5 repeticiones \pm error estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas.....63

Figura 33. Concentración de magnesio en hojas provenientes de plántulas de *P. armeniaca* expuestas a ciclos de riego y sequía durante un periodo de 81 días de una colecta de semillas de la localidad de San Juan Tetla. Tratamiento testigo (Δ) y tratamiento de ciclos riego-sequía (\blacktriangledown). Cada punto es el promedio de 5 repeticiones \pm error estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas.....64

Figura 34. Concentración de magnesio en tallos provenientes de plántulas de *P. armeniaca* expuestas a ciclos de riego y sequía durante un periodo de 81 días de una colecta de semillas de la localidad de San Juan Tetla. Tratamiento testigo (Δ) y tratamiento de ciclos riego-sequía (\blacktriangledown). Cada punto es el promedio de 5 repeticiones \pm error estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas.....65

Figura 35. Concentración de magnesio en raíces provenientes de plántulas de *P. armeniaca* expuestas a ciclos de riego y sequía durante un periodo de 81 días de una colecta de semillas de la localidad de San Juan Tetla. Tratamiento testigo (Δ) y tratamiento de ciclos riego-sequía (\blacktriangledown). Cada punto es el promedio de 5 repeticiones \pm error estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas.....66

Figura 36. Segmentos de raíz teñidos con Azul Tripano, provenientes de plántulas de *P. armeniaca* expuestas a ciclos de riego y sequía. De izquierda a derecha: A) raíz de plántula sin indicios de colonización, B) esporas de micorrizas arbusculares, C) espora e hifa de HMA en raíz de *P. armeniaca*.....67

Figura 37. Esquema de las paredes de esporas de *A. scrobiculata* (Lugo y Cabello, 1999) obtenidas del suelo donde se desarrollaron plántulas de *P. armeniaca* de los tratamientos T0 y T1 durante un periodo de 81 días de una colecta de semillas de la localidad de San Juan Tetla.....69

Figura 38. Microfotografías de esporas de la especie *A. scrobiculata* obtenidas de un suelo proveniente de la localidad de San Juan Tetla: A) fotografía de espora con aumento 10X, B) tamaño de la espora basada en escala de 100 µm, C) fotografía de la capa exterior con aumento de 40X.....70

Figura 39. Microfotografías de esporas de la especie *S. dipapillosa* obtenidas de un suelo proveniente de la localidad de San Juan Tetla: A) fotografía de espora con aumento 10X, B) tamaño de la espora basada en escala de 100 µm, C) fotografía de la capa exterior con aumento de 40X.....70

Figura 40. Esquema de las paredes de esporas de *S. dipapillosa* (Ferrera *et al.*, 1993) obtenidas del suelo donde se desarrollaron plántulas de *P. armeniaca* de los tratamientos T0 y T1 durante un periodo de 81 días de una colecta de semillas de la localidad de San Juan Tetla.....71

Figura 41. Microfotografías de esporas de la especie *G. nigra* obtenidas de un suelo proveniente de la localidad de San Juan Tetla: A) fotografía de espora con aumento 10X, B) tamaño de la espora basada en escala de 100 µm, C) fotografía de la capa exterior con aumento de 40X.....72

Figura 42. Esquema de las paredes de esporas de *G. nigra* (Nicolson y Schenck, 1979) obtenidas del suelo donde se desarrollaron plántulas de *P. armeniaca* de los tratamientos T0 y T1 durante un periodo de 81 días de una colecta de semillas de la localidad de San Juan Tetla.....72

I. INTRODUCCIÓN

En México, dos terceras partes del territorio corresponden a zonas consideradas regiones áridas o semiáridas y, una tercera parte, corresponde a zona de temporal, con diferentes grados de deficiencia de humedad (Turrent, 1986). Asimismo, se encuentra catalogado entre los países del mundo cuya disponibilidad promedio de agua es baja (Molina, 2007). Aunado a lo anterior, es importante mencionar que en nuestro país la agricultura de temporal casi siempre se asocia con la pobreza, esto debido a que en la mayoría de los casos se tiene el objetivo de cultivar maíz y otras especies que sirven para el autoconsumo de los productores. Este tipo de agricultura se practica generalmente en las zonas marginadas y partes altas de los estados, se encuentra limitada principalmente por la precipitación pluvial natural que se manifiesta en la temporada de lluvias, por lo que no es competente con el mercado debido a los bajos rendimientos. Por el contrario, la agricultura de riego se dedica al cultivo de productos que tienen un valor agregado alto y demanda tanto local como internacional, lo que ha generado un crecimiento del sector agrícola en áreas privilegiadas del país, principalmente en la zona norte (Soto, 2003).

Las sequías afectan negativamente los rendimientos agrícolas en la mayor parte de las regiones tropicales y subtropicales, incluso en las zonas templadas (Martínez, 2006). La agricultura de temporal es un sistema de producción que depende del comportamiento de las lluvias durante el ciclo de producción y de la capacidad del suelo para captar el agua y conservar la humedad. Estas particularidades le confieren incertidumbre por lo que esta actividad debe ser observada con particular atención (Gleick, 2003).

Por lo anterior, la necesidad de impulsar innovaciones o procesos tecnológicos como la labranza de conservación, la construcción de pequeñas obras de captación de agua, la captación de agua *in situ*, la incorporación de materia orgánica utilizando compostas, entre otras alternativas, son prácticas y acciones impostergables que permitirán incrementar la productividad agrícola o, por lo menos, conservar el nivel actual de la producción en condiciones de temporal (Martínez, 2006).

Otra acción es identificar especies o genotipos sobresalientes, estudiar y evaluar su comportamiento fisiológico, mejorar su crecimiento, producción y reintroducción a su hábitat natural. En este sentido la fruticultura es una actividad económica que es factible de realizar, debido a que el ingreso que se obtiene por ella es mayor en comparación con los cultivos tradicionales. La fruticultura es una actividad con gran potencial económico en la región central de México, donde la fisiografía determina la existencia de microclimas favorables a numerosas especies frutales caducifolios de clima templado (Mondragón *et al.*, 2004).

El chabacano o albaricoque (*Prunus armeniaca* L.) es un frutal perenne caducifolio de clima templado, ampliamente distribuido en zonas altas y soleadas. En México, se le encuentra en la región centro norte entre los 1,800 y 2,500 msnm. Es una fruta altamente apreciada por su sabor, con buena aceptación por los consumidores y constituye un producto versátil. Se tiene que importar para satisfacer los requerimientos del mercado (Armas, 1997), por lo que su permanencia y precio están asegurados.

Solamente se cultiva a escala comercial en el estado de Sonora. De acuerdo con las estadísticas nacionales disponibles existen 433 ha plantadas, de las cuales el 72 % se encuentran en los estados de Sonora y Zacatecas, y el resto en pequeñas huertas en los estados de Puebla, Aguascalientes y Nuevo León. El rendimiento medio nacional es de tan solo 3.6 t ha⁻¹, el cual se considera bajo en relación al rendimiento obtenido en países productores de chabacano donde se obtienen más de 20 t ha⁻¹ (Mondragón *et al.*, 2004).

En la región central de México, los árboles de chabacano en huertas comerciales provienen casi siempre de mezclas de semillas de la misma región que varían en cuanto a productividad, época de cosecha, tamaño de fruta, color de pulpa, firmeza, sabor y vida postcosecha, mientras que en el resto de las plantaciones comerciales se propaga principalmente por injerto, con portainjertos que tienen un sistema radical penetrante y un vástago vigoroso (SIAP, 2013).

Por lo anterior, en la presente investigación se estudiaron algunas variables fisiológicas (crecimiento, intercambio de gases, relaciones hídricas y síntesis de prolina, concentración de nutrientes y micorrizas) en plántulas de chabacano de siete meses de edad, obtenidas a partir de la recolección de semillas en la localidad de San Juan Tetla, perteneciente al municipio de San Lorenzo Chiautzingo, Puebla, sometidas a ciclos cortos repetidos de riego-sequía. Este tipo de estudios permitirá conocer el comportamiento fisiológico de la especie e identificar su sensibilidad a condiciones limitantes de humedad en el suelo, así como sus niveles nutrimentales y la asociación con microorganismos benéficos (micorrizas).

Esto es de suma importancia debido a que en la mayoría de los casos existen problemas de disponibilidad de agua, por lo que es importante conocer la respuesta fisiológica de plántulas de chabacano bajo condiciones limitantes de humedad y su adaptación al temporal que presenta el campo mexicano, lo cual tienen un enorme potencial tanto económico como social, ya que incrementaría los ingresos económicos de los productores, generaría una fuente de empleo para una gran cantidad de los pobladores de la región, disminuiría la migración del campo a la ciudad y reactivaría la economía de zonas de producción eminentemente de temporal.

En este caso, una zona de temporal en la que se pretende lograr a futuro el manejo del frutal con tolerancia a déficit hídrico, es en el municipio de San Lorenzo Chiautzingo, que se localiza en las faldas de la Sierra Nevada, en la parte centro-oeste del estado de Puebla.

Para lograrlo, es necesario utilizar de forma integrada conocimientos de suelo, planta, agua y ambiente para determinar la sensibilidad fisiológica de plántulas de chabacano a ciclos repetidos de riego-sequía capaces de tolerar condiciones climáticas adversas, este criterio es de gran interés para productores que cuentan con áreas donde la disponibilidad de agua es escasa y los costos de riego elevados.

1.1 Objetivo general

Determinar la respuesta de variables fisiológicas, concentración de nutrientes y presencia de micorrizas en plántulas de chabacano (*Prunus ameniaca* L.) en ciclos repetidos de riego y sequía inducidos en condiciones controladas.

1.1.1 Objetivos específicos

Evaluar el efecto de ciclos repetidos de riego-sequía en condiciones controladas sobre el crecimiento vegetativo: altura, diámetro de tallo y número de hojas de plántulas de chabacano.

Evaluar el efecto de ciclos repetidos de riego-sequía en plántulas de chabacano en condiciones controladas, sobre la conductancia estomática, tasa de asimilación, potencial osmótico, potencial de total, potencial de turgencia y concentración de prolina.

Cuantificar la concentración de fósforo, potasio, calcio y magnesio en plántulas de chabacano bajo las condiciones experimentales indicadas.

Determinar el porcentaje de colonización micorrízica en raíces, número de esporas en suelo, así como su identificación taxonómica.

1.2 Hipótesis

El intercambio de gases, relaciones hídricas, acumulación de prolina, crecimiento, contenido de nutrimentos y colonización de micorrizas en plántulas de chabacano serán afectados cuando estén expuestos a ciclos de riego-sequía en el suelo.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Generalidades del chabacano

El chabacano (*Prunus armeniaca* L.), como es conocido en México, 'apricot', en países de habla inglesa, damasco o albaricoque, identificado así en España, es un árbol frutal del tipo fanerógama. Pertenece a la Clase *Angiospermae dicotyledonae*, Subclase *Archichlamydeae dialipetalae*, Orden *Rosales*, familia *Rosaceae*, subfamilia *Prunoideae*, genero *Prunus*, especie *armeniaca* (Forte, 1992), clasificado dentro del subgénero *Prunophora*. Es un fruto diploide ($2n=16$), que de acuerdo con Arumuganathan y Earle (1991) cuenta con un genoma pequeño (5.9×10^8 bp).

De acuerdo con Forte (1992), el árbol puede alcanzar entre 3 y 7 m de altura, pero en plantaciones comerciales raramente llegan a su altura máxima, el porte natural es globoso. En plantaciones normales suele durar unos 30 años, pero en estado natural puede vivir 50 años o más. La raíz es pivotante, tronco erguido con la corteza parda, rugosa y agrietada con ramos inermes, hojas alternadas, glabras brillantes, coriáceas, generalmente acorazonadas, acumuladas en el ápice con los bordes dentados y de peciolo largo de color verde amarillento más intenso en la parte correspondiente a la cara superior de la hoja, con flores blancas o ligeramente rosadas, solitarias o reunidas en grupos de tres, casi sésiles, con cáliz gamosépalo rojizo. Es una planta histeranta, es decir, que la floración precede a la emisión de hojas que en brotes jóvenes son rojizas.

El fruto es una drupa de forma oval, más o menos comprimida, dividida en dos partes por un surco ventral, su piel es de color amarillo y dependiendo de la variedad, el color puede variar en diferentes tonalidades de rojo, es de tamaño menor al durazno (SIAP, 2013). La pulpa es amarilla en los cultivares más apreciados, sin embargo, también pueden ser blanquecinos, según la variedad. El hueso puede separarse totalmente de la pulpa o adherirse parcialmente. El chabacano fructifica sobre ramos de un año, ramos de mayo, chifones y ramos mixtos (Forte, 1992).

Se adapta a regiones templadas y frías, así como a regiones subtropicales con inviernos definidos de templado a frío, en áreas con altitud que varía de 1,800 a 2,500 msnm. Con respecto al fotoperiodo se considera una especie de día neutro, prefiere una humedad relativa de moderadamente húmeda a baja (Mondragón *et al.*, 2004).

2.1.1 Origen

Se ha comentado mucho sobre el origen de la especie, sin embargo, la teoría más aceptada es la que indica que el centro de origen y diversidad del chabacano es el noreste de China, cerca del límite con Rusia. Los hallazgos más consistentes ubican ejemplares de chabacano en las montañas cercanas a Pekín, éstos eran frutos pequeños con piel amarilla y roja, pulpa amarilla-rojiza, de sabor ácido (Forte, 1992). Posteriormente se difundió a través de Asia central. Este frutal comenzó a cultivarse hace tres mil años en China, los romanos lo introdujeron a Europa en los años 70-60 a.C., su difusión se desplazó hacia Grecia e Italia poco antes del año 1,000 d.C.

Los árabes lo introdujeron a Francia meridional (Roussillon), desde este lugar se necesitaron cinco siglos para llegar a otras regiones francesas (Forte, 1992). Debido al comercio llegó a Inglaterra, posteriormente se introdujo a los Estados Unidos de Norteamérica, con el desplazamiento de los colonos ingleses en la costa este y los misionarios españoles en California, en el siglo XVII. Más de dos mil años tardó esta especie en llegar a occidente, la difusión desde el lejano oriente hacia el resto del mundo fue lenta y esporádica (Forte, 1992).

A partir del año 2005 la producción de chabacano está extendida por todo el mundo, en ese año se contó con 400,000 ha. Se cultivó en forma comercial en 60 países, el 60 % de la producción (2.5 millones de toneladas) se concentró en la cuenca mediterránea. Países como Irán y Pakistán aumentaron su producción ese año, de manera tal que más de la mitad de la producción mundial se concentró en seis países (Turquía, Irán, Italia, Pakistán, España y Francia). El rendimiento medio superó las 6 t ha⁻¹, logrando, en algunos casos como Grecia, las 15 t ha⁻¹ (Rodrigo y Hornaza, 2005).

2.1.2 El cultivo en México

Desde el 2002, la producción de chabacano en México es baja, ese año tan solo alcanzó un volumen de 1,900 t (FAO, 2003 citado por Grijalva *et al.*, 2006), por lo que existe una gran demanda del mercado nacional hacia este producto, provocando la importación de fruta proveniente de Chile, durante los meses de enero a marzo, y de Estados Unidos, de finales de mayo a junio (Grijalva *et al.*, 2006). La superficie cosechada en México durante el 2002 fue de 410 ha, de los cuales Sonora aportó 180 ha, es ahí donde se explota alrededor del 30 % de la superficie nacional, la cual se destina 65 % para consumo en fresco y el resto para elaborar fruta seca. Tradicionalmente, el 80 % de la producción se ha destinado a la industria con un precio de \$ 4,015.00 pesos por tonelada para fruta deshidratada y de \$ 120.00 pesos por caja de 10 kg para consumo en fresco (Grijalva *et al.*, 2006).

2.1.2.1 Generalidades en México

En México, en el 2012, se sembró una superficie total de 341.67 ha destinadas al chabacano, tanto de riego como de temporal, de las cuales se cosecharon 300.17 ha, lo que indica que en 41.5 ha no se obtuvo cosecha debido a las condiciones ambientales, la falta de agua en épocas prioritarias y a cuestiones nutrimentales, entre otras causas. Durante este año se produjeron 1,131.87 t de fruta con un rendimiento de 3.3 (t ha⁻¹) y un valor de la producción de \$ 7,234.55 pesos, ver Cuadro 1 (SIAP, 2013).

Cuadro 1. Diferencias observadas respecto a la producción de chabacano en riego y temporal durante el año 2012.

	Chabacano	
	Riego	Temporal
Superficie sembrada (ha)	180.75	160.92
Superficie cosechada (ha)	168.75	131.42
Producción (t)	728.10	403.77
Rendimiento (t ha ⁻¹)	4.30	3.07
Precio Medio Rural (\$/t)	7,054.02	5,232.26
Valor de la producción (miles de pesos)	5,121.92	2,112.63

2.2 Agua

Dos terceras partes del territorio de México corresponden a zonas consideradas regiones áridas o semiáridas y de la tercera parte restante, que provee de agua de temporal, el 67 % sufre diferentes grados de deficiencia de humedad (Turrent, 1986).

México se encuentra catalogado entre los países del mundo cuya disponibilidad promedio de agua es baja. Las tendencias para el año 2025 no son alentadoras ya que a medida que crece la población, la disponibilidad por habitante/año continuará disminuyendo, debido a que la disponibilidad total del recurso es prácticamente constante (Molina, 2007).

De acuerdo con Gleick (2003), en México, el agua destinada a la agricultura es del 78% la cual proviene de ríos, lagos y acuíferos subterráneos, el resto proviene de agua de lluvia. Molina (2007) informa que la situación es aún más complicada, si se toma en cuenta la desigualdad de su distribución geográfica, mientras que cuatro estados disponen del 68 % del agua del país, donde solo reside el 23 % de la población y se genera únicamente el 15 % del Producto Interno Bruto (PIB); el resto de nuestro territorio dispone de 33 % del total del recurso, donde se aloja el 77 % de la población y se genera el 85 % del PIB.

En el 2011, el volumen de agua utilizado en la agricultura llegó a abastecer una superficie sembrada anual de entre 20 y 23 millones de hectáreas y una mano de obra de 6.1 millones de personas (CONAGUA, 2011). La superficie bajo riego representó 6.5 millones de hectáreas agrupadas en 85 distritos de riego (54 % de la superficie bajo riego). Indudablemente la agricultura de riego contribuye significativamente a la producción agrícola total, sin embargo, resulta extremadamente intensiva en el consumo de agua, tanto que, actualmente se observa un incremento gradual del uso del agua disponible, obviamente, el aumento de la población mundial y el desarrollo de la industria han venido y continuarán incrementando su participación (Molina, 2007). La productividad por hectárea es baja, un porcentaje considerable de los distritos de riego no es rentable y los precios de sus productos no son competitivos. La ineficiencia del

sector agrícola mexicano se manifiesta claramente pues consume más de tres cuartas partes del agua del país, la cual se le proporciona a costos irrisorios. Se le subsidia, entre otros, la electricidad para el bombeo y el diesel. Está exento del cobro de derechos por concepto de aguas residuales, goza de una tasa menor de impuesto sobre la renta que cualquier otra actividad productiva y solo genera el 3% del producto interno bruto (Molina, 2007).

2.3 Suelo

El suelo es la principal fuente de agua de donde se abastecen las plantas y de donde toman nutrientes. Las características físicas de éste pueden tener efectos importantes en el suministro del vital líquido. Dichas características, imponen límites a la cantidad de agua disponible en un volumen de suelo dado y afectan el potencial y la conductividad hidráulica a medida que el suelo húmedo pierde agua. El suelo es un sistema abierto que presenta cambios de materia y energía con el medio, donde se desarrollan diversos procesos físicos, químicos y biológicos, responsables de las propiedades que presentan todos y cada uno de los suelos. También es uno de los factores que limitan el crecimiento y distribución de las raíces de las plantas (Bautista-Zúñiga y Estrada, 1998).

Para un correcto uso del suelo, es necesario tener una buena comprensión del ambiente bajo tierra y de cómo este ecosistema funciona para que pueda ser manejado más apropiadamente por las personas interesadas en su explotación. De tal forma, tenemos que la cantidad de lluvia que entra en el suelo, será gobernada por la intensidad de la tormenta en relación con la tasa de infiltración del suelo. El sobre-laboreo y la pérdida de materia orgánica a menudo resultan en una tasa de infiltración reducida debido a la pérdida de porosidad de la superficie (FAO, 2013).

Cuando la intensidad de la lluvia es mayor que la tasa de infiltración, habrá escurrimientos, resultando en un desperdicio de agua y arrastre de partículas por el agua. La tasa a la cual la lluvia se infiltra dentro del suelo es influenciada por la abundancia, estabilidad y dimensión de los poros en la superficie del suelo, su contenido de agua y por la continuidad de los poros de transmisión dentro de la zona

radical. Este proceso de infiltración se ve modificado por aspectos como la cantidad de agua presente en el suelo, la capacidad del suelo para retener agua, la compactación y la baja permeabilidad (FAO, 2013).

Un volumen de suelo húmedo está constituido por aire, agua y sólidos. El contenido hídrico (θ) puede expresarse en términos volumétricos o gravimétricos; el θ de un suelo drenado, después de haber estado saturado, constituye el límite superior de retención de agua por ese suelo, límite conocido como capacidad de campo (CC). El potencial de agua (Ψ_A) de un suelo a capacidad de campo es cercano a los -0.03 MPa. La curva que describe la dependencia del Ψ_A del θ puede diferir entre suelos, no toda el agua retenida por el suelo entre sequedad y capacidad de campo puede ser utilizada por las plantas ya que sólo pueden extraer agua hasta -1.5 MPa, este límite inferior hasta el cuál las plantas pueden extraer agua del suelo, se conoce como punto de marchitez permanente (PMP) (Wilcox, 1960) y es válido para la mayoría de las plantas cultivadas, aunque puede ser bastante inferior en algunas especies (entre -100 y -200 MPa) con plantas que presentan tolerancia a la deshidratación (Jones *et al.*, 1981).

2.4 Estrés hídrico

El efecto más rápido del estrés hídrico es la disminución del crecimiento, siendo la expansión y división celular especialmente sensibles al déficit hídrico (Hsiao, 1973, citado por Pérez, 2001). Así, la diferente sensibilidad a la sequía de las raíces y partes aéreas, conduce a grandes aumentos en la relación raíz/parte aérea (Bradford, 1981).

Los estomas tienden a cerrarse con la disminución del potencial hídrico foliar, la incidencia de diversos factores incrementada por el efecto del déficit hídrico, es la responsable de esta respuesta fisiológica, entre cuyas consecuencias encontramos la disminución de la tasa de transpiración, que se acompaña siempre de una disminución en la absorción de CO_2 y por tanto, de la fotosíntesis. El déficit hídrico también limita la fotosíntesis a través de sus efectos sobre los procesos enzimáticos, transporte electrónico y contenido de clorofila (Farquhar y Sharkey, 1982, citado por Pérez, 2001).

2.4.1 Respuesta de la planta a condiciones de déficit hídrico

El tamaño de las hojas define el tamaño del área foliar para captar la radiación fotosintéticamente activa y producir fotoasimilados, mientras que el crecimiento de la raíz define la medida en que una planta explora el suelo para la obtención de agua y nutrientes minerales. Asimismo, el crecimiento y desarrollo de ambas partes de la planta, están en competencia por los fotoasimilados de las hojas y por la absorción de agua y minerales por la raíz (Wilson, 1988). El déficit de humedad tiene un efecto sobre la productividad de las plantas y depende de las condiciones ambientales, del clima y del suelo que influyen en el uso eficiente del agua de las mismas, por lo que, poseen mecanismos de aclimatación que se activan en respuesta al déficit de agua (Taiz y Zeiger, 2006).

2.4.2 Respuesta de las hojas al estrés

El crecimiento de las hojas es muy sensible al estrés de humedad, cuando el déficit de agua se presenta, provoca cambios en el crecimiento y desarrollo de las plantas, uno de los cuales es la expansión de la hoja que afecta directamente a la fotosíntesis. Al disminuir el contenido de agua en la planta, disminuye la presión de turgencia traduciéndose en una disminución del volumen de la célula y, como consecuencia, un incremento en la concentración de solutos. Además del tamaño de la hoja, también se limita el número de las mismas, por lo que la tasa de crecimiento en condiciones de estrés de humedad es controlada por diversos procesos importantes, como la biosíntesis de la membrana, división celular y síntesis de proteínas (Burssens *et al.*, 2000).

2.4.3 Respuesta de la raíz al estrés

En condiciones de estrés hídrico, las raíces desarrollan respuestas anatómicas, fisiológicas y morfológicas como mayor tamaño y capacidad de profundización, éstas son consideradas factores importantes de resistencia a la sequía. Muchas especies responden a la sequía, aumentando la translocación de fotoasimilados hacia las raíces, lo que favorece el crecimiento de éstas en relación al del brote, resultando en un aumento de la relación raíz/brote y, por lo tanto, un incremento de la cantidad de agua

disponible para la planta (Huang y Fry, 1998; Huang y Gao, 2000, citado por Herrera, 2008).

2.5 Repuesta fisiológica al estrés

El concepto general de estrés hídrico para las plantas fue desarrollado por Selye (1936) argumentando lo siguiente: “Todos los agentes pueden actuar como factores estresantes produciendo, estrés y acciones específicas, además de que existen respuestas estresantes específicas y no específicas generando respuestas generales”. Por su parte Levitt (1980) definió al estrés como: “Un factor potencialmente desfavorable para la vida de un organismo”.

De igual forma, los estomas son estructuras de las hojas que desempeñan un papel fundamental al regular el intercambio de gases con la atmosfera circundante, cuando por lo general, el suministro de agua desde el suelo es deficiente. Aún no es del todo claro el funcionamiento de los mecanismos de control involucrados en estas situaciones. Se ha demostrado una asociación con el potencial de agua en las hojas, llamado umbral de sensibilidad estomática. Este umbral puede variar entre -0.7 y -1.8 MPa y probablemente depende del potencial osmótico, que varía según la especie a que pertenece, el estado ontogénico del individuo y de la hoja, además de las diferencias genéticas en estomas como respuesta a diferencias en el medio ambiente (Winkel y Rambal, 1990).

