



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA
COORDINACIÓN DE POSGRADO
MAESTRÍA EN PRODUCCIÓN AGROPECUARIA



**INJERTO HERBÁCEO COMO ALTERNATIVA PARA DISMINUIR EL
ESTRÉS HÍDRICO EN JITOMATE (*Lycopersicon esculentum*)**

Por:

Emma Rodríguez Narváez

**Tesis presentada como requisito parcial para obtener el grado de
Maestra en Producción Agropecuaria**

Soledad de Graciano Sánchez, S.L.P.

Diciembre de 2013



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ
FACULTAD DE AGRONOMÍA
COORDINACIÓN DE POSGRADO
MAESTRÍA EN PRODUCCIÓN AGROPECUARIA



**INJERTO HERBÁCEO COMO ALTERNATIVA PARA DISMINUIR EL
ESTRÉS HÍDRICO EN JITOMATE (*Lycopersicon esculentum*)**

Por:

Emma Rodríguez Narváez

**Tesis presentada como requisito parcial para obtener el grado de
Maestro en Producción Agropecuaria**

Asesor principal

Dr. Hugo Magdaleno Ramírez Tobías

Asesores

**Dr. Juan Carlos Rodríguez Ortiz
Dr. Ángel Natanael Rojas Velázquez**

Soledad de Graciano Sánchez, S.L.P.

Diciembre de 2013

El trabajo titulado “**Injerto Herbáceo como Alternativa para Disminuir el Estrés Hídrico en Jitomate (*Lycopersicon esculentum*)**” fue realizado por: Emma Rodríguez Narváez como requisito parcial para obtener el Grado de Maestra en Producción Agropecuaria en el área de Sistemas de Producción de Hortalizas, fue revisado y aprobado por el suscrito comité de tesis:

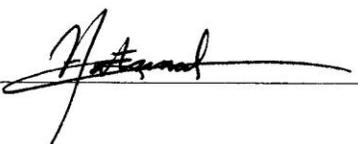
Dr. Hugo Magdaleno Ramírez Tobías
Asesor principal



Dr. Juan Carlos Rodríguez Ortiz
Asesor



Dr. Ángel Natanael Rojas Velázquez
Asesor



Ejido Palma de la Cruz, municipio de Soledad de Graciano Sánchez, S. L. P. a los 16 días del mes de diciembre de 2013.

DEDICATORIA

A TI JESUCRISTO:

Gracias Señor Dios mío y señor mío yo confié en ti.

A MI MADRE:

Señora María Eva Narváez López

Por todo su apoyo brindado, y por estar a mi lado en todo momento.

A MI PADRE:

Señor Antonio Rodríguez Torres

Por haberme dado la seguridad y confianza necesaria para seguir adelante frente a los retos que he tenido a lo largo de mi vida.

A MIS HERMANOS:

David y Roberto

Por su amor, cariño y amistad que en difíciles momentos me ayudaron a ser más fuerte.

A MI NOVIO:

Noé Flores Rodríguez por apoyarme y brindarse su cariño y amor incondicional.

AGRADECIMIENTOS

CON GRATITUD

A la Universidad Autónoma de San Luis Potosí y a la Facultad de Agronomía y Veterinaria.

Por su colaboración para la finalización de mis estudios profesionales.

CON AGRADECIMIENTO

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo otorgado durante todo el transcurso del tiempo que curse mi maestría.

CON RECONOCIMIENTO

Al Fondo de Apoyo a la Investigación (FAI) patrocinio de mi proyecto de investigación (Convenio C-12- FAI-03-18.8).

CON RESPETO

Al Dr. Hugo Magdaleno Ramírez Tobías

Un gran maestro, que por sus valiosos consejos y atribuciones a mi persona me permitieron avanzar un escalón más en mi carrera profesional.

CON AFECTO

Al Dr. Juan Carlos Rodríguez Ortiz

El cual es un gran ser humano que dedicó parte de su tiempo y paciencia para concluir este trabajo de investigación.

CON RETRIBUCIÓN

Al Dr. Ángel Natanael Rojas Velásquez

Un gran investigador y distinguida persona que por sus conocimientos me supo encausar de una manera correcta para la culminación de mi tesis.

CON ESTIMACIÓN

Al Ing. José Luis Castañeda Herrera

Por su ayuda desinteresada y apoyo para culminar mi trabajo de investigación.

¡Muchas gracias!

CON ESTIMACIÓN

Al Señor José Luis Castillo

Por su apoyo para concluir mi trabajo de investigación ¡Gracias!

A MIS AMIGOS Y COMPAÑEROS:

Mauricio, Juan Carlos, Isidoro, Salvador, Jorge, Oscar y Mauricio por los buenos momentos que pasamos. Igualmente amigos les deseo mucha suerte.

ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
ÍNDICE DE CUADROS.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	i
RESUMEN.....	ii
SUMMARY	iii
INTRODUCCIÓN	1
Objetivo General	3
Objetivos Específicos.....	3
Hipótesis.....	3
REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
Situación e Importancia del Cultivo de Jitomate	4
El Concepto de Estrés en Fisiología Vegetal	4
Tipos de Estrés	5
Respuestas Generales al Estrés	5
Mecanismos de Resistencia al Estrés.....	5
Estrés Hídrico.....	6
Procesos de Resistencia al Estrés Hídrico.....	6
El Injerto Herbáceo	7
Etapas del Injerto.....	7
Técnicas de Injerto	8
Ventajas del Injerto	8
Efecto del Injerto en el Desempeño Fisiológico del Jitomate.....	9
Efecto del Injerto en el Crecimiento y Rendimiento del Cultivo de Jitomate	9
Influencia del Injerto en los Parámetros de Calidad del Jitomate.....	10
MATERIALES Y METODOS	12
Sitio del Área del Experimental	12
Características del Invernadero	12
Material Genético.....	13
Injerto	13
Sustrato.....	13
Sistema de Riego.....	13
Solución Nutritiva	14
Diseño Experimental.....	15
Variables Evaluadas	15
Etapa 1. Desempeño Fisiológico.....	15
Clorofila	15
Carotenos	16
Nutrimentos N- NO ₃ y K ⁺	16
Etapa 2. Crecimiento y Rendimiento	16
Altura de la planta	16

Diámetro del tallo.....	16
Área foliar	17
Rendimiento	17
Etapa 3. Atributos de Calidad del Fruto.....	17
Características físicas	17
Longitud y anchura	17
Peso de un fruto.....	17
Volumen.....	17
Peso específico	18
Características bioquímicas.....	18
Sólidos solubles totales	18
pH.....	18
Contenido de ácido cítrico	18
Índice de madurez	18
Análisis Estadístico	19
RESULTADOS Y DISCUSION	20
Desempeño Fisiológico.....	20
Carotenos	20
Clorofila	20
Nitratos (N-NO ₃) y potasio (K ⁺)	24
Etapa 2. Crecimiento y Rendimiento	25
Etapa 3. Calidad del Fruto.....	32
Características físicas del fruto	32
Características bioquímicas del fruto	34
CONCLUSIONES	37
LITERATURA CITADA.....	38

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Láminas de riego para el cultivo de jitomate.....	14
2	Solución nutritiva Steiner (1961) formulada para diversos variedades del cultivo de jitomate.....	14
3	Efecto del injerto y de diferentes niveles de humedad en el área foliar y diámetro basal de tallo así como en su velocidad de crecimiento en jitomate (<i>Lycopersicon esculentum</i>).....	21
4	Efecto del injerto y de diferentes niveles de humedad en altura de planta y rendimiento de jitomate (<i>Lycopersicon esculentum</i>).....	26
5	Efecto del injerto y de diferentes niveles de humedad en el área foliar y diámetro basal de tallo así como en su velocidad de crecimiento en tomate (<i>Lycopersicon esculentum</i>).....	27
6	Efecto del injerto y de diferentes niveles de humedad de las características físicas en tomate (<i>Lycopersicon esculentum</i>).....	32
7	Efecto del injerto y de diferentes niveles de humedad sobre características bioquímicas de frutos de jitomate (<i>Lycopersicon esculentum</i>)	35

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1	Efecto del porcentaje de humedad aprovechable sobre el contenido de clorofila total en plantas injertadas [Aníbal F1/Cuauhtémoc F1 (▲) y DRK 2189 F1/Cuauhtémoc F1 (⊖)] y sin injertar [Aníbal F1 (⊕), Cuauhtémoc F1 (▽) y DRK 2189 F1 (★)] de jitomate (<i>Lycopersicon esculentum</i>). (n=8, las barras verticales representan un error estándar).....	23
2	Rendimiento en toneladas ha ⁻¹ (en 5 cortes) de jitomate (<i>Lycopersicon esculentum</i>) de las variedades Aníbal F1 y DRK 2189 F1 injertadas sobre Cuauhtémoc FI (A/C y D/C, respectivamente) y plantas de las variedades Aníbal F1, DRK 2189 F1 y Cuauhtémoc F1 sin injertar (A, D y C, respectivamente), dependientes de la humedad aprovechable 100, 90 y 80%. Cada barra representa el promedio por tratamiento y el símbolo de desviación corresponde al error estándar. n=8, las letras representan el resultado de la prueba de Tukey con $\alpha=0.05$).....	28
3	Efecto de tres niveles de humedad aprovechable sobre el crecimiento del diámetro basal del tallo de plantas injertadas y sin injertar de jitomate (<i>Lycopersicon esculentum</i>). Aníbal F1/Cuauhtémoc F1 (▲), DRK 2189 F1/Cuauhtémoc F1 (⊖), Aníbal F1 (⊕), Cuauhtémoc F1 (▽) y DRK 2189 F1 (★).....	29
4	Efecto de tres niveles de humedad aprovechable sobre el la tasa media de crecimiento del diámetro basal del tallo de plantas injertadas [Aníbal F1/Cuauhtémoc F1 (▲) y DRK 2189 F1/Cuauhtémoc F1 (⊖)] y sin injertar [Aníbal F1 (⊕), Cuauhtémoc F1 (▽) y DRK 2189 F1 (★)] de jitomate (<i>Lycopersicon esculentum</i>).....	30