Las evidencias indican, que las conexiones entre el comportamiento estomático y el estrés hídrico no se limitan a los efectos del potencial de agua de la planta. Una de éstas, es que en situaciones de una disminución progresiva del agua del suelo, los estomas empiezan a cerrarse antes de poder detectar disminuciones en el potencial de agua en la planta. La otra se origina de experimentos en suelos contenidos en maceta que son llevados a potenciales de presión crecientes, conforme se va secando el suelo de la maceta, se crea una situación en que la reducción del potencial matricial del suelo que se produce, se ve balanceado por el aumento del potencial de presión y la planta mantiene su potencial de agua. Sin embargo, los estomas se van cerrando

progresivamente a medida que aumenta el grado de secado del suelo. Esto sugiere, que hay algún otro factor en el control de los estomas bajo condiciones de estrés hídrico. Adicionalmente, las plantas pueden responder a cambios ambientales, no solo por una rápida aclimatación, sino también por factores particulares como el tamaño y grosor de la hoja, la densidad de los estomas, la estructura y función de los cloroplastos, así como los niveles de enzimas en condiciones de alta o poca luz (Hartmut 1996).

El ácido abscísico (ABA) es uno de los reguladores de crecimiento de las plantas, se sabe que produce el cierre de los estomas cuando se asperjan las hojas con soluciones de baja concentración (10^{-6} M). ABA es uno de los reguladores más importantes, ya que tiene múltiples funciones en las plantas, está involucrado en el crecimiento, el desarrollo y la adaptación de la planta a varias condiciones de estrés (Verslues *et al.*, 2006). La relación de la conductancia estomática con la concentración de ABA en la savia del xilema se ha observado en varias especies. No obstante, el análisis de los resultados de experimentos en los que se produce el secado progresivo del suelo, sugiere que hay otros niveles de control adicionales al nivel de ABA en el xilema (Danqua *et al.*, 2013).

2.5.1 La generación de déficit hídrico en la planta

Existe un déficit hídrico en un tejido vegetal cuando su potencial de agua (Ψ_A) alcanza valores que inician algún tipo de inhibición en el funcionamiento del desarrollo de la planta, en general y dependiendo de la especie, estos valores son menores de cero. La magnitud del déficit en una planta depende de la interacción entre el Ψ_A del suelo y del Ψ_A de la planta, que pueda existir en la trayectoria de absorción y transpiración de agua diaria. La magnitud y duración de estos déficits tienen gran influencia sobre los procesos fisiológicos de las plantas, determinando modificaciones en su crecimiento y rendimiento. La medida de Ψ_A es generalmente admitida, como la forma más fiable de evaluar el estado hídrico de las plantas (Ruiz-Sánchez y Girona, 1995).

La resistencia al movimiento de agua en el suelo y la planta, determinan un desajuste entre las cantidades absorbidas y transpiradas, produciéndose un déficit hídrico reflejado en el hecho que $\Psi_A \text{ hoja} < \Psi_A \text{ suelo}$. Esta diferencia se va acentuando durante la primera parte del día debido a la creciente demanda atmosférica. El bajo Ψ_A en la hoja se transmite, cada vez más amortiguado, al resto de la planta, de tal forma que $\Psi_A \text{ hoja} < \Psi_A \text{ raíz} < \Psi_A \text{ suelo}$. Conforme avanza el día, decae la demanda atmosférica, y al llegar la tarde se produce el cierre progresivo de los estomas, disminuyendo por ambas causas la transpiración y eventualmente los tres Ψ_A son muy similares (Pérez, 2001).

El gradiente de Ψ_A entre hoja y el suelo hace que continúe la absorción a una tasa elevada y superior al de la transpiración. Gracias a esta diferencia, se recupera el Ψ_A de la hoja y, en algún momento, durante la noche, se puede volver a la situación $\Psi_A \text{ suelo} = \Psi_A \text{ raíz} = \Psi_A \text{ hoja}$. Sin embargo, en condiciones de déficit hídrico, dependiendo de la magnitud de éste, el momento fenológico y la especie, el Ψ_A de la hoja antes del amanecer puede estar más o menos disminuido. En esta situación, la tendencia en momentos de máxima demanda evaporativa del ambiente, es tratar de conservar o mantener estables los niveles de Ψ_A . Por eso, cuando el déficit hídrico es severo y prolongado, las diferencias entre los valores de Ψ_A al amanecer y al mediodía no son muy relevantes. No obstante, entre ambos Ψ_A , casi siempre se reportan apreciables diferencias en favor de mayores niveles de Ψ_A de la hoja, lo cual indica, que a pesar del estrés alcanzado, las plantas cuentan con un eficiente sistema de transporte de agua hacia las hojas, que les permite realizar una recuperación parcial del Ψ_A durante la noche (Sánchez-Díaz y Aguirreolea, 1993).

2.5.2 Efectos del déficit hídrico en la nutrición de las plantas

Las plantas toman del agua y del suelo los elementos necesarios para crecer. Los elementos nutritivos deben estar en condición asimilable para que puedan ser absorbidos por las plantas. Una gran parte de los nutrientes del suelo no pueden ser asimilados porque están contenidos en compuestos insolubles, que al cabo de un tiempo se transforman en compuestos solubles y, bajo la forma de iones, son asimilados por las plantas, por ejemplo, el nitrógeno como catión amonio y anión

nitrato, el fósforo como anión fosfato y el potasio como catión. En la solución del suelo, el movimiento de iones es por difusión hacia menor concentración en la superficie de raíces o en su apoplasto hasta la banda de Caspari. En el xilema, el transporte es por flujo de masas con agua por la fuerza generada por la transpiración (Gratacós, 2004), por lo que una baja disponibilidad de agua en el suelo limita la asimilación de los nutrientes.

Considerando que se tengan las condiciones apropiadas de contenido volumétrico de agua y disponibilidad, entre los cationes, la velocidad de absorción es $K^{+1} > Ca^{+2} > Mg^{+2}$; el NH_4^{+1} es también rápidamente absorbido cuando se encuentra en alta concentración. Entre los aniones, $NO_3^{-1} > Cl^{-1} > SO_4^{-2} > H_2PO_4^{-1}$. En el caso del nitrógeno, el paso por las células de la raíz transforma parte de los iones inorgánicos en aminoácidos y como tales, pasan por el xilema; el nitrógeno también es afectado por la transpiración de la planta (Gratacós, 2004). Las necesidades de nitrógeno provienen de la demanda generada por el crecimiento vegetativo de la parte aérea y radical.

Los bajos niveles en el contenido de nitrógeno pueden tener efectos significativos en el crecimiento y productividad de las plantas como ha sido demostrado, ya que existe una correlación positiva entre el contenido de N y la tasa de asimilación neta (De Jong, 1982), bajas concentraciones de nitrógeno en la hoja generan una baja productividad en la siguiente primavera (De Jong y Day, 1991). En adición, la fertilización de plantas con N afecta la distribución de la materia seca (Pace y De Jong, 2000), particularmente en las raíces, y, la velocidad de expansión de la hoja, en diversas especies (Roggatz *et al.*, 1999). También restringe la expansión de la célula afectando las relaciones hídricas, particularmente en la conducción del agua (Radin y Boyer, 1982).

Se ha demostrado que la velocidad de la tasa fotosintética en la hoja varía con los niveles de potasio presentes en el mismo órgano en varias especies leñosas, la deficiencia de potasio puede reducir la velocidad de asimilación de CO_2 , incrementando la respiración en la hoja (Huber, 1985). Asimismo, bajas concentraciones de potasio pueden reducir la intercepción de la luz, reduciendo el crecimiento (Moss, 1992). Por otra parte, Basile *et al.* (2003) observaron que la concentración interna de CO_2 tiende a

ser mayor en hojas con más baja concentración de potasio, que en hojas con mayor concentración de potasio.

Aunque una de sus funciones principales es activar enzimas, la mayor parte del potasio no se encuentra dentro de moléculas complejas, pero sí es usado en la forma iónica como soluto para mantener la turgencia (células en activo crecimiento y células guarda). Si bien, el potasio es móvil, sólo un 30% es reciclado por las hojas antes de la senescencia (Gratacós, 2004). Por otra parte, los elementos minerales metabolizados en los diversos tejidos (raíz y hoja) pueden ser movilizados por el floema a otros de mayor demanda (frutos). Algunos elementos son móviles en el floema (N, P, K, Mg, S, Na), mientras que otros son poco móviles (Ca, Fe, B), principalmente los obtenidos del xilema (Gratacós, 2004).

El calcio y el magnesio no son problema, ya que rara vez los suelos muestran deficiencias de éstos nutrientes. El calcio, tanto en el suelo como en las aguas de riego, es el catión más abundante, llegando a constituir hasta el 90% de la saturación de las bases. Con relación al Mg, el género *Prunus* tiene una mayor eficiencia de absorción de este elemento que otros géneros como *Citrus* (Gratacós, 2004).

2.6 Micorrizas y el estrés hídrico

Cerca del 80 % de todas las plantas terrestres, incluyendo las hortícolas y especies leñosas, establecen una asociación mutualista con hongos (Giovannetti *et al.*, 2006). Las micorrizas vesículo-arbusculares (MVA) colonizan las raíces de la mayoría de los cultivos agrícolas, favoreciendo la absorción de nutrientes y agua por este órgano (Ruíz-Lozano, 1995, citado por Dell'Amico *et al.*, 2002). Mediante esta simbiosis, la planta recibe un número de beneficios que, en muchos casos, se observan en el incremento del crecimiento y la mejora considerable de las relaciones hídricas de la planta (Davies *et al.*, 1999). Uno de los mecanismos descritos en la literatura para explicar el incremento de la absorción de agua por las raíces de las plantas inoculadas, está estrechamente vinculado con un aumento de la conductancia de las raíces al flujo hídrico (Koide, 1993).

Cuando se ha estudiado el efecto de las MVA sobre la conductancia estomática, en muchos casos, ésta resulta mayor en las plantas micorrizadas, que en las no micorrizadas, aun cuando ambas se encuentren a niveles similares de potencial hídrico en el suelo (Ebel *et al.*, 1997, citado por Dell'Amico *et al.*, 2002). En la mayoría de los casos, estos cambios han estado asociados con alteraciones en la conductividad hidráulica de las raíces (Croker *et al.*, 1998). Nelson (1987) indicó que las plantas con micorrizas han mostrado beneficios en la simbiosis bajo estrés fisiológico en condiciones de sequía. El estrés por sequía es considerado uno de los más importantes factores abióticos limitantes para el crecimiento de las plantas y el rendimiento en campo de muchas áreas de producción (Kramer y Boyer 1997).

No obstante las ventajas que representa la presencia de micorrizas en los cultivos, Dell'Amico *et al.* (2002) encontraron que la micorrización no provoca cambios sustanciales en el crecimiento de las raíces, pero estimula en gran medida el crecimiento en la biomasa seca y el área foliar de las plantas, tanto en condiciones de buen abastecimiento hídrico como de sequía y favorece la recuperación de las plantas cuando se restablece el suministro hídrico. En cuanto al potencial osmótico no se apreció ningún efecto beneficioso de las MVA, lo que indicó que no se dio ajuste osmótico en las plantas, aun contando con micorrizas.

III. Materiales y Métodos

3.1 Origen del material

Las semillas de chabacano que fueron utilizadas se obtuvieron del municipio de San Lorenzo Chiautzingo, en el estado de Puebla, el cual se encuentra ubicado entre los paralelos 19° 10' 24" y 19° 13' 42" de latitud Norte y los meridianos 98° 26' 24" y 98° 33' 36" de longitud Oeste, colinda con los municipios de San Felipe Teotlalcingo y San Miguel Huejotzingo. El municipio se ubica dentro de la zona de climas templados del valle de Puebla (Figura 1). Se identifica un sólo clima: Templado subhúmedo con lluvias en verano, la precipitación total anual tiene un intervalo de 600 a 1,000 mm y el porcentaje de lluvia invernal es menor de 5. En un gran número de casos, el tipo de lluvia es advectiva, aunque en los meses de mayor precipitación, junio, julio, agosto y septiembre, se presentan lluvias convectivas. Las localidades que integran este municipio son San Agustín Atzompa, San Juan Tetla, San Antonio Tlatenco y San Nicolás Zecalacoayan, cuyas principales actividades económicas se basan en la agricultura y la fruticultura, y en menor escala la ganadería (Ayuntamiento de Chiautzingo, 2013).



Figura 1. Ubicación geográfica del municipio de San Lorenzo Chiautzingo, perteneciente al estado de Puebla, donde se colectaron semillas de chabacano (*Prunus armeniaca* L.) desarrolladas en zonas de temporal.

3.2 Recolección de semillas

Para la obtención de semillas de chabacano se realizaron recorridos de campo en el mes de mayo del año 2012 en la localidad de San Juan Tetla, se identificaron terrenos dedicados a la agricultura que no cuentan con riego y que tuvieran árboles de chabacano con un buen desarrollo tanto de planta como de fruto (Figura 2). Se seleccionaron árboles, posteriormente se recolectaron frutos del sitio, durante la maduración y cosecha, en el ciclo de producción mayo 2012. Los frutos se recogieron cuando se encontraban entre la madurez fisiológica y la madurez de consumo, con el fin de que la pulpa no fuera demasiado suave para análisis de calidad del fruto.



Figura 2. De izquierda a derecha. A) árbol seleccionado de *P. armeniaca* con base en su adaptación, B) frutos cosechados en etapa de madurez fisiológica, C) semillas obtenidas después de los procesos de despulpado y secado.

3.3 Selección de árboles de chabacano y análisis realizados a frutos

El monitoreo se realizó seleccionando cuatro puntos de muestreo en la zona, se ubicó una planta de *P. armeniaca* por punto, se referenciaron geográficamente con un GPS marca Garmin (modelo Etrex Legend, Taiwan). Cada árbol se identificó como SJ-1, SJ-2, SJ-3 y SJ-4 respectivamente, se etiquetaron y se determinó su largo y ancho con un flexómetro metálico marca Truper® (modelo FX-5MX). En esos mismos árboles se realizó un muestreo de 15 hojas por punto cardinal en tres estratos diferentes (180 hojas/árbol), a las que se determinó el área foliar con un integrador de área marca LICOR (modelo L1-3100C, EUA) y también se les determinó la concentración de clorofila

en unidades SPAD, utilizando un cuantificador portátil de clorofila SPAD-502 SEEDMECH Plus (Cuadro 2). La ubicación de dichos puntos, funcionó en lo sucesivo para monitorear como se comportó la humedad en el suelo a través del año.

Cuadro 2. Información básica de los árboles seleccionados de *P. armeniaca* para la obtención de frutos durante el mes de mayo en la localidad de San Juan Tetla. La denominación SJ indica la población (San Juan) y el número de árbol correspondiente.

No. de Árbol	Altura (cm)	Diámetro (cm)	¹Área foliar (cm²)	Clorofila (²U SPAD)	Número de frutos
SJ-1	380	17	16.31	28.3	142
SJ-2	420	21	38.31	31.87	12
SJ-3	360	19	16.97	31.6	197
SJ-4	400	20	17.83	31.3	193

¹ Área foliar promedio por hoja

² U: Unidades promedio determinadas al centro de cada hoja.

Con respecto a los frutos de dichos árboles, se les realizaron pruebas físicas y químicas a 45 de ellos (Figura 3) en el Laboratorio de Poscosecha del Colegio de Postgraduados Campus Montecillo, Texcoco, Estado de México, con el objetivo de determinar aspectos básicos de calidad (ver resultados en Cuadro 4).

La determinación de peso en frutos se realizó con una balanza marca Asep® (modelo EY-2200A, Japón). La longitud y el diámetro de los frutos se realizó con un calibrador digital marca Truper® (modelo CALDI 6MP, EUA) expresando la lectura en mm; el criterio utilizado para la longitud fue medir desde el ápice del pedúnculo hasta la punta del fruto y para el diámetro se tomó como referencia el ancho del fruto (diámetro ecuatorial). La firmeza fue evaluada con un texturómetro de Chatillón Forcé Five® (wagner, modelo FDV-30) provisto de un puntal cónico de 8 mm, se registró la resistencia de la piel a la puntura en Newtons (N). La determinación de los grados Brix se realizó con un refractómetro digital marca Atago® (modelo R-100), con un mínimo 0.1 % hasta un máximo de 32% de Sólidos Solubles Totales (°Brix). En la acidez titulable se empleó el método de titulación indicado por la A.O.A.C. (Ulrich, 1970).

A los frutos recolectados del árbol SJ-2 no se les realizó análisis de características químicas debido a que no se tenía el número mínimo de frutos que se requerían en etapas posteriores del experimento, mismos que mostraron mayor tamaño y peso que los recolectados del resto de los árboles.



Figura 3. De izquierda a derecha. A) frutos de *P. armeniaca*, después de ser sometidos a la prueba de firmeza, B) muestras concluidas de acidez titulable.

3.4 Ubicación de puntos de monitoreo de la humedad del suelo

Una vez seleccionada la ubicación de los árboles, se realizó un muestreo de suelo en dichos puntos. Tomando en cuenta que los puntos SJ-1 y SJ-2 se encontraban próximos, se identificó la muestra de suelo como 1, y como SJ-3 y SJ-4 compartían el mismo tipo de suelo, se identificó la muestra como 2. Se realizaron dos tomas de muestra, siguiendo la metodología de puntos de muestreo en tres bolillo, a una profundidad de 40 cm. Las muestras de suelo se enviaron al Laboratorio de física de suelos del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo para determinar la granulometría y sus características físico-químicas (ver resultados en Cuadro 5).

También se realizó la determinación del porcentaje de humedad de suelo en los puntos de monitoreo, donde una vez por semana se realizó un muestreo en dos estratos diferentes en profundidad, el primero a 30 cm y el segundo a 60 cm, esta actividad inició el 20 de mayo de 2012 y finalizó el 29 de diciembre de 2013. La humedad del suelo se determinó por el método gravimétrico, por lo que se determinó el peso del

suelo húmedo usando una balanza digital marca Sartorius (modelo Pro 32/34F, Alemania). Posteriormente, la muestra de suelo se introdujo en una estufa de secado marca Napco (modelo 620, EUA) a 105 °C durante 24 h, tras lo cual se enfrió y se pesó obteniendo el peso seco del suelo. El porcentaje de humedad se determinó por diferencia entre el peso húmedo y el peso seco del suelo, usando la siguiente ecuación:

$$\% \text{ de H} = [(\text{peso del suelo húmedo} - \text{peso del suelo seco}) / (\text{peso del suelo seco})] \times 100$$

3.5 Establecimiento del experimento

3.5.1 Escarificación y estratificación de semillas

Se obtuvo un total de 544 semillas como resultado de la recolección de frutos, éstas al ser escarificadas mostraron almendras de mediana a baja calidad (presentaron deformaciones y baja densidad, dando como resultado, poco peso y la presencia de hongos). Las almendras se estratificaron, utilizando el método propuesto por Mondragón *et al.* (2004), la estratificación se realizó el día 12 de julio del 2012.

El día 17 de julio del 2012 se observó el inicio de la germinación, que concluyó hasta el 02 de agosto del mismo año, los datos indican que se requirieron de 125 a 504 unidades frío, las cuales se determinaron a temperatura entre 2 y 4 °C, dentro de un refrigerador marca Lab-Line Instruments, por el periodo mencionado. El porcentaje de germinación fue de 58.34 %, medido cuando se observó la radícula con una longitud mínima de dos milímetros; las semillas germinadas se trasplantaron a tubetes de germinación con 'peat moss'.

3.5.2 Trasplante a bolsa de vivero

Se utilizaron bolsas de vivero con capacidad de tres litros, el sustrato empleado fue suelo proveniente de la zona de estudio, resultado de mezcla de suelo donde se encuentran los árboles de donde se tomaron los frutos para obtención de semilla; las características físico-químicas del suelo se describen en Cuadro 5 (ver página 34). El día 4 de septiembre se realizó el trasplante de las plántulas cuya altura rebasaba los 15 cm de altura. Las plántulas fueron regadas tres veces por semana con 100 mL de agua

potable por planta. Fue necesario aplicar el insecticida Lanate[®] a razón de 1 g L⁻¹ para disminuir la incidencia de mosquita blanca (*Bemisa tabaci*) sobre las plántulas, no se aplicaron fertilizantes.

Durante el desarrollo de las plántulas en el vivero, se registraron dos descensos de la temperatura ambiente críticos, la primera con temperatura mínima de -4 °C (06 de octubre del 2012), la segunda con temperatura mínima de -7 °C (03 de marzo del 2013) de acuerdo con la información obtenida de la estación Agrometeorológica del Posgrado en Hidrociencias del Campus Montecillo. Estos eventos meteorológicos afectaron significativamente el crecimiento, además de que acabaron una cantidad considerable de plántulas, por lo que se contó con una cantidad menor de 200 plantas destinadas a la investigación.

3.5.3 Ubicación del experimento

La investigación se realizó en el Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, en el municipio de Texcoco, Estado de México, ubicado entre las coordenadas 19° 28´ 04" de latitud N y 98° 53´ 42" de longitud O con una altitud de 2,250 msnm, con climas que van del templado semi-seco al templado subhúmedo (Jasso y Pimentel, 1985). El desarrollo del experimento fue de abril a julio del 2013, se utilizó una caseta invernadero cubierta con plástico de color lechoso que permitía el paso del 70% de la radiación fotosintéticamente activa. Las temperaturas diarias registradas en el mes de abril fueron entre 9 °C y 43 °C, con temperatura promedio mensual de hoja de 29.2 °C registrada entre las 12:30 y 13:00 h (según el sistema portátil y abierto de análisis de gases en el espectro infrarrojo utilizado para medición de intercambio de gases); en el mes de mayo las temperaturas variaron de 13 a 40 °C, en tanto que la de hoja fue de 27.2 °C; en junio se registraron temperaturas de 10 a 39 °C; y en julio, dado que las lluvias ya estaban establecidas y los nublados se aumentaron, las temperaturas durante el día disminuyeron, observando valores entre 12 y 36 °C. Los promedios de humedad relativa máxima en la caseta, durante el periodo de estudio, fueron entre 80.4 y 90%.

Se acondicionó el lugar con base en las necesidades del experimento, se colocaron tarimas de madera sobre el suelo para evitar que las bolsas que contenían las plantas de chabacano estuvieran en contacto directo con el tezontle que cubría el piso y se tutoraron las plantas con pequeños postes de madera, a los que se sujetaron con un lazo de plástico.

3.6 Diseño experimental

La edad de la plántula al inicio del experimento era de siete meses, se seleccionaron plántulas con el mejor fenotipo (mayor desarrollo en altura y número de hojas). Se contabilizaron 150 individuos que se dividieron en dos grupos con 75 plantas cada uno, que se distribuyeron en un diseño experimental completamente al azar con dos tratamientos, T0 = riego constante y T1 = riego-sequía, cada planta representó una unidad experimental. El primer grupo fue el tratamiento testigo (T0), bajo condiciones de riego, se logró regando cada tres días a capacidad de campo; el otro grupo fue el tratamiento riego-sequía (T1) que consistió en llevar la maceta a capacidad de campo, suspender el riego y una vez que se determinaban los valores de conductancia estomática mínimos en planta, previo a punto de marchitamiento permanente, se aplicó el riego de recuperación a saturación. Este procedimiento se inició el 15 de abril del 2013 y se continuó durante siete ciclos (cada 12 días).

3.7 Determinación de las variables

Para la determinación de las variables, en cada muestreo, se eligieron plantas de chabacano al azar en cada tratamiento, las cuales se marcaron y etiquetaron de manera aleatoria. El periodo entre fechas de muestreo o ciclos (12 días), se determinó al observarse el valor más bajo de conductancia estomática, previo al punto de marchitamiento permanente ($16.4 \mu\text{moles m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Para la toma de datos se utilizaron plantas diferentes en cada muestreo. Durante el tiempo que duró el experimento, se realizaron siete evaluaciones de las variables en estudio establecidas (cada 12 días), excepción hecha de hacer solamente dos de las variables medidas de intercambio de gases.

3.7.1 Intercambio de gases: Conductancia estomática y tasa de asimilación

Se tomaron 15 plantas al azar de cada tratamiento y, a partir del 15 de abril del 2013, se inició la determinación de conductancia estomática (g_s) y la tasa de asimilación (A) con un sistema portátil y abierto de análisis de gases en el espectro infrarrojo marca PP SYSTEMS (modelo CIRAS-1, EUA). Las mediciones se realizaron en hojas jóvenes completamente expandidas, entre las 12:00 y 14:00 horas del día (horas de mayor radiación). Inicialmente las determinaciones se realizaron cada tercer día, sin embargo debido a la respuesta rápida de la conductancia estomática por la disminución del agua en el suelo, se hicieron mediciones diarias de éstas dos variables (g_s y A).

3.7.2 Variables de crecimiento: Altura, diámetro y número de hojas

Estas determinaciones se realizaron en el periodo del 15 de abril al 06 de julio de 2013, cada semana se tomó la altura con un flexómetro metálico marca Truper (modelo FX-5MX) a 15 plantas tomadas al azar en cada tratamiento, tomando como criterio la medición desde el nivel del suelo hasta el final de la hoja más joven del ápice. El diámetro se midió con un calibrador digital marca Truper (modelo CALDI 6MP, EUA), tomando como referencia una marca cercana al suelo realizada en el tallo. El número de hojas se realizó a través de conteo directo.

3.7.3 Potencial de agua

El potencial de agua (Ψ_A) se obtuvo cuando la conductancia estomática alcanzó valores mínimos en el T1 en comparación con el T0. Para ello, se empleó la técnica de la cámara de presión o de Scholander. Para las determinaciones de potencial se seleccionaron 10 plantas de cada tratamiento; en cada una se tomaron los últimos 15 cm del tallo principal (medido desde el ápice), mismo que se cortó con una navaja tangencialmente e inmediatamente después se colocó dentro de la bomba Scholander (Soil Moisture Equipment Corp, Santa Barbara, CA. EUA) y se selló herméticamente (Figura 4).

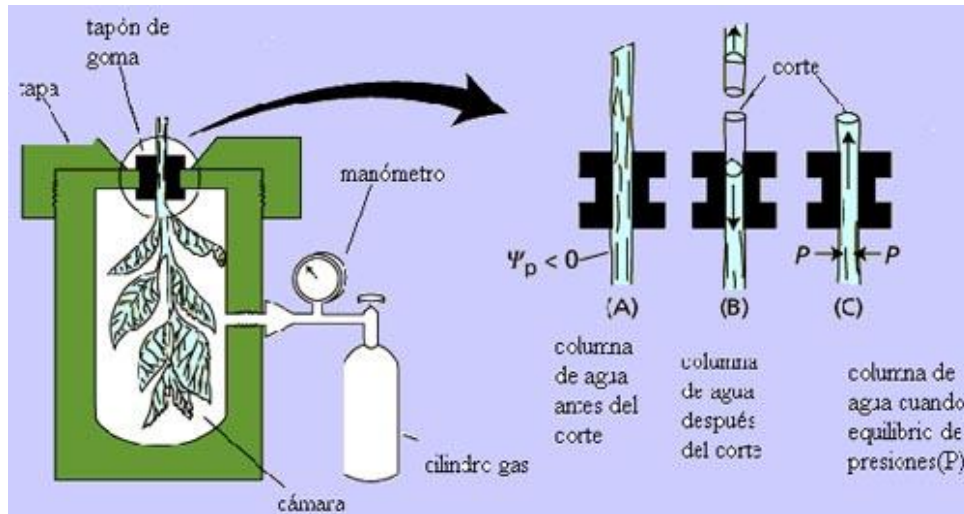


Figura 4. Ilustración representativa en la que se observa cómo se colocó la muestra vegetal en la cámara de presión o de “Scholander” (Hernández, 2007).

La presión dentro de la cámara se incrementó gradualmente hasta observar un pequeño menisco de savia sobre el corte del tallo (momento en donde se alcanzó el balance de presión), se registró la lectura en MPa y se despresurizó la cámara. Se desprendió la hoja en donde se realizaron las mediciones con el IRGA, posteriormente se envolvió en papel aluminio, se etiquetó y sumergió en nitrógeno líquido, el mismo procedimiento se realizó con la hoja inmediatamente superior. La primera hoja se destinó para las determinaciones de potencial osmótico (Ψ_{π}) y la segunda hoja para determinar la concentración de prolina.

3.7.4 Potencial osmótico

El potencial osmótico (Ψ_{π}) se realizó en las muestras vegetales correspondientes a hojas de los tratamientos, T0 y T1, en 10 hojas por cada tratamiento (repeticiones), una por cada planta utilizada para medición de potencial en cada fecha de muestreo (10); las hojas fueron conservadas en nitrógeno líquido. Se permitió que las muestras se descongelaran a temperatura ambiente y posteriormente cada muestra se introdujo en una jeringa hipodérmica para extraer la savia, la cual se almacenó en tubos Eppendorf, de donde se tomó una alícuota de 10 μL que se colocó sobre pequeños círculos de papel filtro, los cuales se introdujeron en el osmómetro de presión de vapor marca

Wescor (modelo 5520 EUA) durante 70 segundos; al final de ese tiempo, se tomaron las lecturas y se calculó el potencial osmótico usando la siguiente ecuación:

$$\Psi_{\pi} = -CRT$$

Donde C, es la lectura obtenida en el osmómetro (mmols kg^{-1}), R, es la constante general de los gases y T, la temperatura absoluta ($^{\circ}\text{K}$).

3.7.5 Potencial de turgencia

El potencial de turgencia (Ψ_T) se obtuvo por diferencia usando la ecuación general de potencial de agua: $\Psi_A = \Psi_{\pi} + \Psi_T$.

3.7.6 Porcentaje de humedad en el suelo

Para obtener el porcentaje de humedad en suelo de las bolsas de aquellas plantas que se destruyeron en cada muestreo para medición de variables de potencial, materia seca y concentración de nutrientes, se tomaron 10 muestras de suelo de cada tratamiento (una por bolsa) de la parte media de la bolsa. El método utilizado fue el gravimétrico, el mismo que se usó en el seguimiento semanal de la humedad del suelo en el sitio de monitoreo de los árboles geo-referenciados, la frecuencia de muestreos fue de 12 días.

3.7.7 Materia seca

Con el uso de tijeras de podar, de las 10 plantas a las que se les practicó cosecha destructiva, se separaron hojas, tallos y raíces por planta, registrando su peso en fresco por separado con una balanza digital Scientech (modelo SA120, EUA). Posteriormente se colocaron en una estufa de secado Napco (modelo 620, EUA) a 70°C durante 72 h. Se dejaron enfriar y se determinó su peso seco. El porcentaje de humedad se calculó con la siguiente relación:

$$\% \text{ de humedad} = [(\text{peso inicial} - \text{peso final}) / (\text{peso final})] \times 100$$

3.7.8 Prolina

Para determinar concentración de prolina por planta, de las 10 plántulas cosechadas por muestreo de cada tratamiento, se generaron 5 pares de hojas, tomando una hoja de cada planta; fue necesario dividir el trabajo en tres etapas, la primera consistió en preparar ácido fosfórico a una concentración 6 M, ninhidrina ácida, ácido sulfosalicílico al 3 % y solución estándar de L-prolina. Se hicieron diluciones conocidas en nanomoles de prolina y se realizó el protocolo de cuantificación de prolina para obtener una curva de calibración, con base en la metodología propuesta por Bates (1973), los valores se muestran en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Curva de calibración de prolina (cada valor es el promedio de tres repeticiones por cada punto de la curva).

Punto en la curva	Solución de prolina (mL)	Ácido Sulfosalicílico (mL)	Cantidad de prolina (nmoles)	Valor de absorbancia
1	0.05	1.95	20	0.044
2	0.10	1.90	40	0.096
3	0.20	1.80	80	0.196
4	0.40	1.60	160	0.382
5	0.60	1.40	240	0.567
6	0.80	1.20	320	0.805
7	1.00	1.00	400	1.032
8	1.50	0.50	600	1.520
9	2.00	-----	800	1.900

En la segunda etapa, fue necesario determinar la cantidad de gramos requeridos para detectar las concentraciones de prolina por tratamiento, por lo que, antes de realizar el análisis en la totalidad de las muestras, se realizó un ensayo en los dos tratamientos con diferentes cantidades de tejido, para lo cual se usó una balanza analítica marca Scientech (modelo SA120, EUA). Para el T0 se ensayó con pesos de 0.1 g y 0.01 g, mientras que para el T1 se consideraron 0.05 g y 0.005 g. El resultado de esta prueba indicó que 0.1 y 0.05 g para T0 y T1, respectivamente, se encontraban dentro de un

intervalo óptimo en la curva de calibración. Por lo tanto estas cantidades de tejido se usaron en todas las determinaciones de prolina.

En la tercera etapa, las muestras de hojas fueron retiradas del nitrógeno líquido, el papel aluminio que las envolvía fue perforado repetidas veces con una aguja de disección y se colocó dentro de un liofilizador marca Labconco (modelo 195, República Checa) durante 48 h. Una vez deshidratadas las muestras, con el apoyo de un mortero y pistilo, se maceraron las hojas hasta obtener un polvo muy fino. Debido a que el tamaño de muestra fue menor a lo requerido en el protocolo de prolina, se combinó el polvo macerado de dos hojas pertenecientes a un mismo tratamiento para obtener las cantidades necesarias para el análisis, de tal manera que de las 10 repeticiones en cada muestreo, se trabajó con 5 muestras compuestas para la determinación de prolina.

Cada muestra fue colocada en el mortero, se le adicionó 5 mL de ácido sulfosalicílico al 3 %. La mezcla se maceró hasta que se obtuvo una consistencia uniforme, se filtró con papel Watman # 42, saturado previamente con ácido sulfosalicílico al 3 %. Del filtrado se tomaron 2 mL que se colocaron dentro de tubos de ensayo a los que se agregó 2 mL de ninhidrina ácida y 2 mL de ácido acético glacial. Se agitaron en un vortex por 10 segundos y se incubaron en baño maría por 1 h; cabe aclarar que a los tubos se les colocó canicas de vidrio en la parte superior para evitar evaporación y contaminación. A la par, se preparó un blanco de referencia con ácido sulfosalicílico al 3 %.

Cuando finalizó el baño maría, las muestras se sumergieron en agua fría para detener la reacción, se retiraron del agua fría y se les adicionó 4 mL de tolueno a cada tubo, se agitaron con el vortex por 10 segundos y se tomaron 3 mL de solución para obtener la lectura en un espectrofotómetro marca Milton Roy (modelo Spectronic 21D, EUA) a una longitud de onda de 520 nm, calibrando a cero de absorbancia con el blanco.

3.7.9 Nutrientes

Se determinaron las concentraciones de fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg) en hojas, tallo y raíz en 5 muestras obtenidas de las 10 plantas cosechadas de

cada muestreo por tratamiento. Las muestras se lavaron con agua destilada y se enjuagaron con agua desionizada, se secaron a 70 °C durante 72 h hasta peso constante en estufa ventilada de secado marca Napco, (modelo 620, EUA) y posteriormente se molieron. La determinación de nutrientes se realizó de acuerdo con las siguientes metodologías:

3.7.9.1 Fósforo (P⁺). Se analizó por colorimetría en un espectrofotómetro marca Milton Roy (modelo Spectronic 20D, EUA) a una longitud de onda de 470 nm, por medio del método de vanadato-molibdato amarillo citado por Olsen *et al.* (1954)

3.7.9.2 Potasio (K⁺). Se determinó por emisión en un espectrofotómetro de absorción atómica marca GBC Scientific Equipment (modelo SavantAA, Australia).

3.7.9.3 Calcio (Ca⁺⁺) y Magnesio (Mg⁺⁺). Se determinó por la metodología de Chapman y Pratt (1973), cuantificando en un espectrofotómetro de absorción atómica marca GBC Scientific Equipment (modelo SavantAA, Australia).

3.8.0 Determinación de micorrizas arbusculares

3.8.0.1 En raíz. Al final del experimento, se seleccionaron tres plantas de once meses de edad por cada tratamiento, con un promedio de altura de 85 cm para el T0 y 53 cm para el T1. Se realizó la extracción completa de raíces, se lavaron con agua corriente y se obtuvieron sub-muestras representativas de acuerdo con la metodología propuesta por Sieverding (1985), las cuales se etiquetaron, aclararon y tiñeron. Siguiendo el método de Phillips y Hayman (1970), las raíces extraídas se lavaron perfectamente con agua corriente hasta dejarlas libres de suelo, se colocaron en cápsulas estériles en un vaso de precipitados, se les agregó KOH (hidróxido de sodio) al 10%, se calentaron por 10 minutos en una olla de presión (Beem, Alemania) con manómetro y capacidad de 10 L, a 10 libras de presión. Se retiró el KOH. Se enjuagaron las raíces con agua destilada, se agregó agua oxigenada (H₂O₂) al 10% y se agitó con una varilla de vidrio por 3 minutos. Se enjuagaron con agua destilada, se cubrieron con HCl al 10 % por 3 minutos, pasado este tiempo se eliminó el exceso de HCl y, sin enjuagar, se procedió a

la tinción. Se agregó solución colorante (Azul Tripano al 0.05 % en lactoglicerol) a las capsulas que contenían las raíces hasta cubrir las por completo. Las raíces se calentaron en la olla de presión con manómetro y capacidad de 10 L; se eliminó el exceso de colorante y las raíces se decoloraron con lactoglicerol.

Para determinar el porcentaje de colonización de micorrizas, las raíces coloreadas se colocaron en un portaobjetos, se agregaron de una a tres gotas de lactoglicerol en los extremos, se colocó el cubreobjetos, se eliminaron las burbujas de aire y se eliminó el exceso de lactoglicerol con un algodón humedecido en alcohol. Las raíces se observaron con un fotomicroscopio marca Olympus, (modelo BX41TF) con cámara digital Infinity 1.

3.8.0.2 En suelo. Se tomaron muestras de suelo de las bolsas donde se desarrollaron las tres plantas seleccionadas para la determinación de micorrizas en raíz por cada tratamiento. El método utilizado para la cuantificación de micorrizas, fue el del tamizado y decantado en húmedo de Gerdemann y Nicolson (1963), que permitió la extracción de esporas en porcentaje. Se pesaron 100 g de suelo seco, para mezclarlo con 1,000 mL de agua corriente. Se agitó mecánicamente con una espátula durante 5 minutos, se dejó reposar 5 minutos más, para eliminar las partículas grandes por sedimentación. La suspensión se pasó a través de una columna de tamices graduados, colocados en orden decreciente de número de malla, esto fue 45, 60 y 100, el producto resultante de cada malla se colocó sobre papel filtro humedecido. Las micorrizas se observaron en un fotomicroscopio marca Carl Zeiss (modelo Tessovar) con cámara digital para microscopia (Pazcam 3).

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Variables de calidad de los frutos de árboles de chabacano

En lo que respecta a sólidos solubles totales, se observó que los frutos provenientes de los árboles SJ-3 y SJ-4 presentaron valores menores a 6 °Brix mientras que en el árbol SJ-1 se encontraron frutos con cantidades mayores a 18 °Brix (Cuadro 4), esto indicó que los frutos de los 2 primeros árboles al momento de ser cosechados aún no se encontraban en madurez fisiológica. En lo relativo a los índices de calidad en fruto de chabacano, Crisosto *et al.* (2014) mencionan que los frutos con mayor aceptación por el consumidor, son aquellos que tienen un contenido alto de sólidos solubles (> 10 %), el cual es un índice de madurez de los frutos del género *Prunus*, como lo indica Duran (1983), quien menciona que existe una relación entre °Brix/Acidez titulable y la madurez fisiológica, cuando se tienen valores entre 13.8 y 19.9 °Brix. Valores similares de °Brix fueron encontrados por Roussos *et al.* (2011) en atributos de la calidad del fruto de *P. armeniaca*, los cuales oscilaron entre 6.93 y 15.2 °Brix.

Cuadro 4. Calidad de fruto¹ de chabacano obtenido de cuatro árboles provenientes de la localidad de San Juan Tetla, San Lorenzo Chiautzingo, Puebla.

No. de Árbol	Peso (g)	Longitud (mm)	Diámetro (mm)	Firmeza ² (N)	SST (°Brix)	AT (%Ác málico)
SJ-1	12.6	32.99	24.99	5.39	19.39	2.38
SJ-2	37.28	43.33	41.30	3.83	---	---
SJ-3	15.82	34.45	26.53	2.47	5.02	1.95
SJ-4	16.61	34.2	27.69	2.30	3.25	1.82

¹ Los datos que se reportan, son valores promedio por fruto.

²Abreviaciones. N: Newton, SST: Sólidos Solubles Totales, AT: Acidez Titulable, ác: ácido.

Se observó que los valores obtenidos en los índices de calidad de fruto de *P. armeniaca* son menores o iguales a los reportados por Roussos *et al.* (2011), peso (31.4 a 80.96 g), longitud (36.9 a 56 mm), diámetro (38.5 a 51 mm), firmeza (3.43 a 8.93 N) y acidez titulable (1.4 a 2.5 de % de ácido málico). Esto se debió probablemente a las diferencias en condiciones ambientales durante el desarrollo de fruto y aquellas que introduce el cultivar, como es posible observar en monitoreo del

porcentaje de humedad en el suelo de la zona de estudio (Figuras 5, 6, 7 y 8), ésta no se encontró disponible en épocas prioritarias del desarrollo del fruto (febrero, marzo y abril) dando como resultado una baja calidad. No obstante, en el árbol SJ-2 se obtuvieron frutos con valores en peso, longitud y diámetro dentro de un intervalo óptimo en los parámetros de calidad de fruto y en los frutos del árbol SJ-1, en los sólidos solubles totales que fueron mayores al 10 %, que cumple con las concentraciones de sólidos disueltos mínimos de fruta (>10) indicado en el PROYECTO de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-173-SCFI-2008, Jugos de frutas pre-ensados denominaciones, especificaciones físico-químicas, información comercial y métodos de prueba (DOF, 2014). Lo anterior sugiere que a pesar de que en la mayoría de los frutos cosechados no se obtuvieron niveles satisfactorios de calidad, existen materiales capaces de tolerar las condiciones de déficit de humedad en el suelo y ser capaces de producir frutos con características deseadas en la producción.

4.2 Características físico-químicas del suelo

En los análisis realizados a los suelos, se detectó que la materia orgánica es muy baja, según la clasificación para suelos volcánicos (< 4 %), ocurre lo mismo para nitrógeno total en ambas muestras (< 0.3 %) (Cuadro 5). Sin embargo, en el caso de fósforo, la muestra uno se clasificó como media ($15-30 \text{ mg kg}^{-1}$) y la muestra dos como baja ($< 15 \text{ mg kg}^{-1}$) de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000, que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio muestreo y análisis (SEMARNAT, 2002).

Los resultados obtenidos respecto a las propiedades físicas y gravimétricas de los suelos, indican que las condiciones edáficas en las que se desarrollaron las plántulas obtenidas y su comportamiento *in situ*, se trata de dos clases texturales diferentes (Cuadro 5), la muestra 1 corresponde al área donde provienen los árboles 1 y 2 y la muestra 2, donde se encuentran los árboles 3 y 4. Se observó también que las propiedades gravimétricas del suelo (Cuadro 5), se relacionan directamente con las propiedades físicas, ya que en el caso del suelo migajón arenoso se tienen valores más bajos en saturación (53.8 %), capacidad de campo (25.90 %), % de humedad (14.6 %) y punto de marchitamiento permanente (13.50 %), que en el migajón arcillo arenoso.

Cuadro 5. Características físico-químicas de dos muestras de suelo provenientes de la localidad de San Juan Tetla, San Lorenzo Chiautzingo, Puebla.

Análisis realizados	Muestras	
	1 ¹	2
M. Orgánica (%) W. Black	3.09	2.58
N. total (%) Micro Kjeldhal	0.13	0.11
Fósforo (mg kg ⁻¹) Bray 1	17.17	6.06
Potasio (cmol kg ⁻¹) F. Flama	1.02	1.30
Arena (%) 1.00-0.05 (mm)	66	59
Limo (%) 0.05-0.002 (mm)	17	10
Arcilla (%) <-0.002 (mm)	17	31
Clase Textural	Migajón arenoso	Migajón arcillo arenoso
Saturación (%)	53.8	61.2
Capacidad de campo (%)	25.90	29.60
Humedad (%)	14.6	18.3
Punto de marchitamiento permanente (%)	13.50	15.19

¹ Muestras que corresponden a los suelos utilizados para sustrato de las plantas en estudio.

4.3 Monitoreo del contenido de humedad en el suelo de la zona de estudio

Como es posible apreciar en las Figuras 5, 6, 7, y 8, en las muestras de suelo para determinar porcentajes de humedad durante 20 meses, se obtuvo un comportamiento similar en los puntos de muestreo en estudio. La humedad comenzó a disminuir en el mes de octubre, continuó descendiendo hasta encontrar sus valores más bajos durante el mes de marzo y continuó de esta manera hasta el mes de mayo. A finales del mes de mayo comenzaron las lluvias estacionales, lo cual causó un incremento variable del porcentaje de humedad en todos los puntos de muestreo. Esto es congruente con lo informado por el Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI, 2013), quién reporta que las lluvias se presentan en verano durante los meses de junio a octubre con una precipitación media anual de 1,000 mm en 35 % de la superficie del estado de Puebla, que corresponde a un clima templado subhúmedo, característico de la región central y sureste del estado.

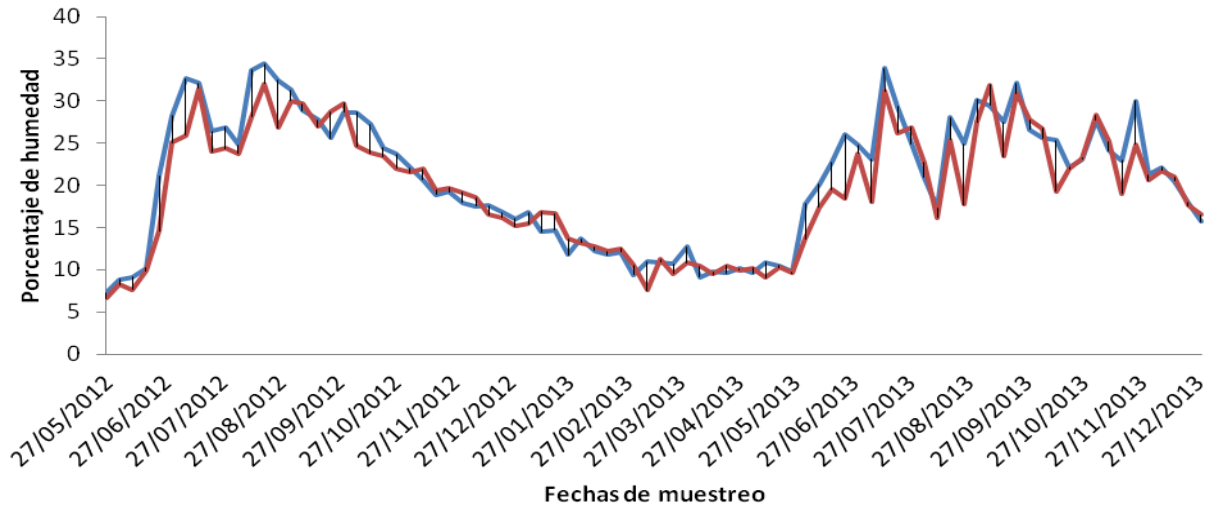


Figura 5. Fluctuación de la humedad en el suelo en un periodo de 20 meses en el punto de muestreo 1 (coordenadas 19° 12' 08.4" de latitud N y 98° 32' 25.3" de longitud O) donde se recolectaron semillas para la obtención de plántulas de *P. armeniaca* en la localidad de San Juan Tetla, profundidad de muestreo a 30 cm (línea azul) y 60 cm (línea roja).

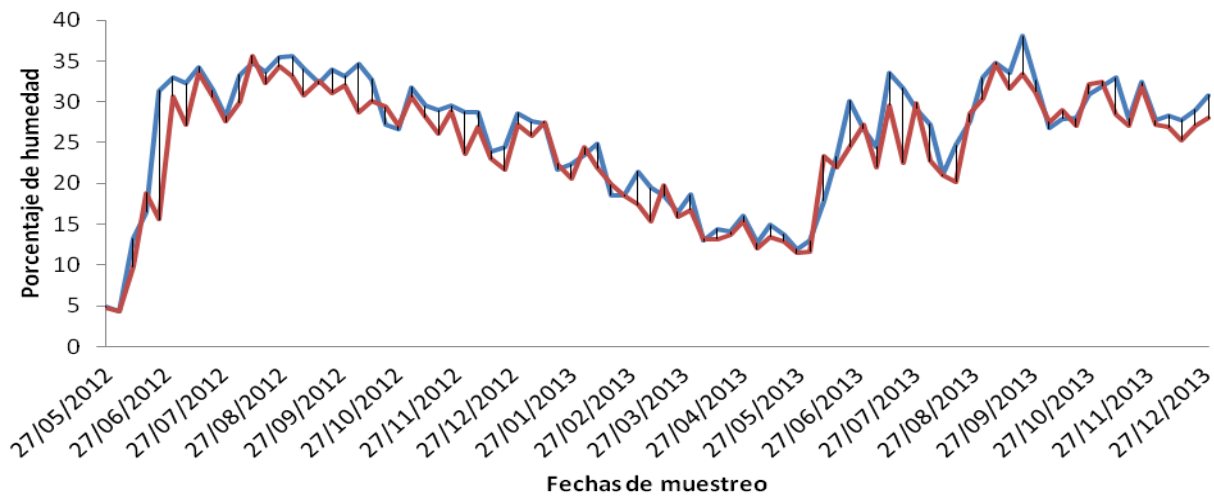


Figura 6. Fluctuación de la humedad en el suelo en un periodo de 20 meses en el punto de muestreo 2 (coordenadas 19° 12' 08.3 de latitud N y 98° 32' 29.3" de longitud O) donde se recolectaron semillas para la obtención de plántulas de *P. armeniaca* en la localidad de San Juan Tetla, profundidad de muestreo a 30 cm (línea azul) y 60 cm (línea roja).

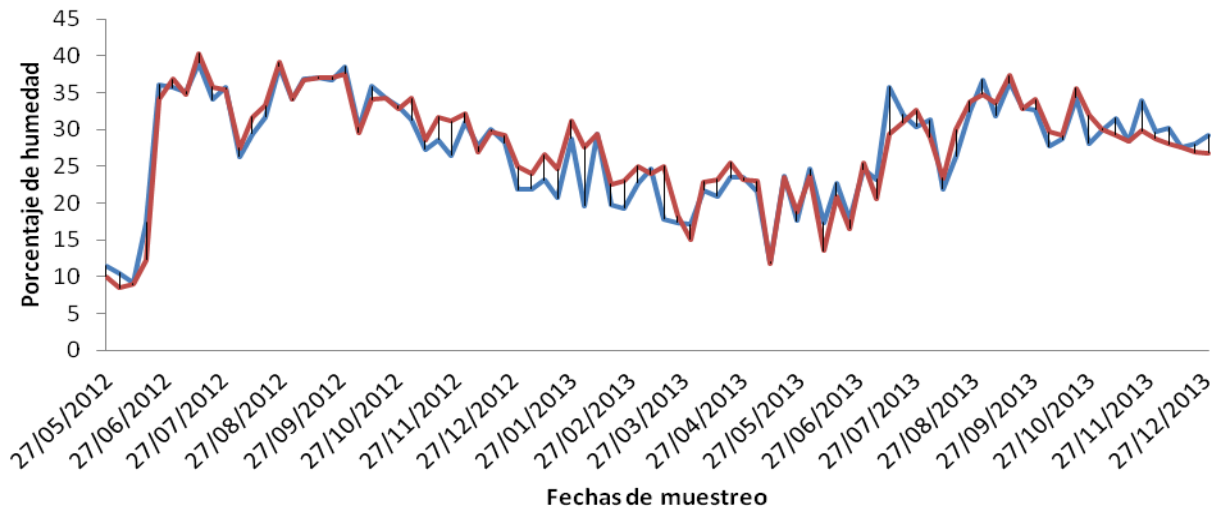


Figura 7. Fluctuación de la humedad en el suelo en un periodo de 20 meses en el punto de muestreo 3 (coordenadas 19° 12´ 09.5" de latitud N y 98° 32' 23.9" de longitud O) donde se recolectaron semillas para la obtención de plántulas de *P. armeniaca* en la localidad de San Juan Tetla, profundidad de muestreo a 30 cm (línea azul) y 60 cm (línea roja).

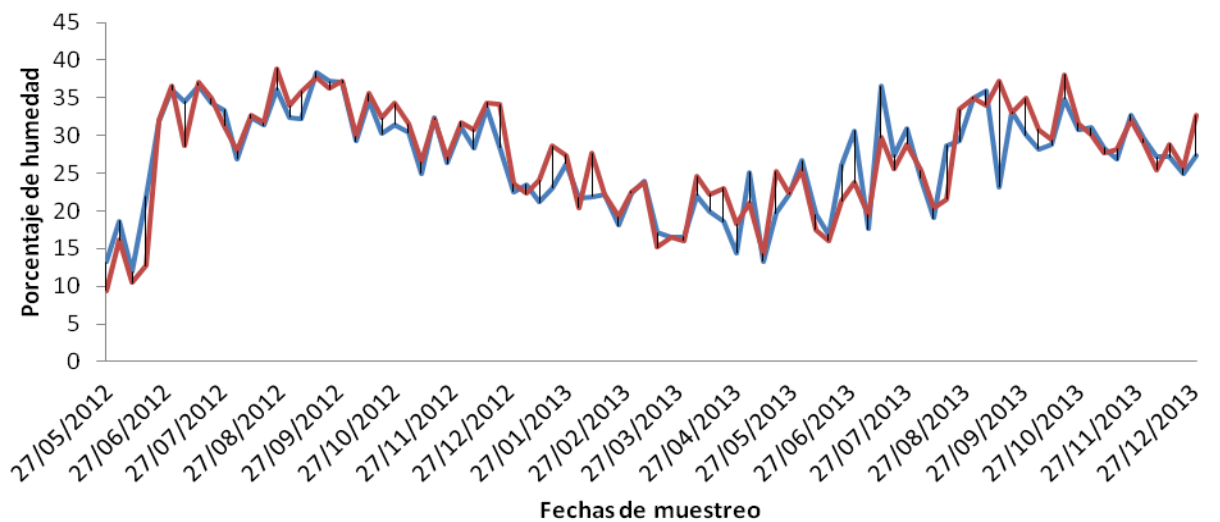


Figura 8. Fluctuación de la humedad en el suelo en un periodo de 20 meses en el punto de muestreo 4 (coordenadas 19° 12´ 10.1" de latitud N y 98° 32' 26.4" de longitud O) en donde se recolectaron semillas para la obtención de plántulas de *P. armeniaca* en la localidad de San Juan Tetla, profundidad de muestreo a 30 cm (línea azul) y 60 cm (línea roja).

4.4 Intercambio de gases

4.4.1 Conductancia estomática (g_s)

El tratamiento testigo (T0, riego constante) presentó valores de g_s en un intervalo que osciló de 72.88 hasta 221.03 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Por su parte el tratamiento de ciclos de riego-sequía (T1) presentó una disminución gradual en esta variable, alcanzando valores mínimos de 16.46 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, antes de que se le aplicará riego de recuperación para cada uno de los ciclos registrados (Figura 9). Esto ocurrió cuando el potencial de agua de las plantas del T1 fue menor a -2.0 MPa, lo cual indica, como en muchas otras especies, que el cierre estomático es sensible al nivel de agua en las hojas como consecuencia de la disminución del potencial hídrico, lo que es congruente con lo expresado por Castonguay y Markhart (1992); Hincley y Braatne (1994) y Ferreyra *et al.* (2002). Asimismo, conforme avanza el periodo de sequía en las plantas de chabacano del T1, los valores de g_s se mantienen por debajo de 100 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, tal como lo observó Torrecillas *et al.*, (1999).

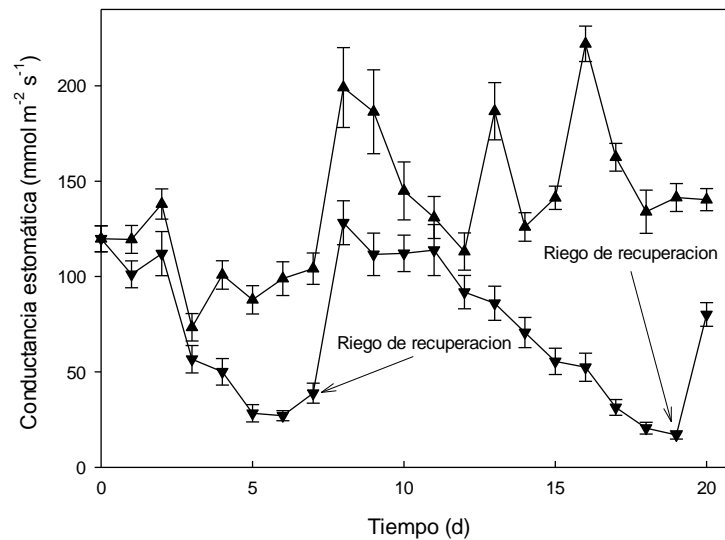


Figura 9. Conductancia estomática en plántulas de *P. armeniaca* expuestas a ciclos de riego y sequía provenientes de una colecta de semillas de la localidad de San Juan Tetla. Tratamiento testigo (Δ) y tratamiento de ciclos riego-sequía (\blacktriangledown). Cada punto es el promedio de 15 repeticiones \pm error estándar.

4.4.2 Tasa de asimilación (A)

Se observó que al inicio de la toma de datos, los valores de A en ambos tratamientos fueron muy parecidos y conforme avanzó el tiempo, el T1 fue disminuyendo sus valores de tasa de asimilación en comparación con los valores registrados en el T0, alcanzando su valor más bajo al tercer día con valores de $0.15 \mu\text{moles m}^{-2} \text{s}^{-1}$, excepto en dos ocasiones, que fueron los días inmediatamente después de aplicar el riego de recuperación, los cuales fueron de $8.88 \mu\text{moles m}^{-2} \text{s}^{-1}$ y $7.93 \mu\text{moles m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (Figura 10); estos valores son similares a los reportados por Romero y Botía (2006), quienes observaron que en árboles de cerezo sometidos a periodos de estrés con bajos contenidos de humedad en el perfil del suelo, la A máxima fue de $9 \mu\text{moles m}^{-2} \text{s}^{-1}$, mientras que los valores más bajos en esos mismos periodos fue de $6 \mu\text{moles m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Esto sugiere que la A en las plantas estudiadas disminuye conforme aumenta la escasez de agua en el suelo, independientemente de la especie de la que se trate.

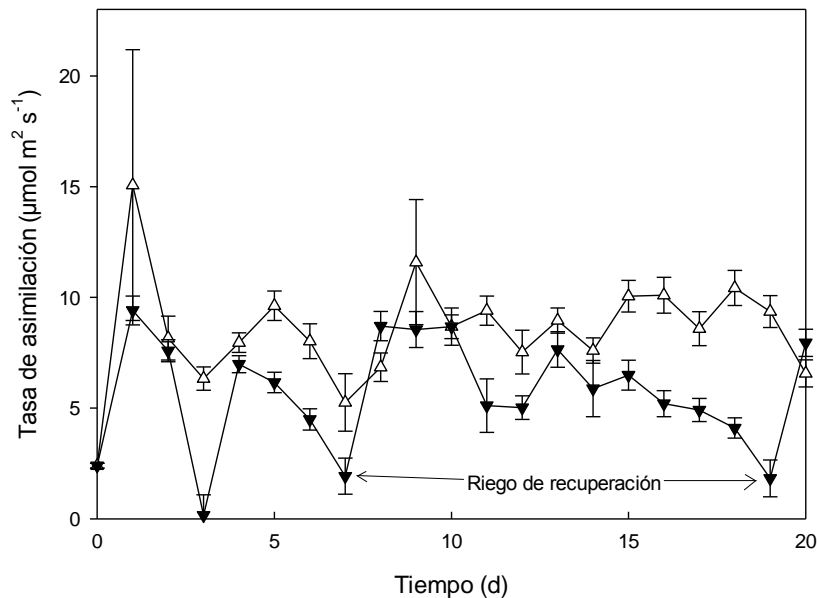


Figura 10. Tasa de asimilación (A) en plántulas de *P. armeniaca* expuestas a ciclos de riego y sequía provenientes de una colecta de semillas de la localidad de San Juan Tetla. Tratamiento testigo (Δ) y tratamiento de ciclos riego-sequía (\blacktriangledown). Cada punto es el promedio de 15 repeticiones \pm error estándar.

4.5 Variables de crecimiento

4.5.1 Altura

Los resultados de altura promedio de plántulas en los diferentes muestreos, indicaron diferencias significativas entre T0 y T1 ($P \leq 0.05$, Tukey). Asimismo, el efecto de la suspensión de riego fue inhibitorio y se observó desde el primer ciclo de suspensión de riego.

Esta inhibición se mantuvo constante (Figura 11), aunque se pudo observar un incremento muy notorio de altura en los dos tratamientos en el quinto muestreo a los 56 días. Este aumento se debió a que es la época del año en que las especies frutales tienen mayor crecimiento vegetativo, aunque se mantuvieron las diferencias entre ambos tratamientos. El valor final en altura de planta en el tratamiento con riego (T0) fue de 103 cm, en tanto que el tratamiento de riego-sequía (T1) solamente alcanzó 60 cm (una inhibición de 41.8 %).

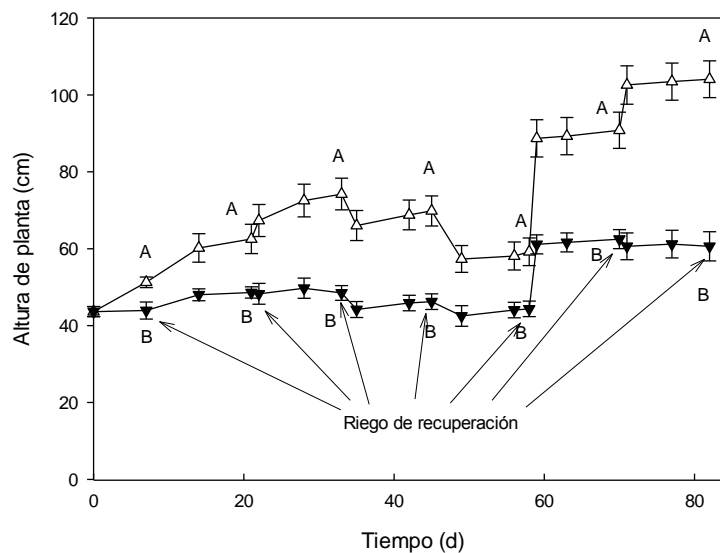


Figura 11. Altura de plántulas de *P. armeniaca* expuestas a ciclos de riego y sequía durante un periodo de 81 días de una colecta de semillas de la localidad de San Juan Tetla. Tratamiento testigo (Δ) y tratamiento de ciclos riego-sequía (\blacktriangledown). Cada punto es el promedio de 15 repeticiones \pm error estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas.

4.5.2 Diámetro

La comparación de medias de Tukey ($P \leq 0.05$) realizada para esta variable, indicó que en todos los muestreos, las diferencias entre el tratamiento T0 y T1, fueron significativas, por lo que el efecto de la suspensión de riego también afectó el crecimiento de diámetro. Durante el quinto muestreo, como ya se mencionó, se observó un incremento notorio en ambos tratamientos, porque, en esta época del año las especies frutales tienen mayor crecimiento vegetativo; las diferencias entre tratamientos, al igual que altura, se mantuvieron (Figura 12). El valor final del diámetro de planta en el tratamiento con riego fue de 6.0 mm, mientras que en el tratamiento riego-sequía alcanzó los 4.0 mm (una inhibición de 33%). Daudet *et al.* (2005) indicaron que las variaciones diarias en el diámetro del tallo de las plantas, están relacionadas con diferencias en el potencial de agua total entre las células vivas del xilema y floema, una estructura radial creciente en el diámetro de tallo y las limitaciones de agua que ocurren durante el crecimiento.

Lawlor y Cornic (2002) mencionaron que la fotosíntesis es el proceso fisiológico de mayor envergadura en el desempeño de las plantas, la tasa de fotosíntesis, tanto de las plantas C3, como de las C4, decrece a medida que su contenido hídrico relativo y el potencial hídrico disminuyen. Por otra parte, el cierre estomático es el primer paso de la respuesta ante la restricción hídrica. Una menor conductancia estomática reduce la pérdida de agua, disminuye la tasa de desarrollo del estrés y minimiza la severidad, pero reduce la absorción de CO₂. Todas estas respuestas tienen como consecuencia la disminución del crecimiento global de la planta y por ende, una disminución en la acumulación de biomasa. El transporte de agua en la planta es una parte integral del crecimiento, ya que una variedad de procesos relacionados con el crecimiento, incluyendo la formación y expansión de células vegetales, son dependientes de la presión de turgencia y el volumen celular (Woodruff *et al.*, 2004 citado por Donoso *et al.*, 2011).

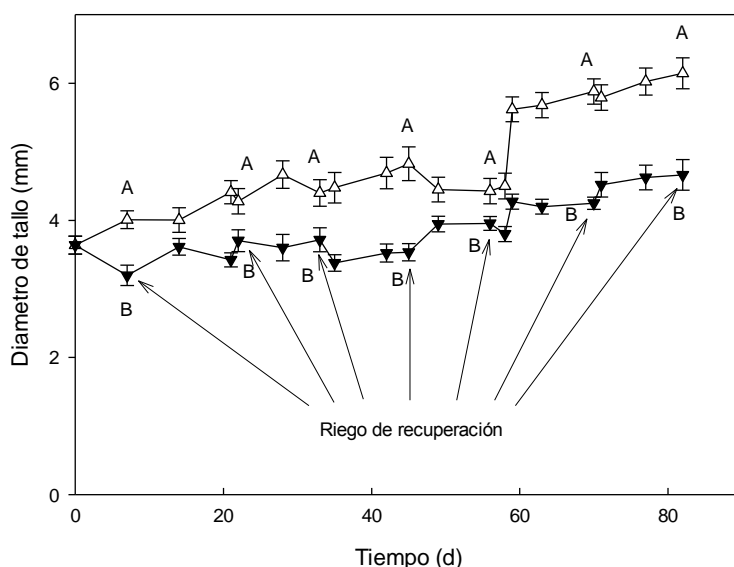


Figura 12. Diámetro del tallo de plántulas de *P. armeniaca* expuestas a ciclos de riego y sequía durante un periodo de 81 días de una colecta de semillas de la localidad de San Juan Tetla. Tratamiento testigo (Δ) y tratamiento de ciclos riego-sequía (\blacktriangledown). Cada punto es el promedio de 15 repeticiones \pm error estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas.

4.5.3 Número de hojas

El análisis de número de hojas por planta indicó diferencias significativas entre T0 y T1 ($P \leq 0.05$, Tukey) para el muestreo 1, 2, 3, 6 y 7. Al igual que en las variables anteriores de crecimiento, el efecto de la restricción del riego fue inhibitorio y se observó desde el primer ciclo de riego-sequía. Al inicio del experimento, la cantidad de hojas en ambos tratamientos fueron similares, conforme transcurrió el tiempo, el T0 manifestó valores superiores a los observados en el T1 (Figura 13), alcanzando el valor más alto, en el tercer y sexto muestreo con un promedio entre 112 y 110 hojas por planta, respectivamente. Por su parte el T1 alcanzó sus valores más altos entre el segundo y tercer muestreo con promedios entre 72 y 77 hojas, respectivamente. En el cuarto y quinto muestreo, ambos tratamientos disminuyeron su cantidad de hojas, debido a la caída de las mismas que observaron senescencia. El número promedio de hojas se aumentó por ramificación que presentaron las plantas.

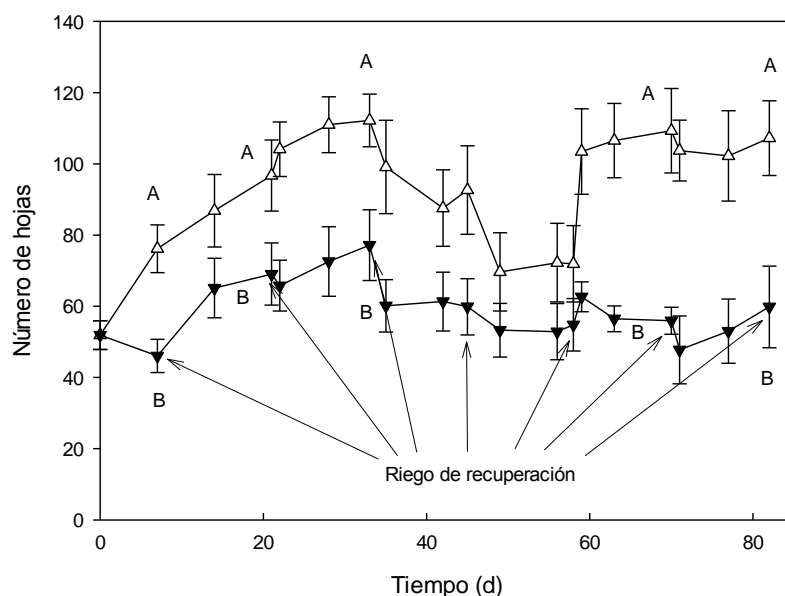


Figura 13. Número de hojas en plántulas de *P. armeniaca* expuestas a ciclos de riego y sequía durante un periodo de 81 días de una colecta de semillas de la localidad de San Juan Tetla. Tratamiento testigo (Δ) y tratamiento de ciclos riego-sequía (\blacktriangledown). Cada punto es el promedio de 15 repeticiones \pm error estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas.

4.6 Potencial de agua (Ψ_A)

Los datos de potencial del agua indicaron diferencias significativas (Tukey $P \leq 0.05$) entre el tratamiento T0 y el T1 en todos los muestreos (Figura 14). Se observó también que los valores de Ψ_A de las plántulas, durante los 81 días que duró el experimento fluctuaron en ambos tratamientos, sin embargo, el T0 presentó siempre valores mayores de Ψ_A , los cuales estuvieron alrededor de -1.39 MPa. El tratamiento T1 (Riego-sequía) alcanzó valores mínimos de -2.14 MPa, observándose una ligera recuperación en los dos últimos muestreos en donde el Ψ_A alcanzó valores de -1.8 MPa. Los valores de Ψ_A obtenidos son menores a los reportados por Ferreyra *et al.* (2002) en estudios realizados en durazno, que obtuvieron valores de Ψ_A en promedio de -1.0 MPa en mediciones realizadas a medio día y en tratamientos de déficit hídrico; aún con estos valores se estimula el cierre estomático (Garnier y Berger, 1987).

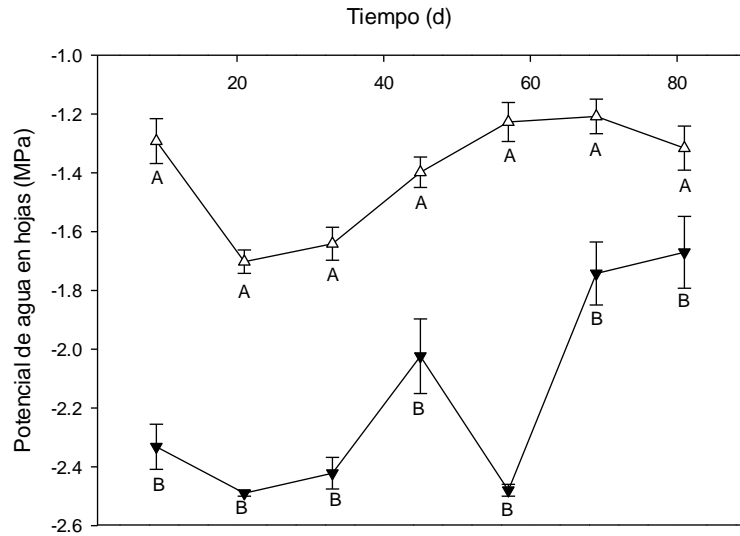


Figura 14. Potencial de agua en hojas de plántulas de *P. armeniaca* expuestas a ciclos de riego y sequía durante un periodo de 81 días de una colecta de semillas de la localidad de San Juan Tetla. Tratamiento testigo (Δ) y tratamiento de ciclos riego-sequía (\blacktriangledown). Cada punto es el promedio de 10 repeticiones \pm error estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas.

4.7 Potencial osmótico (Ψ_{π})

Los resultados de potencial osmótico en los muestreos 1, 2, 3, 4 y 5 indicaron diferencias significativas (Tukey $P \leq 0.05$) entre el tratamiento T0 y T1. Inicialmente el potencial osmótico (Ψ_{π}) en T0 fue de -2.16 MPa, alcanzado su valor más alto en el muestreo 5 con un valor de -1.90 MPa, para finalizar con un Ψ_{π} de -2.31 MPa. Mientras que en el T1, su valor más bajo fue de -2.97 MPa en el muestreo 2, el más elevado fue de -2.15 MPa en el muestreo 5 y finalizó con -2.33 MPa en el último muestreo.

La gráfica de Ψ_{π} de ambos tratamientos (Figura 15) muestra cómo el Ψ_{π} del T1 es -0.7 MPa menor que el T0 en el primer muestreo, sin embargo, al final del experimento en el séptimo muestreo, los valores de los dos tratamientos fueron muy parecidos y estadísticamente iguales, comportándose de manera similar a lo largo del tiempo. Valores semejantes fueron encontrados por Ruíz *et al.* (2000) en plantas de chabacano de un año de edad (-1.9 MPa) sometidas a pre-acondicionamiento de estrés hídrico. Es

probable que tal condición de tolerancia se desarrolle por efecto de mecanismos que la planta genera para soportar condiciones adversas. Entre éstos mecanismos se encuentran una alta relación raíz-brote, hojas más pequeñas y en menor número, ajustes osmóticos y el aumento de la actividad de enzimas de estrés oxidativo en las células de las hojas (Lei *et al.*, 2006).

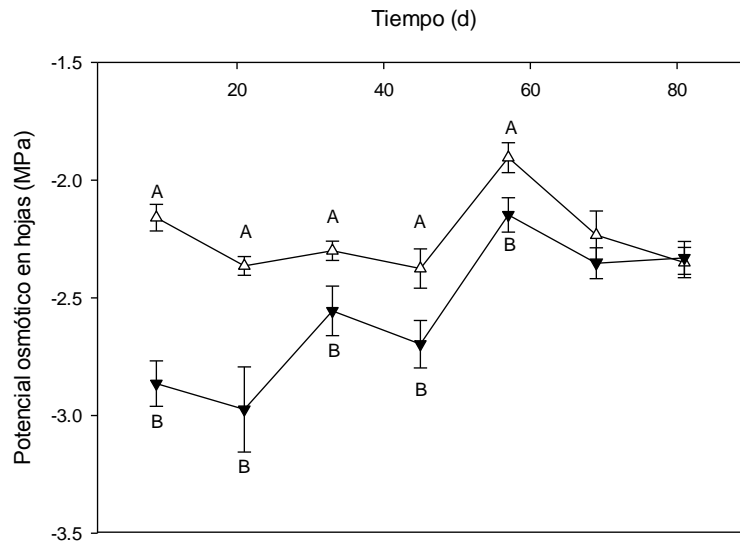


Figura 15. Potencial osmótico en hojas de plántulas de *P. armeniaca* expuestas a ciclos de riego y sequía durante un periodo de 81 días de una colecta de semillas de la localidad de San Juan Tetla. Tratamiento testigo (Δ) y tratamiento de ciclos riego-sequía (\blacktriangledown). Cada punto es el promedio de 10 repeticiones \pm error estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas.

4.8 Potencial de turgencia (Ψ_T)

El potencial de turgencia observado indicó diferencias significativas (Tukey $P \leq 0.05$) entre T0 y T1 en los muestreos 1, 3, 4 y 5. Se puede observar que en el T0 los valores más bajos de potencial de turgencia (Ψ_T) se presentaron en los muestreos 2, 3 y 5 con un valor promedio de 0.65 MPa, mientras que en los muestreos 4, 6 y 7 se alcanzan los valores más altos (0.97, 1.02 y 1.03 MPa, respectivamente). El T1 por su parte, presentó sus valores más bajos en los muestreos 3 y 5 (0.12 y 0.008 MPa) y los más altos en el 4, 6 y 7 (0.67, 0.61 y 0.66 MPa, respectivamente), mostrándose una fluctuación en ambos tratamientos (Figura 16). Lo anterior es congruente con lo

señalado por Ruíz *et al.* (2000) en un estudio realizado en plantas jóvenes de chabacano, donde se encontraron valores promedio de 0.7 MPa para tratamientos de pre-acondicionamiento a sequía, mientras que en el tratamiento testigo (riego constante) se observaron valores de 1.4 MPa para el Ψ_T .

Lo anterior sugiere que la acumulación de solutos puede permitir que las plantas mantengan un potencial de presión positiva, lo que se requiere para mantener los estomas abiertos, el intercambio de gases y el crecimiento (White *et al.*, 2000). De esta manera, el déficit de agua en el suelo debido a la sequía afecta las relaciones hídricas de la planta de forma negativa, lo cual deriva en mecanismos de regulación osmótica y dispositivos elásticos de adaptación para mantener el potencial de turgencia de la hoja.

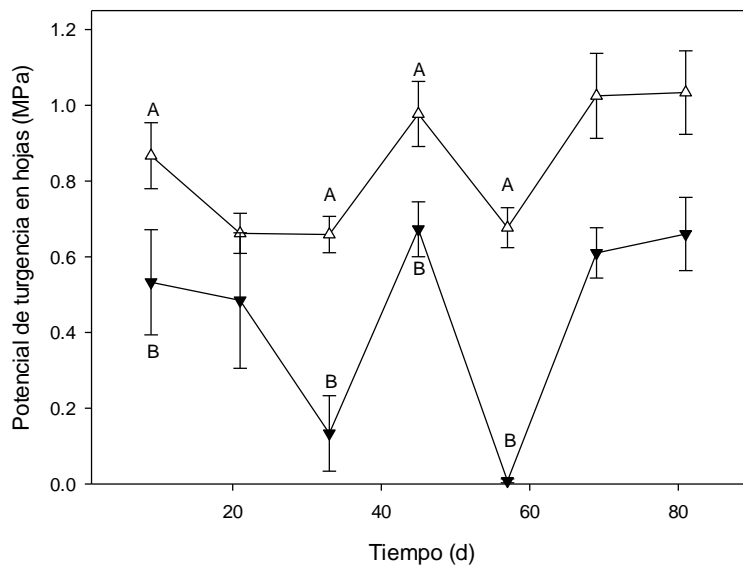


Figura 16. Potencial de turgencia en hojas de plántulas de *P. armeniaca* expuestas a ciclos de riego y sequía durante un periodo de 81 días de una colecta de semillas de la localidad de San Juan Tetla. Tratamiento testigo (Δ) y tratamiento de ciclos riego-sequía (\blacktriangledown). Cada punto es el promedio de 10 repeticiones \pm error estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas.

4.9 Porcentaje de humedad en el suelo

En el T0 el porcentaje de humedad en el suelo fue de 24.4 % en promedio, teniendo su valor más bajo en el segundo muestreo con 18.5 % y el más alto en el séptimo muestreo con 30.2 %; por otra parte, en el T1 se obtuvo un promedio de 6.4 % de humedad en el suelo, también en el segundo muestreo se registra su valor más bajo con 3.7 % y el más alto en el quinto muestreo con 9.7 % (Figura 17). Este comportamiento, donde el porcentaje de humedad en el tratamiento T0 es superior estadísticamente al observado en T1 (Tukey $P \leq 0.05$), es el esperado, debido a que suelos que han sido suministrados con menores cantidades de agua tendrán menor porcentaje de humedad o niveles más bajos de contenido volumétrico de agua, que aquellos suelos que tuvieron una aplicación constante de agua.

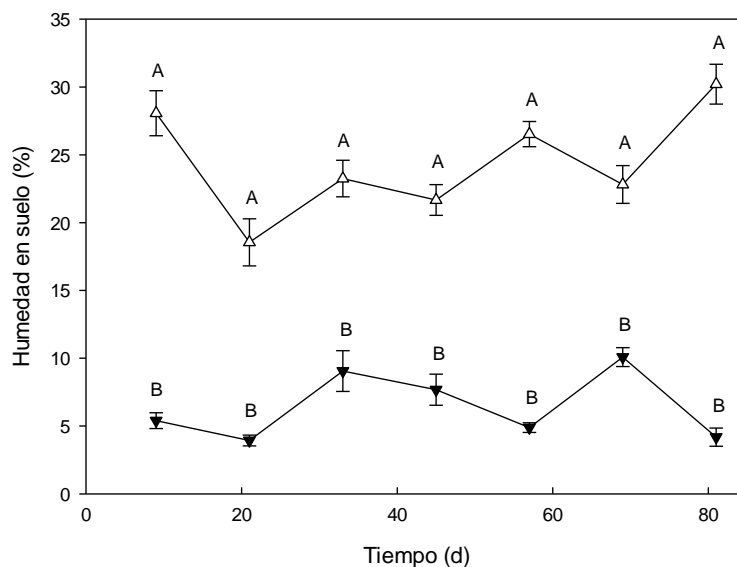


Figura 17. Humedad del suelo en bolsas que contenían plántulas de *P. armeniaca* expuestas a ciclos de riego y sequía durante un periodo de 81 días de una colecta de semillas de la localidad de San Juan Tetla. Tratamiento testigo (Δ) y tratamiento de ciclos riego-sequía (\blacktriangledown). Cada punto es el promedio de 10 repeticiones \pm error estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas.

En la curva del contenido de humedad en suelo (Figura 18), se aprecia que los porcentajes de humedad en suelo obtenidos en el T0 indican que los valores se mantuvieron por arriba de la capacidad de campo estimada con este potencial en la curva característica (>-0.033 MPa) llegando al punto de saturación, lo cual señala, que, incluso con el valor más bajo en porcentaje de humedad del T0 (18.5 %), se mantuvieron valores superiores a la capacidad de campo, sin que disminuyera el porcentaje de humedad aprovechable. Esto se debe a que los valores de la curva subestiman los valores de humedad en campo, pues se trata de un método indirecto de la determinación de la capacidad de campo.

Por otra parte, el porcentaje de humedad en suelo para el T1, mostró valores que oscilaron entre 9.7 % y 3.7 %, esto indicó que el contenido volumétrico del agua en el suelo varió de -0.36 MPa (valor ubicado dentro de la humedad aprovechable) a menos de -2 MPa (valor que se encuentra por debajo del punto de marchitamiento permanente < -1.5 MPa) (Figura 18). Lo anterior sugiere que a pesar de que en el T1 se tiene un amplio margen en el porcentaje de humedad, los valores menores a -1.5 MPa exceden la capacidad que tienen las plantas para extraer agua del suelo. No obstante los porcentajes obtenidos, las plántulas de chabacano toleraron dichas condiciones de déficit hídrico.

Esto es consecuencia de una gran variedad de respuestas que las plantas muestran ante un déficit de agua con base en el desarrollo de mecanismos fisiológicos y morfológicos, dichos mecanismos pueden tolerar, evitar o escapar a la deshidratación (Jones, 1992). El retardo de la deshidratación puede ser la consecuencia del mantenimiento en la absorción del agua por el aumento en la densidad de la raíz y la profundidad del enraizamiento, el ajuste osmótico de las raíces, la modificación de las hojas y una alta conductividad hidráulica en el sistema suelo-planta, o posiblemente el resultado de una reducción en la pérdida de agua debido al cierre de estomas o la reducción en el área foliar de la planta (Hsiao y Xu, 2000).

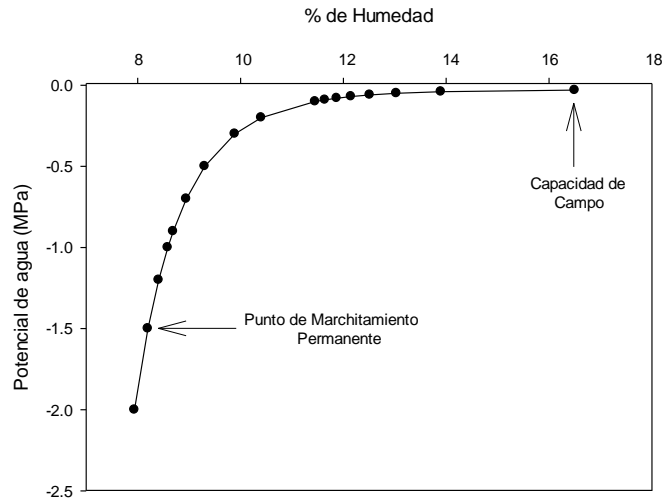


Figura 18. Curva de retención de humedad de suelo en bolsas que contenían plántulas de *P. armeniaca* expuestas a ciclos de riego y sequía durante un periodo de 81 días de una colecta de semillas de la localidad de San Juan Tetla. Las determinaciones se realizaron con la técnica de la olla de presiones.

4.10 Materia seca

4.10.1 En hojas

El peso seco de hojas observó diferencias significativas según Tukey ($P \leq 0.05$) entre el tratamiento T0 y el T1 para la mayoría de los muestreos excepto, en el muestreo 5. La cantidad de materia seca en hojas a través del tiempo varió más en el tratamiento con riego; se observó que desde el primer muestreo los valores fueron estadísticamente diferentes, siempre los valores en T0 fueron mayores a aquellos en T1, con excepción del muestreo 5 (Figura 19). Las diferencias entre tratamientos fluctuaron desde 0.38 g en el quinto muestreo hasta 3.55 g en el séptimo muestreo, donde hubo una diferencia de 57.9 % más de materia seca en hojas en T0 respecto a T1. Lo anterior es congruente, debido a que las plantas que tuvieron un suministro regular de agua, se desarrollaron sin contratiempos, ya que la demanda de evapotranspiración fue satisfecha, en comparación a las plantas que fueron sometidas a ciclos de riego-sequía, que mostraron menores cantidades de materia seca, pues aún bajo tales condiciones de estrés, las hojas continuaron desarrollándose, pero en menor proporción.

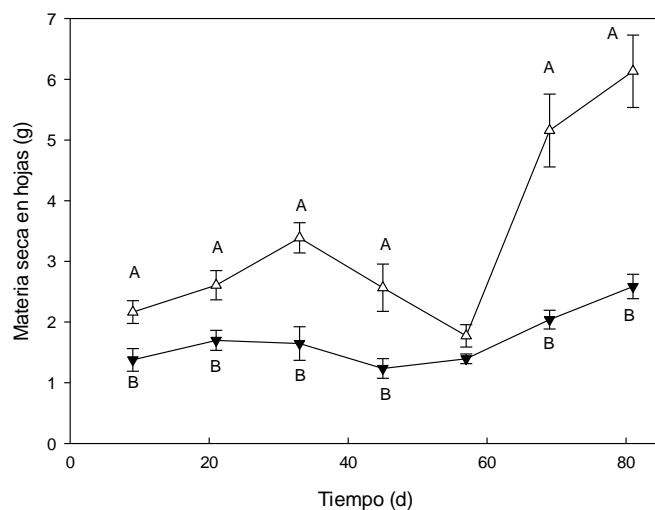


Figura 19. Materia seca (g) en hojas provenientes de plántulas de *P. armeniaca* expuestas a ciclos de riego y sequía durante un periodo de 81 días de una colecta de semillas de la localidad de San Juan Tetla. Tratamiento testigo (Δ) y tratamiento de ciclos riego-sequía (▼). Cada punto es el promedio de 10 repeticiones \pm error estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas.

4.10.2 En tallos

La materia seca en tallos mostró diferencias significativas (Tukey $P \leq 0.05$) entre el T0 y T1 en todos los muestreos. Las tendencias observadas fueron similares a las identificadas en hojas, desde el inicio hasta el final del experimento, las cantidades de materia seca obtenidas en el tratamiento con riego, fueron mayores a las obtenidas en el tratamiento de ciclos de riego-sequía (Figura 20). Las diferencias entre tratamientos variaron desde 0.38 g en el quinto muestreo hasta 4.15 g en el séptimo muestro, donde hay 59.4 % más de materia seca en tallos del T0 que del T1. Se confirma lo indicado para hojas, las plantas con suficiente abastecimiento de agua desarrollan más y en consecuencia la acumulación de biomasa es mayor.

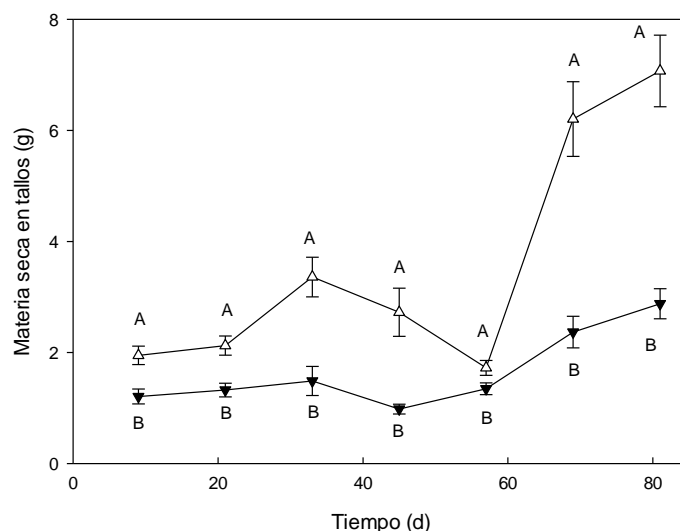


Figura 20. Materia seca (g) en tallos provenientes de plántulas de *P. armeniaca* expuestas a ciclos de riego y sequía durante un periodo de 81 días de una colecta de semillas de la localidad de San Juan Tetla. Tratamiento testigo (Δ) y tratamiento de ciclos riego-sequía (\blacktriangledown). Cada punto es el promedio de 10 repeticiones \pm error estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas.

4.10.3 En raíz

El peso seco de raíz observó diferencias significativas (Tukey $P \leq 0.05$) entre tratamientos, donde T0 fue superior a T1 en los muestreos 2, 3, 4 y 6. El tratamiento con riego (T0) también mostró una tendencia variable, al igual que en hojas y tallos, mientras que el tratamiento ciclos de riego-sequía, mantiene una tendencia constante y regular a través del tiempo (Figura 21). Las diferencias entre tratamientos variaron desde 0.36 g en el quinto muestreo hasta 1.2 g en el último muestreo, donde hubo un 35.19 % más de materia seca en raíces de plantas en el T0 respecto a aquellas del T1, repitiéndose lo observado en tallos y hojas.

El suministro regular de agua en las plantas del T0 causó que las raíces de plantas en el T0 tuvieran un desarrollo estadísticamente superior al del T1, donde, a pesar de que tiene menor cantidad de agua disponible en el suelo, se comporta con cierto nivel de eficiencia dada la acumulación de carbohidratos que bajo tales condiciones registra. Se ha documentado que algunas especies (particularmente leñosas) que se desarrollan en

condiciones de déficit hídrico en el suelo, tienden a desarrollar un mayor sistema radical con la finalidad de explorar capas de suelo más profundas para obtener agua como estrategia hídrica general de la especie (Joffre *et al.*, 2001).

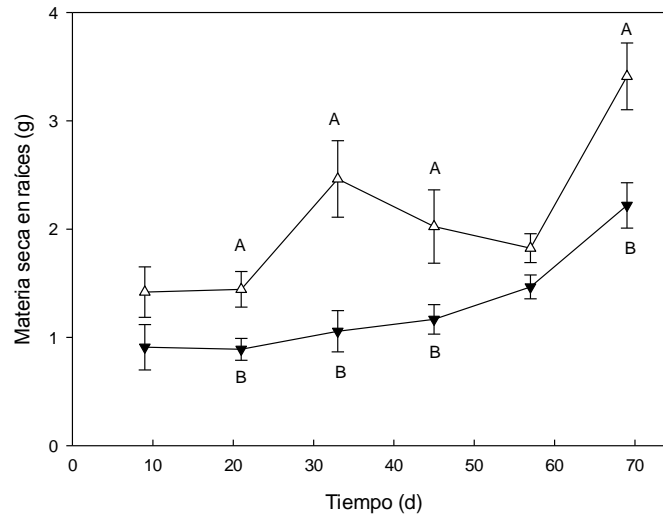


Figura 21. Materia seca (g) en raíz provenientes de plántulas de *P. armeniaca* expuestas a ciclos de riego y sequía durante un periodo de 81 días de una colecta de semillas de la localidad de San Juan Tetla. Tratamiento testigo (Δ) y tratamiento de ciclos riego-sequía (\blacktriangledown). Cada punto es el promedio de 10 repeticiones \pm error estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas.

Los totales de materia seca en gramos, derivada de hojas, tallos y raíces, al ser analizados en un gráfico que integra la materia seca total de la planta obtenida en el último muestreo (Figura 22), confirma lo que se observó en acumulación de materia seca en los tres órganos a través del tiempo, la materia seca acumulada en el tratamiento con riego, fue mayor al registrado en el tratamiento de ciclos repetidos de riego-sequía.

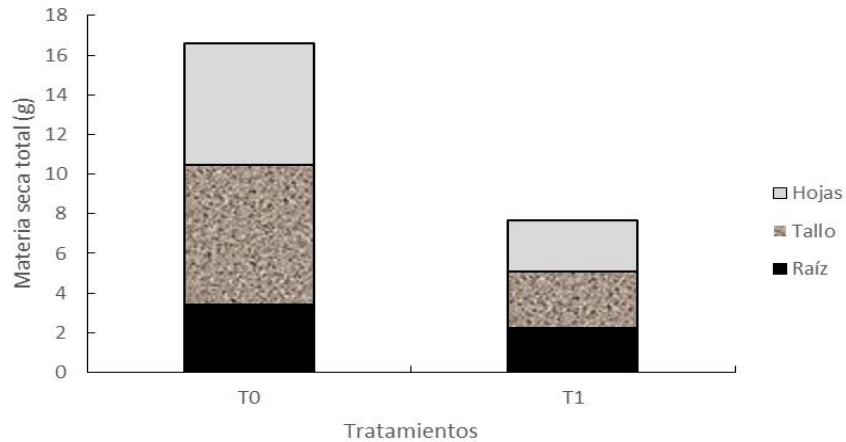


Figura 22. Acumulación total de materia seca (g) obtenida del último muestreo realizado, dividido en componentes (hojas tallos y raíz) provenientes de plántulas de *P. armeniaca* expuestas a ciclos de riego y sequía (T1) y plántulas en riego constante (T0) durante un periodo de 81 d de una colecta de semillas de la localidad de San Juan Tetla.

Los porcentajes de biomasa acumulada en cada uno de los órganos en el séptimo muestreo, fueron: a) Tratamiento con riego, raíz 20.5 %, tallo 42.6 % y hojas 36.9 %; y b) Tratamiento riego-sequía, 28.9% raíz, 37.5 % tallo y 33.6 % hojas. Es de notarse que la proporción de biomasa radical es más alta en raíces del tratamiento riego-sequía, en tanto que, la biomasa de tallos y hojas es más alta en plantas del tratamiento con riego. De acuerdo con Di Vaio *et al.* (2013), las plantas, al estar limitadas en la disposición de agua en el suelo, cierran sus estomas, lo que reduce la pérdida de agua, reduce la transpiración y asimilación de carbono, se presenta una limitada disposición de fotoasimilados que causa, a nivel de toda la planta, un cambio en la distribución de la materia seca, el crecimiento de brotes se inhibe, por lo que una mayor cantidad de asimilados se transportan y acumulan en el sistema radical, determinando un incremento en la raíz para aumentar el radio de exploración en el suelo por parte de las plantas estresadas. No obstante el resultado, hay que tomarlo con reservas, dadas algunas evidencias donde la distribución de la materia seca entre componentes individuales de las plantas y la relación que mantienen con respecto al peso seco total puede ser engañoso (Packard y Boardman. 1982).

La gran mayoría de los experimentos en árboles que se realizan bajo condiciones de laboratorio o controladas, son hechas con plantas jóvenes, lo cual no permite la extrapolación a poblaciones de árboles más grandes debido a efectos ontogénicos en la distribución de la biomasa, razón por la cual no son considerados; árboles de mayor tamaño son solo observados en condiciones de campo (Evenari *et al.*, 1977 citado Heilmeyer *et al.*, 2001).

4.11 Prolina

Los resultados de prolina indicaron diferencias significativas entre el tratamiento T0 y T1 (Tukey, $P \leq 0.05$) para todos los muestreos. Se observó que las plantas sometidas al T1 mantuvieron valores superiores de concentración de prolina comparados a los obtenidos en el T0, esto podría indicar un mecanismo de defensa de la planta ante el estrés hídrico, provocado por el déficit hídrico al que fue sometida, esta diferencia fue más notoria en el tercer muestreo.

Mientras que en el T0 los valores se mantuvieron por debajo de 1.0 mmol de prolina por gramo de peso seco, en el T1 todos los valores fueron superiores a uno (Figura 23). Esto es congruente, ya que la concentración de aminoácidos libres, frecuentemente se ve aumentada marcadamente en hojas u otros tejidos de plantas sometidas a estrés tanto biótico como abiótico. Al respecto, Blum y Ebercon (1976) mencionan que la planta, al estar sometida a condiciones de estrés presentaría una relación significativa entre la concentración de prolina y la recuperación post-estrés de la planta. La acumulación de este aminoácido en muchas plantas representa una repuesta general al estrés por sequía (García-Sánchez *et al.*, 2007).

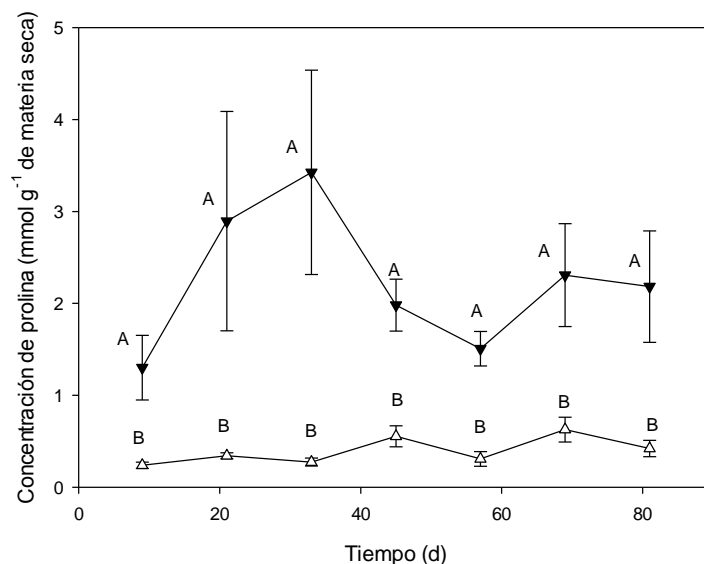


Figura 23. Concentración de prolina en plántulas de *P. armeniaca* expuestas a ciclos de riego y sequía durante un periodo de 81 días de una colecta de semillas de la localidad de San Juan Tetla. Tratamiento testigo (Δ) y tratamiento de ciclos riego-sequía (\blacktriangledown). Cada punto es el promedio de 5 repeticiones \pm error estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas.

4.12 Nutrientes

4.12.1 Fósforo (P⁺)

4.12.1.1 En hojas. Las concentraciones de fósforo indicaron diferencias significativas (Tukey $P \leq 0.05$) entre T0 y el T1 en los muestreos 5, 6 y 7. Se observó que en plantas bajo el T0, se mantuvo una tendencia constante con valores de concentración promedio de 1.87 mg g^{-1} , superiores a los determinados en T1 cuyo promedio fue de 1.56 mg g^{-1} , excepto en el tercer muestreo, que no hubo diferencia (Figura 24). La diferencia final en la concentración de fósforo entre tratamientos, fue 28.5 % mayor en T0 respecto a T1.

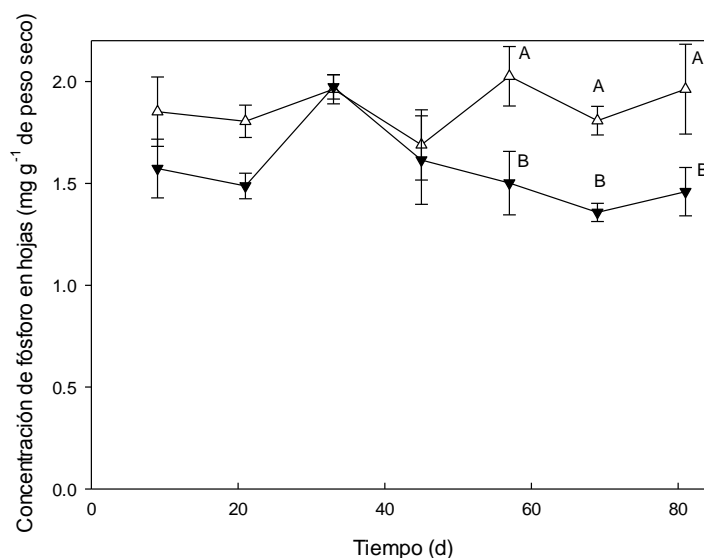


Figura 24. Concentración de fósforo en hojas provenientes de plántulas de *P. armeniaca* expuestas a ciclos de riego y sequía durante un periodo de 81 días de una colecta de semillas de la localidad de San Juan Tetla. Tratamiento testigo (Δ) y tratamiento de ciclos riego-sequía (\blacktriangledown). Cada punto es el promedio de 5 repeticiones \pm error estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas.

De acuerdo con lo anterior, los valores obtenidos para cada tratamiento en lo que respecta a la concentración de fósforo en hojas, es menor o igual a la encontrada por Milosevic *et al.* (2013), quienes evaluaron los efectos de la fertilización en árboles de chabacano en la región de Cacak (Serbia), encontrando que los niveles de la composición nutrimental en hojas, variaron de 0.21 a 0.36 % con base en peso seco, mientras que los encontrados en el presente estudio oscilaron entre 0.8 a 0.21 % con base en materia seca, esto se debió probablemente al tipo de suelo con que se trabajó en este estudio y, además, que no se aplicó fertilización.

4.12.1.2 En tallos. Los resultados indicaron diferencias significativas (Tukey $P \leq 0.05$) entre el T0 y el T1 en los muestreos 2 y 7. Se observó que los valores de concentración de fósforo en tallos de plantas en T0 se mantuvieron relativamente constantes hasta el muestreo 5, alrededor de 0.76 mg g^{-1} , en tanto que en el sexto muestreo disminuyó a 0.52 mg g^{-1} y finalizó con un promedio de 1.4 mg g^{-1} . Por su parte, en el T1 la tendencia que siguió fue irregular, en el primer, tercer y cuarto muestreo se obtuvieron

concentraciones promedio de 0.9 mg g^{-1} , mientras que en los muestreos 2, 5, 6 y 7, la concentración de fósforo disminuyó en a un promedio de 0.6 mg g^{-1} (Figura 25). La diferencia final en la concentración de fósforo entre tratamientos fue de 51.6 % más fósforo en el T0 respecto a T1.

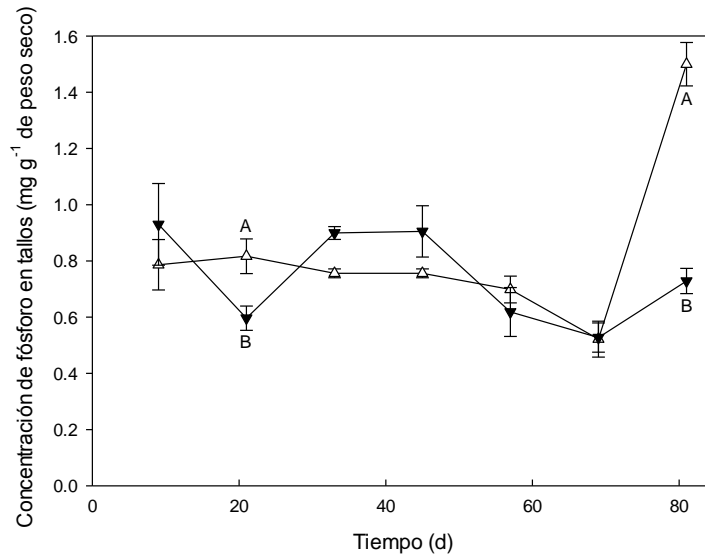


Figura 25. Concentración de fósforo en tallos provenientes de plántulas de *P. armeniaca* expuestas a ciclos de riego y sequía durante un periodo de 81 días de una colecta de semillas de la localidad de San Juan Tetla. Tratamiento testigo (Δ) y tratamiento de ciclos riego-sequía (\blacktriangledown). Cada punto es el promedio de 5 repeticiones \pm error estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas.

En tallo, la concentración de fósforo varió conforme transcurrieron los muestreos, en la mayoría de casos no se presentaron diferencias significativas entre tratamientos, se observó que en T1, a pesar de no contar con una adecuada disponibilidad de agua, se mantuvieron niveles similares a los de T0 hasta el sexto muestreo y fue en el último muestreo, cuando la concentración observada en el T0 fue más elevada respecto a lo esperado.

4.12.1.3 En raíz. No existieron diferencias significativas en ninguno de los muestreos realizados en cuanto a concentración de fósforo en raíces (Figura 26).

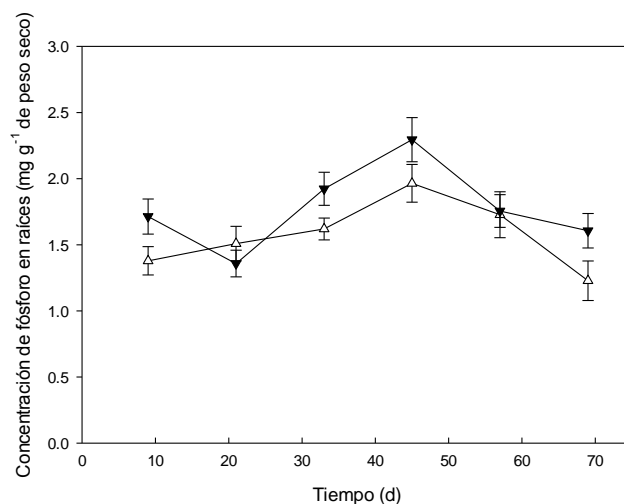


Figura 26. Concentración de fósforo en raíces provenientes de plántulas de *P. armeniaca* expuestas a ciclos de riego y sequía durante un periodo de 81 días de una colecta de semillas de la localidad de San Juan Tetla. Tratamiento testigo (Δ) y tratamiento de ciclos riego-sequía (\blacktriangledown). Cada punto es el promedio de 5 repeticiones \pm error estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas.

En el caso de raíces de plantas en el T1, la tendencia de acumulación de dicho nutriente, puede ser resultado de que la planta no lo transporte a la parte aérea a causa de estrés hídrico, pues se sabe que la concentración de P en chabacano es afectado por el contenido de humedad en el suelo, según Branton *et al.* (1961), en un periodo de 10 años, la concentración de dicho elemento varió directamente con la humedad del suelo. Sin embargo, en el presente estudio, a pesar de las limitaciones, las plántulas del T1 continuaron con niveles aceptables de fósforo que les permitió desarrollarse.

4.12.2 Potasio (K^+)

4.12.2.1 En hojas. Se encontraron diferencias significativas (Tukey $P \leq 0.05$) entre el T0 y el T1 en los muestreos 1, 4 y 7. Se observó que en T0 la concentración de potasio en hojas inició con un promedio de 20.6 mg g^{-1} (72.3 % mayor al T1), posteriormente en el segundo y tercer muestreo esta diferencia se fue haciendo menor; en el cuarto muestreo la diferencia se incrementó de nuevo a 48 % y finalizó con una diferencia de 85 % en el séptimo muestreo. En la mayoría de los casos la concentración de potasio mantuvo valores promedio superiores a los del T1 (Figura 27).

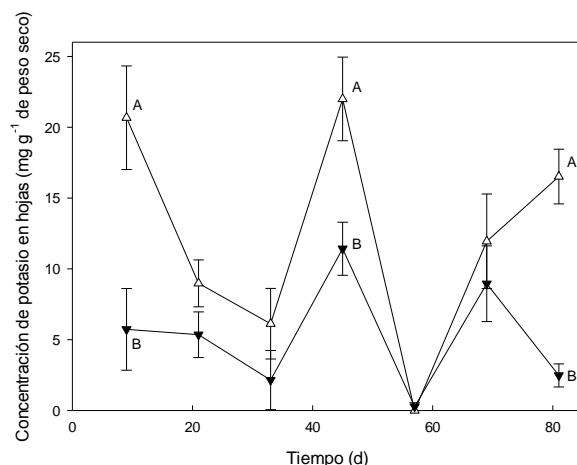


Figura 27. Concentración de potasio en hojas provenientes de plántulas de *P. armeniaca* expuestas a ciclos de riego y sequía durante un periodo de 81 días de una colecta de semillas de la localidad de San Juan Tetla. Tratamiento testigo (Δ) y tratamiento de ciclos riego-sequía (\blacktriangledown). Cada punto es el promedio de 5 repeticiones \pm error estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas.

Por otra parte, el T1 mostró promedios de concentración foliar de potasio inferiores en seis de los siete muestreos realizados, manteniendo esa tendencia constante a lo largo del desarrollo del experimento. Los valores obtenidos en las concentraciones promedio de potasio en hojas, en ambos tratamientos del presente estudio, en general, también son inferiores a los indicados por Milosevic *et al.* (2013), quien reportó promedios de 2.11 a 2.87 %. Cabe mencionar que obtener valores de concentración de potasio mayores en T0, se considera congruente, ya que al presentar las condiciones de riego requeridas, tiene como resultado concentraciones más altas.

4.12.2.2 En tallos. Los datos indicaron diferencias significativas (Tukey $P \leq 0.05$) entre T0 y el T1 en el primer muestreo, en el resto de ellos, no mostraron diferencias entre tratamientos. En el T0 se mantuvieron valores de concentración promedio de potasio en tallos por encima de los obtenidos en el T1. En el caso del T0 se obtuvo un promedio general de 11.6 mg g^{-1} , mayor al obtenido en el T1 con 7.78 mg g^{-1} (Figura 28). De esta manera, en el primer muestreo el T0, su concentración fue 47.3 % mayor al promedio obtenido por el T1, posteriormente, en el resto de los muestreos, esta diferencia disminuyó, incrementándose de nueva cuenta en el último muestreo.

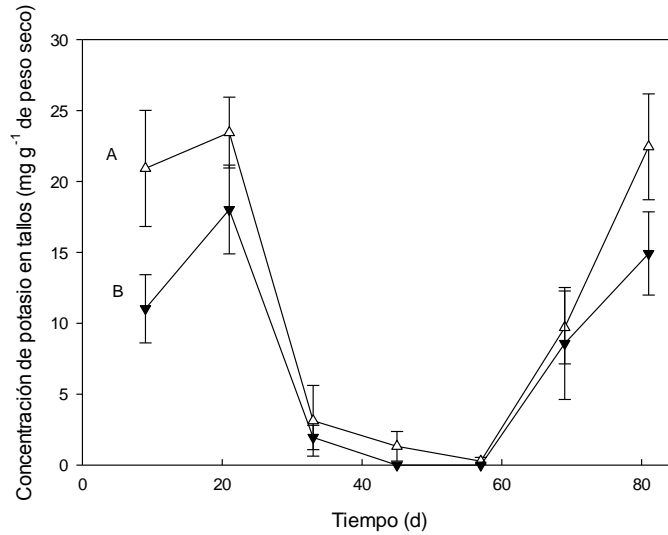


Figura 28. Concentración de potasio en tallos provenientes de plántulas de *P. armeniaca* expuestas a ciclos de riego y sequía durante un periodo de 81 días de una colecta de semillas de la localidad de San Juan Tetla. Tratamiento testigo (Δ) y tratamiento de ciclos riego-sequía (\blacktriangledown). Cada punto es el promedio de 5 repeticiones \pm error estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas.

4.12.2.3 En raíz. Los datos indicaron diferencias significativas (Tukey $P \leq 0.05$) entre T0 y T1 para los muestreos 1, 2, 3 y 4. Se observó que el comportamiento de ambos tratamientos fue similar en concentración de potasio en raíces, mismo que tiende a ser casi paralelo.

En el primer muestreo, el T0 inició con concentraciones de potasio en raíces de 13.6 mg g⁻¹ en promedio, el cual es 71.5 % mayor al obtenido en plantas bajo T1; en el segundo y tercer muestreo, las raíces de plantas en el T0 incrementaron sus valores de concentración, hasta alcanzar su punto más alto con 26.1 mg g⁻¹ en el cuarto muestreo; después se observó un descenso, hasta ser menores a la concentración observada en T1 en la último muestreo (Figura 29), donde el valor promedio del T1 (1.72 mg g⁻¹) fue mayor que el obtenido en el T0.

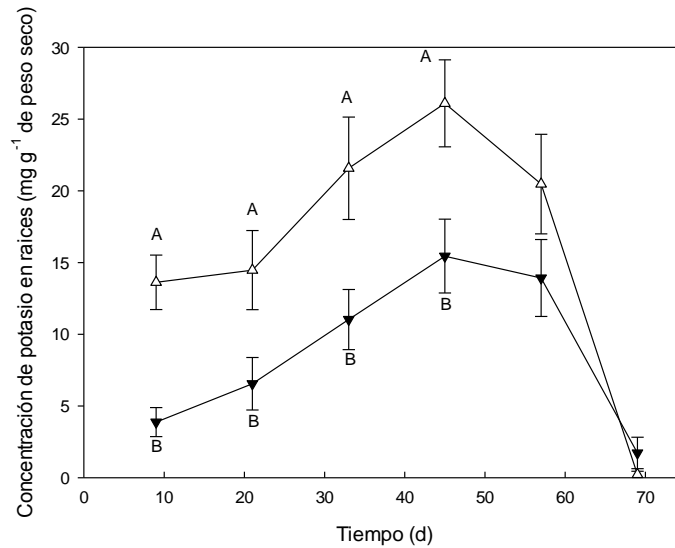


Figura 29. Concentración de potasio en raíces provenientes de plántulas de *P. armeniaca* expuestas a ciclos de riego y sequía durante un periodo de 81 días de una colecta de semillas de la localidad de San Juan Tetla. Tratamiento testigo (Δ) y tratamiento de ciclos riego-sequía (\blacktriangledown). Cada punto es el promedio de 5 repeticiones \pm error estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas.

Las diferencias de concentración entre tratamientos fueron de más a menos, coincidiendo el comportamiento de las concentraciones de potasio en ambos tratamientos en los diferentes órganos de la planta, que aumenta al inicio de los ciclos para disminuir con el paso del tiempo. Se observan diferentes tendencias en cada órgano, con un comportamiento inverso en el caso de concentraciones de potasio en raíces.

Se asume que en T1, las plantas utilizaron la limitada disposición de K de manera más eficiente, disponiendo de las cantidades necesarias para que éste contribuyera en la adaptación de las plántulas de chabacano al estrés causado por deficiencias de agua (Kafkafi, 1997). Esto debido a que potasio interviene en las principales funciones de las plantas, como son: La osmoregulación, la síntesis de almidones, la activación de enzimas, la síntesis de proteínas, el movimiento de apertura estomática, el balance de cargas iónicas y la intervención en el mantenimiento de la turgencia de las células (Marschner, 1995).

4.12.3 Calcio (Ca⁺⁺)

4.12.3.1 En hojas. Los datos no indicaron diferencias significativas (Tukey $P \leq 0.05$) entre concentraciones foliares de Calcio obtenidas en ambos tratamientos (Figura 30).

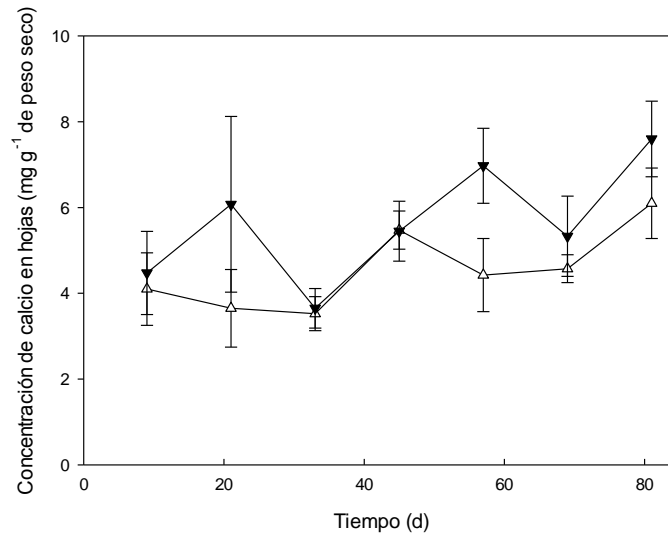


Figura 30. Concentración de calcio en hojas provenientes de plántulas de *P. armeniaca* expuestas a ciclos de riego y sequía durante un periodo de 81 días de una colecta de semillas de la localidad de San Juan Tetla. Tratamiento testigo (Δ) y tratamiento de ciclos riego-sequía (▼). Cada punto es el promedio de 5 repeticiones \pm error estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas.

Se observó que los valores obtenidos de concentración de calcio en hojas en los tratamientos fueron menores a los indicados por Milosevic *et al.* (2013), quien reportó promedios entre 1.4 % y 2.3 % con base en materia seca. Esto es congruente en el T1, debido a que Calcio, tiene poca movilidad dentro de la planta al limitársele el agua en el suelo, pues se reducen los niveles de transpiración y en consecuencia el suministro de Ca⁺⁺ hacia los tejidos es deficiente.

4.12.3.2 En tallos. La concentración de Calcio en tallos, solamente mostró diferencias significativas (Tukey $P \leq 0.05$) entre T1 y T0 en el sexto muestreo, donde la diferencia fue de 27.5 % mayor en T1 (Figura 31).

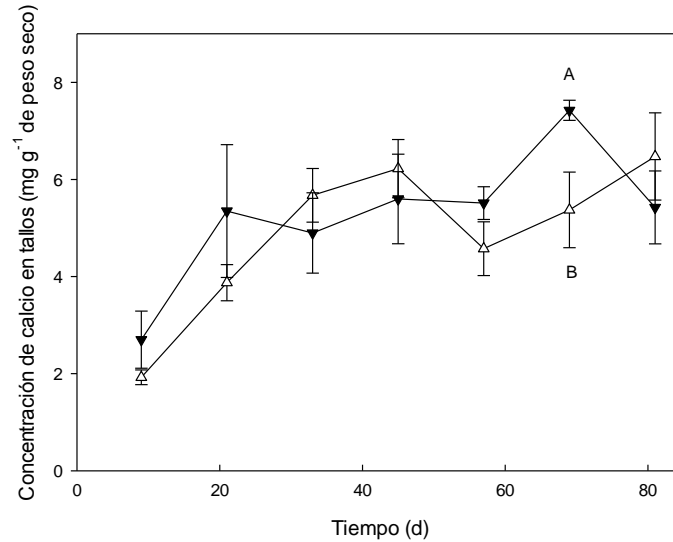


Figura 31. Concentración de calcio en tallos provenientes de plántulas de *P. armeniaca* expuestas a ciclos de riego y sequía durante un periodo de 81 días de una colecta de semillas de la localidad de San Juan Tetla. Tratamiento testigo (Δ) y tratamiento de ciclos riego-sequía (\blacktriangledown). Cada punto es el promedio de 5 repeticiones \pm error estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas.

En este caso, la concentración de calcio en tallos, menor al 1 %, al igual que en el caso de hojas, resulta congruente en T1 donde los niveles de transpiración se vieron afectados y por ende el transporte de Ca.

4.12.3.3 En raíz. La concentración de Calcio en raíz no fue diferente significativamente (Tukey $P \leq 0.05$) entre T0 y T1 (Figura 32).

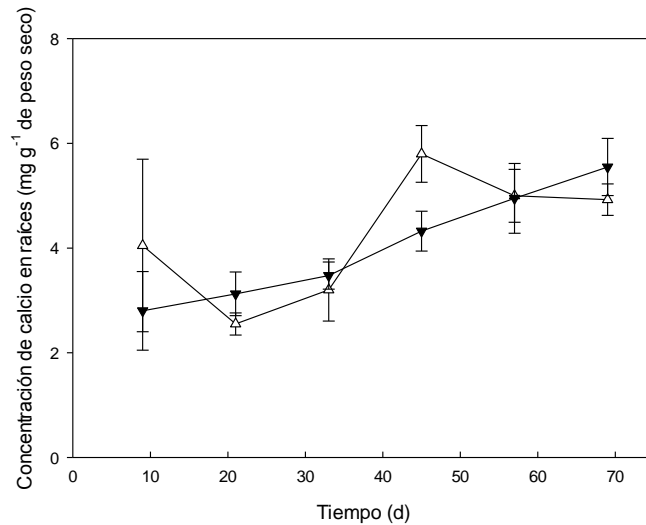


Figura 32. Concentración de calcio en raíces provenientes de plántulas de *P. armeniaca* expuestas a ciclos de riego y sequía durante un periodo de 81 días de una colecta de semillas de la localidad de San Juan Tetla. Tratamiento testigo (Δ) y tratamiento de ciclos riego-sequía (\blacktriangledown). Cada punto es el promedio de 5 repeticiones \pm error estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas.

En la concentración de calcio en raíces, mostró comportamiento similar a lo observado en hojas y tallos, planteándose la misma explicación del resultado, toda vez que la transpiración también interviene en el proceso de absorción por el flujo de masas que se genera, responsable en gran medida del acceso nutrimental. El calcio es uno de los nutrientes más importantes en los frutales al ser requerido en grandes cantidades, aunado al hecho de que su distribución en las diferentes partes de la planta es afectada por factores como la corriente transpiratoria, la luz, la temperatura y la humedad (Cline *et al.*, 1991).

Cabe hacer mención, que bajo las condiciones ambientales de temperatura y alta humedad relativa del lugar de estudio, posiblemente se altera transpiración y en consecuencia absorción y transporte de Calcio, causando variaciones en las concentraciones del elemento en todos los órganos de la planta, en ambos tratamientos, observándose mayores concentraciones en plantas bajo el tratamiento riego-sequía.

4.12.4 Magnesio (Mg ⁺⁺)

4.12.4.1 En hojas. Las diferencias significativas entre T1 y T0 según Tukey ($P \leq 0.05$), solamente se observaron en el quinto muestreo. Se observó que la concentración de magnesio en hojas en el T1 alcanzó su punto más elevado en el quinto muestreo con un promedio de 2.63 mg g^{-1} , el cual fue 46 % mayor al obtenido en el T0. En los tres últimos muestreos el T1 tuvo mayor concentración de Mg que el T0 (Figura 33).

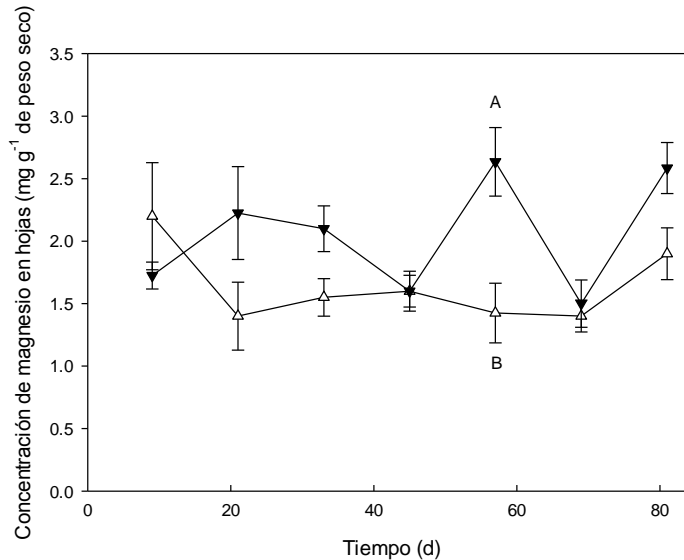


Figura 33. Concentración de magnesio en hojas provenientes de plántulas de *P. armeniaca* expuestas a ciclos de riego y sequía durante un periodo de 81 días de una colecta de semillas de la localidad de San Juan Tetla. Tratamiento testigo (Δ) y tratamiento de ciclos riego-sequía (\blacktriangledown). Cada punto es el promedio de 5 repeticiones \pm error estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas.

Se observó que los valores de concentración de magnesio en hojas obtenidos en los tratamientos fueron menores o iguales a los indicados por Milosevic *et al.* (2013), quien reportó promedios de 0.23 % a 0.43 % con base en materia seca. Los promedios más bajos se obtuvieron en el tratamiento T0 en el segundo y sexto muestreo, el más alto se observó en el T1 durante el quinto y séptimo muestreo.

4.12.4.2 En tallos. Las concentraciones de magnesio en tallos indicaron diferencias significativas (Tukey $P \leq 0.05$) entre T1 y el T0, en el quinto y sexto muestreo. Se observó que en T0 inició los muestreos con valores promedio de 2.5 mg g^{-1} , 2.1 mg g^{-1}

y 2.2 mg g^{-1} ; posteriormente, en el cuarto muestreo estos promedios disminuyeron a 1.5 mg g^{-1} y nuevamente disminuyeron a 1.3 mg g^{-1} y 1.2 mg g^{-1} en el quinto y sexto muestreo; después, hubo un aumento hasta finalizar con un promedio de 2.0 mg g^{-1} en el séptimo muestreo (Figura 34). Mientras que en el T1 los muestreos comenzaron con valores los cuales variaron de 2.9 mg g^{-1} a 1.9 mg g^{-1} , en el primer y tercer muestreo, posterior al cuarto muestreo se incrementaron los valores, alcanzando la diferencia más notoria en el sexto muestreo con un promedio de 2.5 mg g^{-1} , para terminar con una concentración final de 2.0 mg g^{-1} .

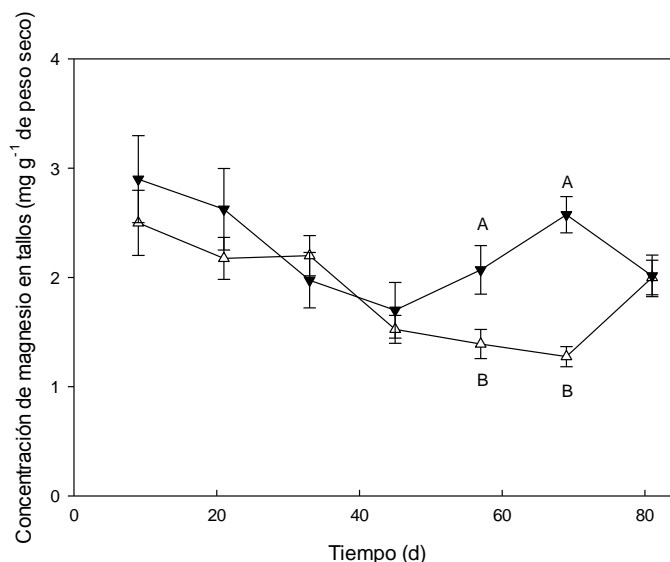


Figura 34. Concentración de magnesio en tallos provenientes de plántulas de *P. armeniaca* expuestas a ciclos de riego y sequía durante un periodo de 81 días de una colecta de semillas de la localidad de San Juan Tetla. Tratamiento testigo (Δ) y tratamiento de ciclos riego-sequía (\blacktriangledown). Cada punto es el promedio de 5 repeticiones \pm error estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas.

Fue en el sexto muestreo donde se obtuvo la mayor diferencia de concentración de magnesio en tallos entre tratamientos, la cual fue 50.4 % mayor en tallos de plantas en el T1 respecto a la concentración en el T0; también se observó diferencia notoria entre tratamientos en el quinto muestreo, la concentración de magnesio en tallos de plantas en el T1 fue 32.8% mayor que aquella en el T0.

4.12.4.3 En raíz. Los resultados por muestreo indicaron que no existieron diferencias significativas (Tukey $P \leq 0.05$) entre tratamientos (Figura 35).

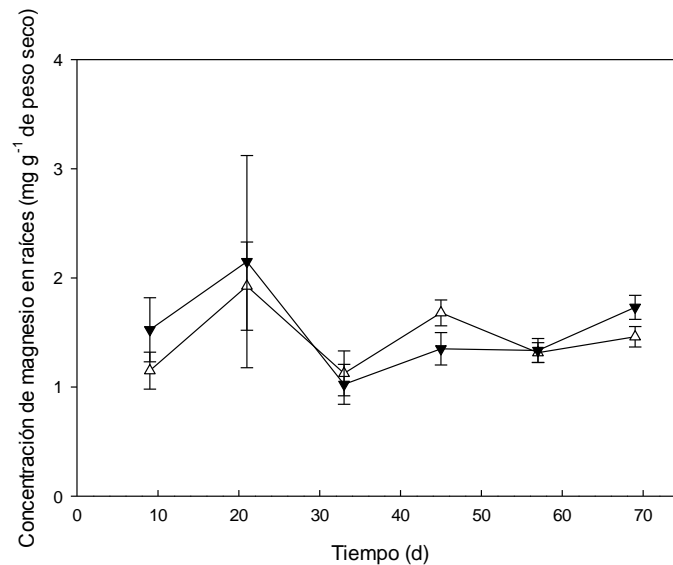


Figura 35. Concentración de magnesio en raíces provenientes de plántulas de *P. armeniaca* expuestas a ciclos de riego y sequía durante un periodo de 81 días de una colecta de semillas de la localidad de San Juan Tetla. Tratamiento testigo (Δ) y tratamiento de ciclos riego-sequía (\blacktriangledown). Cada punto es el promedio de 5 repeticiones \pm error estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas.

Dada la similitud de valores y niveles de concentración de magnesio en los diferentes órganos de la planta, sugieren disponibilidad suficiente, y que, la variación observada, al igual que calcio, también asociada con el ambiente bajo las cuales se desarrollaron las plántulas. Tomando en consideración que Mg^{++} interviene en procesos metabólicos como la fosforilación y en reacciones importantes, como la fijación fotosintética de carbono, la síntesis de proteínas y la activación enzimas (Cakmak y Yazici. 2010), se estima que aquellas plántulas bajo el tratamiento riego-sequía (T1), tuvieron las cantidades necesarias del elemento para la generación de prolina en las últimas etapas del experimento.

4.13 Micorrizas arbusculares

4.13.1 En raíz

Se observó la presencia de Hongos Micorrízicos Arbusculares (HMA) en ambos tratamientos, en raíces de plantas bajo el T0 se presentó el mayor porcentaje de colonización en comparación con aquellas de plantas en el T1, sin embargo, no existieron diferencias significativas (Tukey $P \leq 0.05$). Lo anterior sugiere que a pesar de las limitaciones en la disponibilidad de agua en el suelo, los HMA, fueron capaces de desarrollarse en estas condiciones y establecer una relación simbiótica con las raíces de las plántulas.

El promedio obtenido en el porcentaje de colonización total fue de 62.9 % en el T0 y de 58.6 % para el T1; las estructuras más observadas fueron, en orden descendente, las hifas, seguidas de las vesículas y los arbuscúlos, lo cual hace suponer que las estructuras antes mencionadas están adaptadas al tipo de suelo y clima predominante en la región.

Los resultados obtenidos, también indican que, a pesar de que los HMA aportan beneficios a la planta, tal como la tolerancia a condiciones abióticas adversas como la sequía (Kaya *et al.*, 2003), en este caso no hicieron la diferencia, no obstante que fueron identificadas dentro de los tejidos de las raíces (Figura 36).

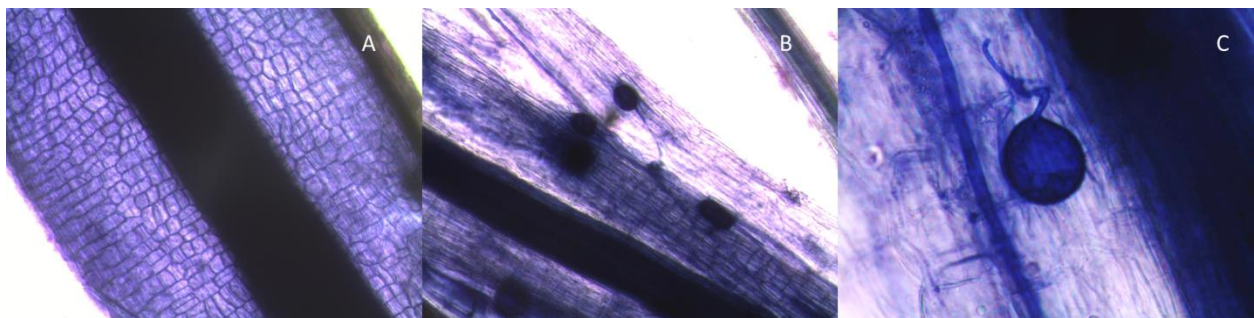


Figura 36. Segmentos de raíz teñidos con Azul Tripiano, provenientes de plántulas de *P. armeniaca* expuestas a ciclos de riego y sequía. De izquierda a derecha: A) raíz de plántula sin indicios de colonización, B) esporas de micorrizas arbusculares, C) espora e hifa de HMA en raíz de *P. armeniaca*.

4.13.2 En suelo

Se observó la presencia de Hongos Micorrízicos Arbusculares (HMA) en ambos tratamientos, el T1 presentó mayor número de esporas en el suelo en comparación con el T0, sin embargo, no existieron diferencias significativas según Tukey ($P \leq 0.05$).

Se esperaría que a mayor contenido volumétrico de agua en el suelo, mayor número de esporas, sin embargo, en cuanto a humedad, los datos en la literatura son contradictorios, sugiriendo que la densidad de esporas puede incrementarse, disminuirse o no mostrar cambios con los contenidos de humedad del suelo o inundación (Entry *et al.*, 2002). Por otra parte, Posada *et al.* (2007), observaron que el micelio externo de HMA y la humedad del suelo, no presentaron diferencias entre diferentes sitios de investigación, a pesar de que sí existe una correlación alta entre las variables antes mencionadas, por lo que dedujeron que las partes con humedad inferior el micelio externo, tiende a desarrollarse menos en busca de nutrientes y, en partes de mayor humedad, se desarrolla y extiende de forma más eficiente.

Usando como criterios el color, la morfología, medidas (diámetro) y tipo de hifas de las esporas, se identificaron tres especies de HMA, las cuales son: *Acaulospora scrobiculata*, *Scutellospora dipapillosa* y *Gigaspora nigra*.

4.13.2.1 *Acaulospora scrobiculata*. Se observaron esporas en el microscopio estereoscópico, las cuales presentaron tonalidades desde el color rojo al color ámbar, forma globosa con pequeñas pústulas en la superficie externa; la espora presentó un diámetro aproximado de 180 μm , el número contado de esporas con las mallas No. 45, 60 y 100 fue de 67, 21 y 52 en el T0 y 68, 19 y 50 en el T1.

El género *Acaulospora* fue descrito por Gerdeman y Trappe en el año 1974, desde entonces se han mencionado gran cantidad de morfotipos. Se llaman Acaulosporas, porque forman sus esporas dentro del cuello de un sáculo terminal o intercalar, pero se diferencian de otros géneros, por la estructura y número de capas que presenta la pared de las mismas (Varela *et al.*, 2012). En este caso tienen una estructura de cuatro

paredes (L1, L2, L3 y L4) cuyo grosor varía de 4-8.5 μm de espesor (Ferrera *et al.*, 1993). Por su parte Lugo y Cabello (1999), mencionan que las esporas presentan una pared superficial cubierta totalmente de hoyos circulares a elípticos de 3-7 μm de diámetro, de 1-1.5 x 1-3 μm de profundidad, separados por crestas de 1.5-3 μm de espesor y pared compuesta por 4 capas en dos grupos (Figura 37), donde el Grupo A, presenta pared externa rígida con hoyos, segunda pared lisa; el Grupo B, tercer pared lisa y cuarta pared membranosa.

El color más usual es hialina a blanca, también se puede presentar de color café-rojizo a café de manera ocasional (Ferrera *et al.*, 1993), el observado en este caso corresponde al color considerado como ocasional (Figura 38). Su diámetro puede variar de 80 a 160 μm , su forma es globosa, subglobosa incluyendo formas irregulares (Monroy *et al.*, 2013). Los especímenes tipo *A. scrobiculata*, son muy comunes en México (Varela *et al.*, 2012).

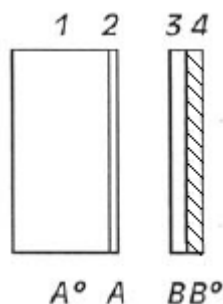


Figura 37. Esquema de las paredes de esporas de *A. scrobiculata* (Lugo y Cabello, 1999) obtenidas del suelo donde se desarrollaron plántulas de *P. armeniaca* de los tratamientos T0 y T1 durante un periodo de 81 días de una colecta de semillas de la localidad de San Juan Tetla.

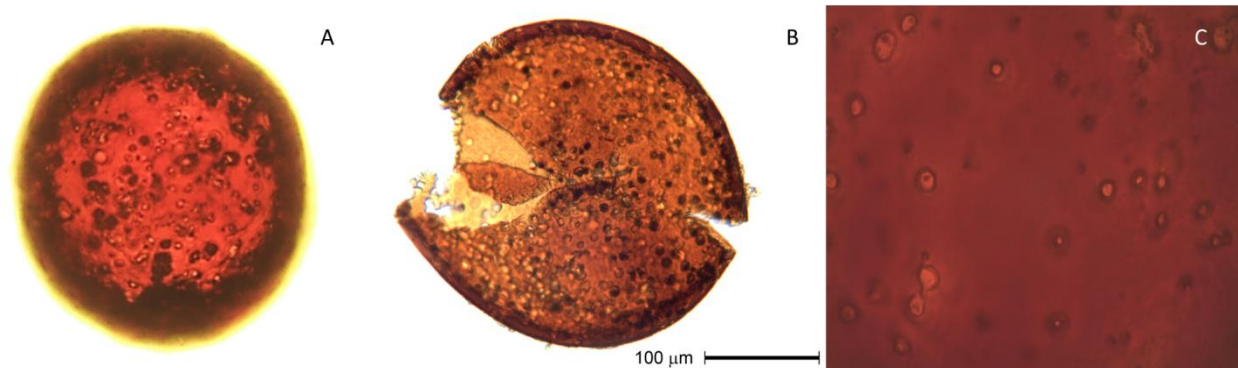


Figura 38. Microfotografías de esporas de la especie *A. scrobiculata* obtenidas de un suelo proveniente de la localidad de San Juan Tetla: A) fotografía de espora con aumento 10X, B) tamaño de la espora basada en escala de 100 μm , C) fotografía de la capa exterior con aumento de 40X.

4.13.2.2 *Scutellispora dipapillosa*.

Se observaron las esporas de esta especie en el microscopio estereoscópico, las cuales presentaron diferentes tonalidades de color amarillo, forma globosa, con presencia de gleba en la superficie externa, con un diámetro aproximado de 200 μm e hifa suspensora lateral; el número contado de esporas con las mallas No. 45, 60 y 100 fue de 26, 14 y 94 en el T0 y 1, 5 y 86 en el T1. Las esporas más jóvenes son de color hialino a blanco. Las esporas maduras adquieren tonalidades amarillas-castaño o amarillo café, especialmente aquellas que vienen de suelos cultivados (Figura 39).



Figura 39. Microfotografías de esporas de la especie *S. dipapillosa* obtenidas de un suelo proveniente de la localidad de San Juan Tetla: A) fotografía de espora con aumento 10X, B) tamaño de la espora basada en escala de 100 μm , C) fotografía de la capa exterior con aumento de 40X.

Las esporas son de forma globosa a subglobosa, su tamaño varía de 135 a 180 μm (Ferrera *et al.*, 1993), su pared presenta tres capas (L1, L2 y L3) que son adherentes entre sí cuando las esporas son jóvenes y, conforme la espora va madurando, la capa 2 (L2) se va ensanchando. Las capas L1 y L2 son dos paredes flexibles internas que no se engrosan (Figura 40), donde, el Grupo A, presenta pared única (U), el Grupo B presenta pared laminada (L), segunda pared única (U) y el Grupo C presenta pared coriácea (C) y segunda pared membranosa (M).

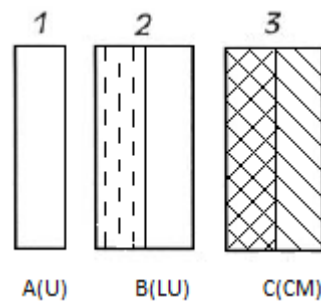


Figura 40. Esquema de las paredes de esporas de *S. dipapillosa* (Ferrera *et al.*, 1993) obtenidas del suelo donde se desarrollaron plántulas de *P. armeniaca* de los tratamientos T0 y T1 durante un periodo de 81 días de una colecta de semillas de la localidad de San Juan Tetla.

4.13.2.3 *Gigaspora nigra*.

Se observaron esporas de *G. nigra* en el microscopio estereoscópico, las cuales presentaron color negro, de forma globosa, con textura en la superficie externa, con un diámetro aproximado de 600 μm ; se observaron hifas sustentoras bulbosas; el número contado de esporas con las mallas No. 45, 60 y 100 fue de 20, 0 y 0 en el T0 y 39, 0 y 0 en el T1, respectivamente. El nombre de esta espora proviene del latín, se refiere a su tamaño (Figura 41). Las gigasporas se forman individualmente en el suelo, son de color pardo oscuro a negras, esféricas, con 297 -500 μm de diámetro (con un promedio de 402 μm), tienen una pared interna y otra externa. La pared externa es negra con gran cantidad de hoyos con grandes poros (7-10 μm). La germinación de la espora ocurre en uno o muchos tubos germinativos, cerca de la región que une con la espora.

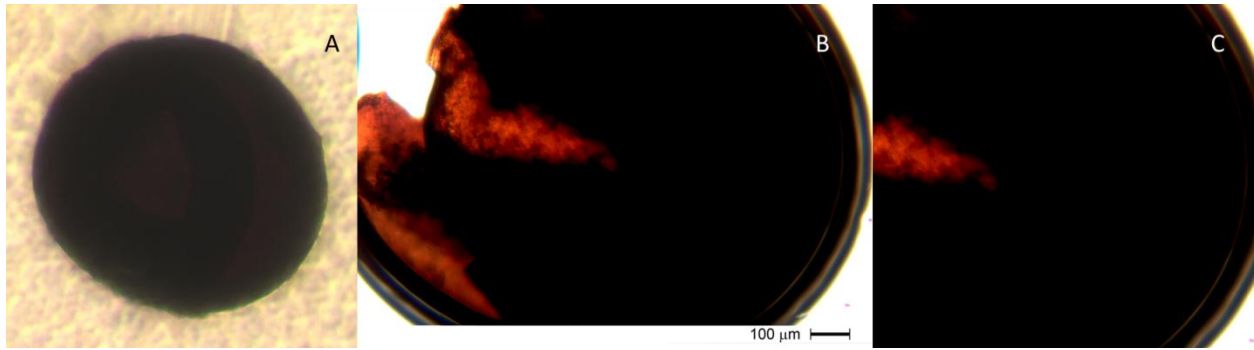


Figura 41. Microfotografías de esporas de la especie *G. nigra* obtenidas de un suelo proveniente de la localidad de San Juan Tetla: A) fotografía de espora con aumento 10X, B) tamaño de la espora basada en escala de 100 μm , C) fotografía de la capa exterior con aumento de 40X.

Gigasporas nigra puede ser separada de otras especies de esporas oscuras de Gigaspora, por sus largas esporas negras con poros en su pared exterior; las esporas son de forma globosa a subglobosa, (Nicolson y Schenck, 1979), su pared presenta dos capas (L1 y L2), una interior y otra exterior. La capa L1 es una pared única y la capa L2 son dos paredes flexibles internas que no engrosan (Figura 42), donde el Grupo A, presenta pared única (U) y el Grupo B presenta pared laminada (U), segunda pared laminada (L).

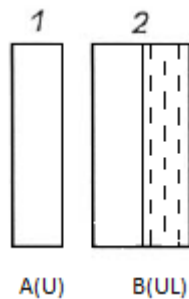


Figura 42. Esquema de las paredes de esporas de *G. nigra* (Nicolson y Schenck, 1979) obtenidas del suelo donde se desarrollaron plántulas de *P. armeniaca* de los tratamientos T0 y T1 durante un periodo de 81 días de una colecta de semillas de la localidad de San Juan Tetla

V. CONCLUSIONES

El efecto de la disminución cíclica de humedad en el suelo inhibió en general el desarrollo en la altura, el diámetro de tallo y el número de hojas. Se mantuvo una diferencia constante entre los dos tratamientos estudiados a lo largo del tiempo. Lo anterior también se reflejó en acumulación de biomasa, que fue significativamente mayor en el tratamiento con riego.

La conductancia estomática y tasa de asimilación de las plántulas bajo el tratamiento riego-sequía, no recuperaron los valores observados en el tratamiento testigo con riego, después de la aplicación del riego de recuperación.

Los valores de potenciales de agua y osmóticos en las plántulas del tratamiento riego-sequía fueron, en la mayoría de los muestreos, menores al valor del punto de marchitamiento permanente. En el caso del potencial de turgencia, los valores del tratamiento testigo con riego fueron mayores a los del tratamiento riego-sequía.

Los porcentajes de humedad en suelo obtenidos en las bolsas del tratamiento riego-sequía situaron a las plantas por debajo del punto de marchitamiento permanente, las cuales, aun así, continuaron desarrollándose.

La concentración de prolina del tratamiento riego-sequía se incrementó cinco veces más, en comparación con los niveles basales observados en el tratamiento de riego.

Las concentraciones de P y K en hojas fueron mayores en el tratamiento con riego, mientras que en concentraciones de Ca y Mg no hubo diferencias, la tendencia para estos dos elementos, fue observar mayores valores de concentración en el tratamiento riego-sequía. En tallos, no hubo diferencias en concentración de P, K y Ca entre tratamientos; en Mg, las concentraciones en tallos hacia el final del estudio fueron significativamente mayores en el tratamiento riego-sequía. En raíces, la concentración de K en la mayoría de los muestreos fue significativamente mayor en el tratamiento con riego, mientras que en P, Ca y Mg no hubo diferencias significativas.

Las esporas de micorrizas observadas en el suelo del tratamiento con riego-sequía fueron en mayor cantidad que las existentes en el tratamiento con riego.

VI. LITERATURA CITADA

Armas R R (1997) Factores que limitan amarre y apertura de yemas florales de chabacano (*Prunus armeniaca* L.). Tesis de Doctorado. Colegio de Postgraduados Campus Montecillo, Texcoco, Estado de México. 120 p.

Arumuganathan K, E D Earle (1991) Nuclear DNA content of some important plant species. *Plant Molecular Biology Reporter*. 9: 208-218.

Ayuntamiento de Chiantzingo (2013) Consultado 24-09-13 en <http://www.e-local.gob.mx/work/templates/enciclo/EMM21puebla/municipios/21048a.html>

Basile B, E J Reidel, S A Weinbaum, T M DeJong (2003) Leaf potassium concentration, CO₂ exchange and light interception in almond trees (*Prunus dulcis* (Mill) D.A. Webb). *Scientia Horticulturae* 98: 185-194.

Bates L S (1973) Rapid determination of free proline for waterstress studies. *Plant Soil*. 39: 205-207.

Bautista-Zúñiga F, H M Estrada (1998) Conservación y manejo de los suelos. *Ciencias* 50: 50-55.

Blum A, A Ebercon (1976) Genotypic responses in sorghum to drought stress. III. Free proline accumulation and drought resistance. *Crop Science*., 16: 428-431.

Bradford K J, S F Yang (1981) Physiological responses of plants to waterlogging. *HortScience*. 16: 25-30.

Branton D, O Lilleland, K Uriu, L Werenfels (1961) The effect of soil moisture on apricot leaf composition. *Proceedings of the American Society for Horticultural Science*. 77: 90-96.

Burssens S, K Himanen, B van de Cotte, T Beeckman, M Van Montagu, D Inzé, N Verbruggen (2000) Expression of cell cycle regulatory genes and morphological alterations in response to salt stress in *Arabidopsis thaliana*. *Planta* 211 (5): 632-640.

Cakmak I, A M Yazici (2010) Magnesium: A Forgotten Element in Crop Production. *Better Crops*. 94 (2): 23-25.

Castonguay Y, A H Markhart (1992) Leaf gas exchange in water stressed common Bean and Tepary Bean. *Crop Science*. 32: 980–986.

Chapman H, P Pratt (1973) Métodos de análisis para suelos, plantas y aguas. Editorial Trillas, México. 195 p.

Cline J A, E J Hansons, W J Bramlage, R A Cline, M Kushad (1991) Calcium accumulation in delicious apple fruit. *Journal of Plant Nutrition*. 14 (11): 1213-1222.

CONAGUA, Comisión Nacional del Agua (2011) Consultado 03-01-14 en <http://www.cna.gob.mx/Contenido.aspx?n1=3&n2=60&n3=87&n4=34>.

Crisosto C H, E J Mitcham, A A Kader (2014) Damasco (Albaricoque, Chabacano): Recomendaciones para mantener la calidad postcosecha. Consultado 20-02-14 en <http://postharvest.ucdavis.edu/frutasymelones/Damasco/>

Crocker J L, W T Witte, R M Augé (1998) Stomatal sensitivity to nonhydraulic root-to-shoot signals of partial soil drying in six temperate, deciduous forest trees. *Journal of Experimental Botany*. 49: 761-774.

Danquah A, A de Zelicourt, J Colcombet, H Hirt (2013) The role of ABA and MAPK signaling pathways in plant abiotic stress responses. *Biotechnology Advances*. 32 (1): 40–52.

Daudet F A, T Améglio, H Cochard, O Archilla, A Lacoite (2005) Experimental analysis of the role of water and carbon in tree stem diameter variations. *Journal of Experimental Botany*. 56: 135–144.

Davies F T Jr, S A Durray, L Phavaphutanon, R S Stahl (1999) Phosphorus influence on gas exchange and plant growth and development of two morphologically distinct types of *Capsicum annum*. *Photosynthetica*. 36: 9-106.

De Jong T M (1982) Leaf nitrogen content and CO₂ assimilation capacity in peaches. *Journal of the American Society Horticultural Science* 107: 955–959.

De Jong T M, K R Day (1991) Relationship between shoot productivity and leaf characteristics in peach canopies. *HortScience* 26: 1271–1273.

Dell'Amico J, P Rodríguez, A Torrecillas, A Morte, M J Sánchez-Blanco (2002) Influencia de la micorrización en el crecimiento y las relaciones hídricas de plantas de tomate sometidas a un ciclo de sequía y recuperación. *Cultivos tropicales*. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, Cuba. 23 (1): 29-34.

Di Vaio C, N Marallo, G Marino, T Caruso (2013) Effect of water stress on dry matter accumulation and partitioning in pot-grown olive trees (cv Leccino and Racioppella). *Scientia Horticulturae* 164: 155-159.

DOF, Diario Oficial de la Federación (2014) Consultado 11-03-14 en http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5071638&fecha=03/12/2008

Donoso S, K Peña, C Pacheco, G Luna, A Aguirre (2011) Respuesta fisiológica y de crecimiento en plantas de *Quillaja saponaria* y *Cryptocarya alba* sometidas a restricción hídrica. *Bosque (Valdivia)* 32 (2): 187-195

Duran T S (1983) Frigoconservación de la fruta. Primera edición. Editorial Aedos. Barcelona España. 369 p.

Ebel R C, X Duan, D W Still, R M Augé (1997) Xylem sap abscisic concentration and stomatal conductance of mycorrhizal *Vigna unguiculata* in drying soil. *New Phytologist* 135: 755-761.

Entry J A, P T Rygiewicz, L S Watrud, P K Donnelly (2002) Influence of Adverse Soil Conditions on the Formation and Function of Arbuscular Mycorrhizas. *Advances in Environmental Research*. 7: 123-138.

Evenari M, O L Lange, E D Schulze, L Kappen, U Buschbom (1977) Net photosynthesis, dry matter production, and phenological development of apricot trees (*Prunus armeniaca* L.) cultivated in the Negev Highlands (Israel). *Flora* 166 (5): 383–414.

FAO Food and Agriculture Organization (2013) Consultado 28-11-13 en http://www.fao.org/ag/ca/training_materials/cd27-spanish/sm/soil_moisture.pdf

Farquar G D, T D Sharkey (1982) Stomatal conductance and photosynthesis. *Annual Review of Plant Physiology*. 33: 317-345.

Ferrera C R, M C A González C, M N Rodríguez M (1993) Manual de agromicrobiología. Editorial Trillas. México. 144 p.

Ferreyra E R, G Selles van Sch, S G Lemus (2002) Efecto del estrés hídrico durante la fase II de crecimiento del fruto del duraznero cv Kakamas en el rendimiento y estado hídrico de las plantas. *Agricultura Técnica*. Chile 62: 565-573.

Forte V (1992) El albaricoquero. Origen, caracteres, cultivo, comercialización. Ediciones Mundiprensa. Madrid, España. 176 p.

García-Sánchez F, J P Syvertsen, V Gimeno, P Botia, J G Pérez P (2007) Responses to flooding and drought stress by two citrus rootstock seedlings with different water-use efficiency. *Physiologia Plantarum*.130: 532–542.

Garnier E, A Berger (1987) The influence of drought on stomatal conductance and water potential on peach trees growing in the field. *Scientia Horticulturae*. 32: 249-263.

Gerdemann J W, J M Trappe (1974) The Endogonaceae of the Pacific Northwest. *Mycologia Memoirs*. 5: 1-76.

Gerdemann J W, T W Nicolson (1963) Spores of mycorrhizal Endogone species extracted from soil by wet-sieving and decanting method. *Transaction of British Mycological Society* 46: 235-245.

Giovannetti M, L Avio, P Fortuna, E Pellegrino, C Sbrana, P Strani (2006) At the root of the wood wide web. *Plant Signal Behav*. 1: 1–5.

Gleick, P H (2003) Water use. *Annual Review of Environment and Resources*. 28: 275-314.

Gratacós N E (2004) El cultivo del Duraznero *Prunus pérsica* (L.) Batsch. Apuntes para la Cátedra de fruticultura de hoja caduca. Pontificia Universidad Católica de Valparaíso Facultad de Agronomía. Chile 108 p.

Grijalva C R L, R Macías D, F Robles C (2006) Productividad del chabacano en el noroeste de México. *Agricultura Técnica México*. 32: 17-25.

Hartmut K L (1996) Vegetation Stress: an Introduction to the Stress Concept in Plants. *Journal of Plant Physiology*. 148 (1–2): 4-14.

Heilmeier H, M Erhard, A Wartinger, E Brinckmann, R Horn, E D Schulze (2001) Biomass partitioning in response to soil drought: A pot experiment with *Prunus dulcis* tress during four years. *Basic and Applied Ecology*. 2: 165-175.

Hernández G R. (2007) Relaciones hídricas en las plantas. Libro botánica on line. Consultado 10-09-13 en <http://www.forest.ula.ve/~rubenhg/relahid/>

Herrera F T S (2008) Respuestas bioquímico-fisiológicas al estrés hídrico de dos variedades de frijol: resistente pinto villa y bayo madera. Tesis de Doctorado. Colegio de Postgraduados Campus Montecillo, Texcoco, Estado de México. 180 p.

Hincley T M, J H Braatne (1994) Stomata. *In*: Wilkinson RE editor. Plant environment interactions. New York, USA. p 323–355.

Huang B, H Gao. (2000) Root physiological characteristics associated with drought resistance in tall fescue cultivars. *Crop Science*. 40: 196-203.

Huang B, J Fry (1998) Root anatomical, physiological and morphological responses to drought stress of tall fescue cultivars. *Crop Science*. 38: 1017-1022.

Huber S C (1985) Role of potassium in photosynthesis and respiration. *In*: Munson, R.D. (Ed.), Potassium in Agriculture. *American Society of Agronomy*, Madison, WI, USA p 369–396.

Hsiao T C (1973) Plant responses to water stress. *Annual Review of Plant Physiology*. 24: 519-570.

Hsiao T C, L K Xu (2000) Sensitivity of growth of roots versus leaves to water stress: biophysical analysis and relation to water transport. *Journal of Experimental Botany*. 51: 1595–1616.

INEGI Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2013) Consultado 08-11-13 en <http://cuentame.inegi.gob.mx/monografias/informacion/pue/territorio/clima.aspx?tema=me&e=21>

Jasso M J, L Pimentel B (1985) Establecimiento de áreas verdes en el predio Montecillo aledaño a Chapingo. III Reunión Nacional Forestal. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, INIFAP. México. p. 606 -640.

Joffre R, S Rambal, T Winkel (2001). Respuestas de las plantas mediterráneas a la limitación de agua: desde la hoja hasta el dosel. En: R. Zamora y F. I. Pugnaire, edit. Aspectos funcionales de los ecosistemas mediterráneos. CSIC-AEET, Granada. España. p. 37-85.

Jones H G (1992) Plants and microclimate: a quantitative approach to environmental plant physiology. 2nd edition. Great Britain, Oxford. 323 p.

Jones M M, N C Turner, C B Osmond(1981) Mechanisms of drought resistance. In *Physiology and Biochemistry of Drought Resistance in Plants*. Academic Press. Sydney. p 15-37.

Kafkafi, U (1997) Impact of potassium in relieving plants from climatic and soil-induced stresses. *In: A.E. Johnston ed. Food security in the WANA region, the essential need for balanced fertilization*. Izmir, Turkey. p 313-327 .

Kaya C, D Higges, H Kirnak, I Tas (2003) Mycorrhizal colonization improves fruit yield and water use efficiency in watermelon (*Citrullus lanatus*) grown under well-watered and water-stressed conditions. *Plant and Soil*. 253: 287-292.

Koide R T (1993) Physiology of the mycorrhizal plant. In: Tommerup IC. (ed.): *Advances in Plant Pathology, Mycorrhiza synthesis*. New York. Academic Press. p 33-54.

Kramer P J, J S Boyer (1997) Water relations of plants and soils. San Diego, CA: Academic Press. 35 p.

Lawlor D, G Cornic (2002) Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. *Plant, Cell & Environment* 25: 275–294.

Lei Y B, C Y Yin, C Y Li (2006) Differences in some morphological, physiological and biochemical responses to drought stress in two contrasting populations of *Populus przewalskii*. *Physiologia Plantarum*. 127: 182–191.

Levitt J (1980) Responses of plants to environmental stresses, in Water, radiation, salt, and other stresses, Volume II, Academic Press. New York, Estados Unidos de Norteamérica. 607 p.

Lugo M A, M N Cabello (1999) Acaulosporaceae (Glomales, Zygomycetes) en pastizales autóctonos del centro de Argentina II. *Darwiniana* 37 (3-4): 323-332.

Marschner H (1995) Mineral Nutrition of Higher Plants. 2nd Edition. Academic Press. San Diego, New York, USA. 889 p.

Martínez R A (2006) Evolución y perspectivas de la labranza de conservación en México. Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura (FIRA). México. 5 p.

Milosevic T, N Milosevic, I Glisic, L Boskovic, J Milivojevic (2013) Fertilization effect on tress and fruits characteristics and leaf nutrient status of apricots which are grown at Cacak region (Serbia). *Scientia Horticulturae*. 164: 112-123.

Molina R F (2007) Agua... Esa pesadilla. Resumen ejecutivo Emetec Infrastructure facilitators. Mexicali B. C., México 66 p.

Mondragón J C, M R Fernández M, S Pérez G (2004) El chabacano o albaricoque. Alternativa frutícola para la región central de México. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, INIFAP. Campo Experimental Norte de Guanajuato. Folleto Técnico No. 1. San Luis de la Paz, Guanajuato. 40 p.

Monroy L H J, C R Salamanca S, C Cano, L M Moreno-Conn, J O Orduz-Rodríguez (2013) Influencia de las coberturas en cultivos de cítricos sobre hongos formadores de micorrizas arbusculares en Oxisoles del piedemonte llanero colombiano. *Revista Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria* 14 (1): 53-65.

Moss J R R (1992) Measuring light interception and the efficiency of light utilization by the coconut palm (*Cocos nucifera*). *Experimental Agriculture*. 28: 273–285.

Nelson C E (1987) The water relations of vesicular–arbuscular mycorrhizal systems. In: Safir, G.R. (Ed.), *Ecophysiology of VA Mycorrhizal Plants*. CRC Press, Boca Raton, FL. p 71–92.

Nicolson T H, N C Schenck (1979) Endogonaceous mycorrhizal endophytes in Florida. *Mycologia* 71: 178-198.

Olsen O, R V Cole, F S Watanabe, C A Dean (1954) Estimation of available phosphorus in soil by extraction with sodium bicarbonate. U.S. *Department of Agriculture. Circular*. 939: 1-19.

Pace L, T M De Jong (2000) Relationship between canopy growth and root growth in young peach trees. In: *Proceedings of the Seventh International Symposium on Orchard and Plantation Systems*, ISHS. 14 p.

Packard G C, T J Boardman (1988) The misuse of ratios, indices, and percentages in ecophysiological research. *Physiologia Zoologica*. 61: 1–9.

Pérez P A (2001) Estudio agronómico y fisiológico del albaricoquero en condiciones de infradotación hídrica. Tesis de Doctorado. Universidad Politécnica de Cartagena. Cartagena, Colombia. 225 p.

Phillips J M, D S Hayman (1970) Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Transactions of the British Mycological Society*. 55: 158-161.

Posada A R H, L A Franco C, A P Cuéllar C, W Sánchez C, A P Sánchez F (2007) Inóculo de hongos de micorriza arbuscular en pasturas de *Brachiaria decumbens* (Poaceae) en zonas de Loma y Vega. *Acta Biológica Colombiana*. 12 (1): 113-120.

Radin J W, J S Boyer (1982) Control of leaf expansion by nitrogen nutrition in sunflower plants: role of hydraulic conductivity and turgor. *Plant Physiology*. 69: 771–775.

Rodrigo J, J I Hornaza (2005) El albaricoquero, Diversidad genética y situación actual del cultivo. *Información Técnica y Económica Agraria*, 101 (4): 333-342.

Roggatz U, A J S McDonald, I Stadenberg, U Schurr (1999) Effects of nitrogen deprivation on cell division and expansion in leaves of *Ricinus communis* L. *Plant Cell Environment* 22: 81–89.

Romero P, P Botía (2006) Daily and seasonal patterns of leaf water relations and gas exchange of regulated deficit-irrigated almond trees under semiarid conditions, *Environmental and Experimental Botany*. 56 (2): 158-173.

Roussos A P, V Sefferou, N K Denaxa, E Tsantili, V Stathis (2011) Apricot (*Prunus armeniaca* L.) fruit quality attributes and phytochemicals under different load. *Scientia Horticulturae*. 129: 472–478.

Ruiz M C, R Domingo, A Torrecillas, A Pérez (2000) Water stress preconditioning to improve drought resistance in young apricot plants. *Plant Science*. 156 (2): 245-251.

Ruíz-Lozano J M, R Azcón, M Gómez (1995) Effects of arbuscular-mycorrhizal *Glomus* species on drought tolerance: physiological and nutritional plant responses. *Applied Environmental Microbiology*. 61: 456-460.

Ruíz-Sánchez M C, J Girona (1995) Investigaciones sobre riego deficitario controlado en melocotonero. *En: Riego Deficitario Controlado. Fundamentos y Aplicaciones*. Eds Mundi-Prensa, España. p 67-95.

Sánchez-Díaz M, J Aguirreolea (1993) Relaciones hídricas. En *Fisiología y bioquímica vegetal*. (Azcón-Bieto, J., Talón, M., Coord.), Interamericana. McGraw Hill. p 49-90.

Selye H (1936) A síndrome produced by diverse noxious agents. *Nature* 138: 32.

SEMARNAT Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2002) Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 que establece las especificaciones de Fertilidad, Salinidad y Clasificación de suelos, Estudio Muestreo y Análisis. Consultado. 10-12-13 en <http://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/3335/1/nom-021-semarnat-2000.pdf>

SIAP, Servicio de información agroalimentaria y pesquera (2013) Consultado 30-11-13 en http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=350

SIAP, Servicio de información agroalimentaria y pesquera (2013) Consultado 13-10-13 en <http://w4.siap.sagarpa.gob.mx/AppEstado/monografias/Frutales/Chabacano.html>

Sieverding E (1985) Manual de Métodos para la investigación de la micorriza vesículo-arbuscular en el laboratorio Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Colombia. 96 p.

Soto M C (2003) La agricultura comercial de los distritos de riego en México y su impacto en el desarrollo agrícola. Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM. 50: 173-195.

Taiz L, E Zeiger. 2006. Plant physiology. 2nd ed. Sinauer Associates, Sunderland, Massachusetts. 764 p.

Torrecillas A, R Galego, A Pérez, M C Ruíz (1999) Gas exchange and water relations of young apricot plants under drought conditions. *Journal of Agricultural Science*. 132: 445–452.

Turrent F A (1986) Estimación del potencial productivo actual de maíz y de frijol en La República Mexicana. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México. 165 p.

Ulrich R (1970) Organic acids. In *The Biochemistry of Fruits and Their Products* Vol. 1, Hulme, A.C., (Ed), Academic Press. London. p 89-118.

Varela F L, L Hernández C, A Bárcenas O, A Chávez B, H Méndez C (2012) Morfotipos de *Acaulospora* registrados de México. VII Symposium Nacional y IV Reunión Iberoamericana de la Simbiosis Micorrística. Consultado 15-02-14 en <http://www.uv.mx/simbiosis-micorrizica/resumenes.html>

Verslues P E, M Agarwal, S Katiyar, J Zhu, J K Zhu (2006) Methods and concepts in quantifying resistance to drought, salt and freezing, abiotic stresses that affect plant water status. *The Plant Journal*. 45: 523–39.

White D A, N C Turner, J H Galbraith (2000) Leaf water relations and stomatal behaviour of four allopatric Eucalyptus species planted in Mediterranean southwestern Australia. *Tree Physiology*. 20: 1157–1165.

Wilcox J C (1960) A statistical comparison of laboratory methods of determining the permanent wilting point of soil. *Canadian Journal of Soil Science*. 40: 111-112.

Wilson J B (1988) A review of evidence on the control of shoot: root ratio in relation to models. *Annals of Botany*. 61: 433-449.

Winkel T, S Rambal (1990) Stomatal conductance of some grapevines growing in the field under a Mediterranean environment. *Agricultural and Forest Meteorology*. 51 (2): 107-121.

Woodruff D, B Bond, F Meinzer (2004) Does turgor limit growth in tall trees? *Plant, Cell & Environment* 27: 229-236.

APÉNDICE

Cuadro 1A. Resumen de análisis de varianza por muestreo de las variables en estudio (indicadas en negrillas a la derecha), en el experimento realizado con plántulas de *Prunus armeniaca* colectadas en la localidad de San Juan Tetla, Chiautzingo, Pue., sometidas a ciclos de riego-sequía.

MUESTREO (M)	CME	R ²	CV	s	Ā	Pr > f
--------------	-----	----------------	----	---	---	--------

Conductancia estomática

M1 (24/04/2013)	716.33	0.61	37.43	26.76	71.50	<0.001
M2 (06/05/2013)	439.13	0.90	26.44	20.95	79.23	<0.001

Tasa de asimilación

M1 (24/04/2013)	17.63	0.14	95.61	4.19	3.59	0.0387
M2 (06/05/2013)	9.04	0.62	53.77	3.00	5.59	<0.0001

Altura

M1 (24/04/2013)	50.71	0.22	14.96	7.12	47.57	0.0086
M2 (06/05/2013)	125.11	0.29	20.12	11.18	55.57	0.0020
M3 (18/05/2013)	154.62	0.53	20.26	12.43	61.36	<0.0001
M4 (30/05/2013)	145.87	0.50	20.81	12.07	58.03	<0.0001
M5 (12/06/2013)	127.18	0.31	21.78	11.27	51.77	0.0011
M6 (24/06/2013)	212.23	0.50	19.00	14.56	76.66	<0.0001
M7 (06/07/2013)	454.54	0.38	25.88	21.32	82.36	0.0012

Diámetro

M1 (24/04/2013)	0.29	0.37	15.00	0.54	3.60	0.0003
M2 (06/05/2013)	0.29	0.46	13.86	0.54	3.91	<0.0001
M3 (18/05/2013)	0.50	0.19	17.56	0.71	4.05	0.0140
M4 (30/05/2013)	0.57	0.43	18.12	0.75	4.18	<0.0001
M5 (12/06/2013)	0.35	0.27	14.30	0.59	4.15	0.0032
M6 (24/06/2013)	0.31	0.69	11.05	0.55	5.06	<0.0001
M7 (06/07/2013)	0.93	0.22	17.88	0.96	5.40	0.0198

Número de hojas

M1 (24/04/2013)	499.61	0.32	36.56	22.35	61.13	0.0010
M2 (06/05/2013)	1320.13	0.13	43.82	36.33	82.90	0.0443
M3 (18/05/2013)	1145.81	0.22	35.74	33.84	94.70	0.0085
M4 (30/05/2013)	1631.03	0.15	52.95	40.38	76.26	0.0670
M5 (12/06/2013)	1271.90	0.05	56.28	35.66	63.36	0.1990
M6 (24/06/2013)	1161.50	0.39	41.24	34.08	82.63	0.0002
M7 (06/07/2013)	1960.58	0.04	53.00	44.27	83.54	0.0291

Potencial de agua

M1 (24/04/2013)	0.05	0.83	13.37	0.24	- 1.81	<0.0001
M2 (06/05/2013)	0.008	0.95	4.37	0.09	- 2.09	<0.0001
M3 (18/05/2013)	0.03	0.84	8.54	0.17	- 2.03	<0.0001
M4 (30/05/2013)	0.09	0.53	17.89	0.30	- 1.71	0.0002
M5 (12/06/2013)	0.02	0.94	8.35	0.15	- 1.85	<0.0001
M6 (24/06/2013)	0.10	0.28	21.83	0.32	- 1.48	0.0219
M7 (06/07/2013)	0.10	0.25	21.46	0.32	- 1.49	0.0237

Potencial osmótico

M1 (24/04/2013)	0.06	0.68	9.97	0.25	- 2.51	<0.0001
M2 (06/05/2013)	0.17	0.37	15.53	0.41	- 2.66	0.0041
M3 (18/05/2013)	0.06	0.22	10.42	0.25	- 2.42	0.0367
M4 (30/05/2013)	0.08	0.25	11.57	0.29	- 2.53	0.0247
M5 (12/06/2013)	0.04	0.25	10.69	0.21	- 2.02	0.0217
M6 (24/06/2013)	0.07	0.07	11.65	0.26	- 2.30	0.2511
M7 (06/07/2013)	0.04	0.002	9.07	0.21	- 2.33	0.8396

Potencial de turgencia

M1 (24/04/2013)	0.13	0.18	52.43	0.36	0.70	0.0216
M2 (06/05/2013)	0.17	0.04	72.27	0.41	0.57	0.3601
M3 (18/05/2013)	0.03	0.60	46.99	0.19	0.42	<0.0001
M4 (30/05/2013)	0.06	0.28	30.44	0.25	0.82	0.0144
M5 (12/06/2013)	0.01	0.89	34.71	0.11	0.34	<0.0001
M6 (24/06/2013)	0.08	0.37	34.77	0.28	0.81	0.0532
M7 (06/07/2013)	0.10	0.26	38.70	0.34	0.84	0.0585

Porcentajes de humedad en el suelo

M1 (24/04/2013)	15.43	0.90	23.48	3.92	16.73	<0.0001
M2 (06/05/2013)	15.84	0.78	35.40	3.98	11.24	<0.0001
M3 (18/05/2013)	20.38	0.73	27.95	4.51	16.15	<0.0001
M4 (30/05/2013)	12.94	0.80	24.51	3.59	14.67	<0.0001
M5 (12/06/2013)	4.97	0.96	14.20	2.23	15.70	<0.0001
M6 (24/06/2013)	11.76	0.79	20.94	3.43	16.37	<0.0001
M7 (06/07/2013)	13.04	0.93	20.99	3.61	17.19	<0.0001

Materia seca en hojas

M1 (24/04/2013)	0.34	0.32	33.39	0.59	1.77	0.0082
M2 (06/05/2013)	0.42	0.34	30.35	0.65	2.15	0.0061
M3 (18/05/2013)	0.69	0.54	32.99	0.83	2.51	0.0002
M4 (30/05/2013)	0.88	0.35	49.54	0.94	1.90	0.0055
M5 (12/06/2013)	0.19	0.16	28.22	0.44	1.58	0.0743
M6 (24/06/2013)	1.91	0.58	38.49	1.38	3.59	<0.0001
M7 (06/07/2013)	1.97	0.63	32.23	1.40	4.35	<0.0001

Materia seca en tallos

M1 (24/04/2013)	0.22	0.40	30.28	0.47	1.57	0.0028
M2 (06/05/2013)	0.22	0.44	27.54	0.47	1.72	0.0014
M3 (18/05/2013)	0.98	0.49	40.85	0.99	2.42	0.0005
M4 (30/05/2013)	0.97	0.46	53.39	0.98	1.85	0.0010
M5 (12/06/2013)	0.14	0.21	24.86	0.38	1.53	0.0405
M6 (24/06/2013)	2.66	0.60	38.10	1.63	4.28	<0.0001
M7 (06/07/2013)	2.44	0.66	31.40	1.56	4.97	<0.0001

Materia seca en raíces

M1 (24/04/2013)	0.49	0.12	60.24	0.70	1.16	0.1219
M2 (06/05/2013)	0.18	0.31	36.99	0.43	1.16	0.0102
M3 (18/05/2013)	0.80	0.40	50.97	0.89	1.76	0.0025
M4 (30/05/2013)	0.66	0.23	51.20	0.81	1.59	0.0304
M5 (12/06/2013)	0.14	0.19	23.50	0.38	1.64	0.0529
M6 (24/06/2013)	0.69	0.36	29.56	0.83	2.81	0.0050

Prolina

M1 (24/04/2013)	0.312	0.52	72.64	0.55	0.76	0.0170
M2 (06/05/2013)	3.566	0.36	86.67	1.88	1.61	0.0101
M3 (18/05/2013)	3.092	0.50	95.07	1.75	1.84	0.0220
M4 (30/05/2013)	0.233	0.73	38.08	0.48	1.26	0.0016
M5 (12/06/2013)	0.103	0.81	35.53	0.32	0.90	0.0004
M6 (24/06/2013)	0.830	0.51	62.12	0.91	1.46	0.0194
M7 (06/07/2013)	0.940	0.50	74.48	0.96	1.30	0.0208

Fósforo en hojas

M1 (24/04/2013)	0.123	0.16	20.56	0.35	1.71	0.2460
M2 (06/05/2013)	0.025	0.55	9.72	0.16	1.64	0.0615
M3 (18/05/2013)	0.021	0.001	7.46	0.14	1.96	0.9084
M4 (30/05/2013)	0.192	0.008	26.52	0.43	1.65	0.7948
M5 (12/06/2013)	0.113	0.430	19.10	0.33	1.76	0.0393
M6 (24/06/2013)	0.017	0.786	8.28	0.13	1.58	0.0006
M7 (06/07/2013)	0.156	0.335	23.12	0.39	1.71	0.0416

Fósforo en tallos

M1 (24/04/2013)	0.072	0.08	31.44	0.26	0.85	0.4250
M2 (06/05/2013)	0.014	0.51	16.82	0.11	0.70	0.0188
M3 (18/05/2013)	0.001	0.76	5.32	0.04	0.82	0.0645
M4 (30/05/2013)	0.021	0.24	17.63	0.14	0.83	0.1465
M5 (12/06/2013)	0.024	0.07	23.81	0.15	0.65	0.4428
M6 (24/06/2013)	0.017	0.005	24.88	0.13	0.52	0.9483
M7 (06/07/2013)	0.019	0.90	12.65	0.14	1.11	<0.0001

Fósforo en raíz

M1 (24/04/2013)	0.072	0.32	17.46	0.27	1.54	0.0852
M2 (06/05/2013)	0.067	0.09	18.16	0.26	1.43	0.3838
M3 (18/05/2013)	0.055	0.34	13.33	0.23	1.77	0.0766
M4 (30/05/2013)	0.120	0.22	16.28	0.34	2.13	0.1710

M5 (12/06/2013)	0.113	0.002	19.33	0.33	1.74	0.9001
M6 (24/06/2013)	0.098	0.31	22.15	0.31	1.41	0.0934

Potasio en hojas

M1 (24/04/2013)	54.22	0.56	55.78	7.36	13.20	0.0124
M2 (06/05/2013)	13.36	0.23	51.03	3.65	7.16	0.1555
M3 (18/05/2013)	26.42	0.15	94.23	5.14	4.13	0.2562
M4 (30/05/2013)	30.63	0.53	33.11	5.53	16.71	0.0165
M5 (12/06/2013)	0.189	0.11	16.22	0.43	0.13	0.3466
M6 (24/06/2013)	45.80	0.05	64.76	6.76	10.45	0.5033
M7 (06/07/2013)	10.96	0.84	34.84	3.31	9.50	0.0002

Potasio en tallos

M1 (24/04/2013)	56.41	0.35	47.01	7.51	15.97	0.0491
M2 (06/05/2013)	40.05	0.18	30.51	6.32	20.73	0.2123
M3 (18/05/2013)	17.40	0.02	64.42	4.17	2.53	0.6679
M4 (30/05/2013)	2.70	0.16	48.45	1.64	0.66	0.2388
M5 (12/06/2013)	0.18	0.11	16.22	0.43	0.13	0.3466
M6 (24/06/2013)	55.46	0.07	81.50	7.44	9.13	0.8172
M7 (06/07/2013)	56.34	0.23	40.16	7.50	18.68	0.1516

Potasio en raíz

M1 (24/04/2013)	11.60	0.71	38.92	3.40	8.75	0.0019
M2 (06/05/2013)	27.38	0.41	49.77	5.23	10.51	0.0435
M3 (18/05/2013)	42.73	0.44	40.10	6.53	16.30	0.0341
M4 (30/05/2013)	39.55	0.47	30.27	6.28	20.77	0.0280
M5 (12/06/2013)	48.01	0.21	40.28	6.92	17.20	0.1734
M6 (24/06/2013)	3.13	0.18	81.62	1.77	0.97	0.2173

Calcio en hojas

M1 (24/04/2013)	4.15	0.01	47.52	2.03	4.28	0.7785
M2 (06/05/2013)	12.54	0.12	72.84	3.54	4.86	0.3106

M3 (18/05/2013)	0.92	0.05	26.80	0.96	3.58	0.8423
M4 (30/05/2013)	1.71	0.01	23.94	1.30	5.46	0.9766
M5 (12/06/2013)	3.73	0.35	33.88	1.93	5.70	0.0703
M6 (24/06/2013)	2.46	0.06	31.64	1.56	4.95	0.4686
M7 (06/07/2013)	3.62	0.16	27.77	1.90	6.85	0.2478

Calcio en tallos

M1 (24/04/2013)	0.92	0.16	41.53	0.96	2.31	0.2379
M2 (06/05/2013)	5.02	0.11	48.59	2.24	4.61	0.3286
M3 (18/05/2013)	2.47	0.07	29.73	1.57	5.28	0.4852
M4 (30/05/2013)	3.02	0.03	29.42	1.73	5.91	0.5856
M5 (12/06/2013)	1.05	0.20	20.33	1.02	5.04	0.1855
M6 (24/06/2013)	1.61	0.44	19.92	1.27	6.40	0.0343
M7 (06/07/2013)	3.42	0.09	31.10	1.85	5.95	0.3959

Calcio en raíz

M1 (24/04/2013)	8.20	0.05	83.62	2.86	3.42	0.5097
M2 (06/05/2013)	0.54	0.15	26.02	0.73	2.83	0.2532
M3 (18/05/2013)	1.05	0.02	30.77	1.02	3.33	0.6832
M4 (30/05/2013)	1.09	0.38	20.66	1.04	5.06	0.0562
M5 (12/06/2013)	1.74	0.04	26.54	1.32	4.97	0.9537
M6 (24/06/2013)	0.96	0.11	18.76	0.98	5.23	0.3440

Magnesio en hojas

M1 (24/04/2013)	0.48	0.12	35.60	0.69	1.96	0.3138
M2 (06/05/2013)	0.53	0.28	40.18	0.72	1.81	0.1111
M3 (18/05/2013)	0.14	0.40	20.54	0.37	1.82	0.0563
M4 (30/05/2013)	0.10	0.01	20.22	0.32	1.60	0.9999
M5 (12/06/2013)	0.33	0.58	28.32	0.57	2.03	0.0104
M6 (24/06/2013)	0.13	0.02	24.91	0.36	1.45	0.6732
M7 (06/07/2013)	0.21	0.40	20.48	0.45	2.24	0.0696

Magnesio en tallos

M1 (24/04/2013)	0.61	0.07	29.13	0.78	2.70	0.4446
M2 (06/05/2013)	0.43	0.12	27.63	0.66	2.40	0.3146
M3 (18/05/2013)	0.24	0.06	23.76	0.49	2.08	0.4937
M4 (30/05/2013)	0.20	0.04	27.95	0.45	1.61	0.5563
M5 (12/06/2013)	0.16	0.46	23.73	0.41	1.73	0.0307
M6 (24/06/2013)	0.08	0.85	15.57	0.29	1.92	0.0001
M7 (06/07/2013)	0.15	0.04	19.47	0.39	2.00	0.9531

Magnesio en raíz

M1 (24/04/2013)	0.28	0.13	40.14	0.53	1.33	0.3016
M2 (06/05/2013)	2.77	0.05	81.73	1.66	2.03	0.8362
M3 (18/05/2013)	0.18	0.01	40.44	0.43	1.07	0.7256
M4 (30/05/2013)	0.09	0.27	19.87	0.30	1.51	0.1214
M5 (12/06/2013)	0.05	0.02	16.96	0.22	1.32	0.8916
M6 (24/06/2013)	0.05	0.30	14.38	0.22	1.59	0.0999

M: Muestreo realizado; **CME:** Cuadrado medio del error; **R²:** Coeficiente de determinación; **CV:** Coeficiente de variación; **s:** desviación estándar; **Ā:** Media; **Pr>F:** Nivel de significancia del modelo.