RESUMEN

El jitomate es una de las hortalizas de mayor consumo *per cápita* a nivel mundial. En regiones de México con poca precipitación, el uso eficiente del agua es un factor relevante para la producción. Por lo anterior es necesario desarrollar estrategias que favorezcan la tolerancia a condiciones de déficit de agua. El objetivo de esta investigación fue aprovechar las características de resistencia diversos factores ambientales de la variedad Cuauhtémoc F1 al usarla como porta-injerto para favorecer y conocer el efecto sobre algunos procesos fisiológicos, crecimiento y calidad del fruto de las variedades Aníbal F1 y DRK 2189 FI, una vez injertadas sobre la primera. La investigación se realizó en invernadero en el campo experimental de la Facultad de Agronomía y Veterinaria (UASLP). Las plantas injertadas y sin injertar fueron divididas en tres grupos a los que se proporcionó riego para generar tres condiciones de humedad: capacidad de campo, 90 y 80% de humedad aprovechable (HA). La clorofila fue mayor en los tratamientos Aníbal F1/Cuauhtémoc F1 y DRK 2189 F1/Cuauhtémoc F1 con 100% de HA. El contenido de carotenos disminuyó significativamente con la menor disponibilidad de agua. El injerto de tomate sobre patrones tolerantes a condiciones de aridez mejoró algunas características fisiológicas de las plantas, tales como el contenido clorofila; también favoreció parámetros de crecimiento como área foliar, diámetro y altura de planta y mejoro el rendimiento del cultivo. Para las características bioquímicas del fruto no hubo diferencia en el factor injerto, pero si para el factor humedad aprovechable. La técnica del injerto usando al cultivar Cuauhtémoc F1 como porta-injerto es una herramienta útil y efectiva para mejorar parámetros físicos de calidad como peso, volumen y diámetro del fruto de jitomate y favorecer algunas variables de crecimiento y rendimiento.

SUMMARY

Tomato is one of the most per capita consumed vegetables worldwide. In regions with little precipitation as Mexico, water use efficiency is an important factor for production. Therefore it is necessary to develop strategies that promote tolerance to water deficit conditions. The objective of this research was to exploit the strength characteristics of various environmental factors variety Cuauhtémoc F1 to use as rootstock to promote and understand the effect on some physiological processes, growth and fruit quality of varieties Anibal F1 and DRK 2189 F1 once grafted onto the first. The research was conducted in a greenhouse at the experimental field of the Faculty of Agriculture and Veterinary (UASLP). Grafted and ungrafted plants were divided into three groups where irrigation was provided at three moisture conditions: field capacity, 90 and 80 % of available moisture (AM). Chlorophyll was higher in treatments Anibal F1/Cuauhtémoc F1 and DRK 2189 F1 /Cuauhtémoc 100 % AM. The carotene content decreased significantly with decreasing water availability. Grafting on tolerant tomato variety favored some physiological characteristics such as chlorophyll content. Also, growth variables as leaf area, stem diameter and plant height and crop yield were improved. For biochemical characteristics of the fruit there was no difference due to the grafted or varieties effects, but available moisture at 80, 90% and 80% AM modified biochemical attributes significantly. Grafting technique using the cultivar Cuauhtémoc F1 as rootstock is a useful tool and effective for improving fruit physical quality parameters such as weight, volume and diameter and favored some growth variables and crop yield.

INTRODUCCIÓN

El jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) es una de las hortalizas de mayor consumo per cápita a nivel mundial debido al valor de su producción y a que es de las más ampliamente cultivadas en invernadero (Resh, 2004). El tomate a nivel mundial es la segunda hortaliza de mayor importancia después de la papa (*Solanum tuberosum* L.). Se cultiva en diversos países, no obstante más del 50% de la producción se concentra en cinco países: China (26.7%), Estados Unidos (9.1%), Turquía (7.9%), India (6.8%) y Egipto (6.0%) (SIACON, 2009).

México ocupa el décimo lugar entre los países productores de jitomate, con un promedio anual de 2'381,585 toneladas, lo cual representa 1.98 % de la producción mundial (SIACON, 2009). La información de SIAP (2009) muestra que actualmente en México se siembra el tomate en los 31 estados de su territorio. En el periodo 2001-2007, los tres estados que destinaron más hectáreas a la siembra fueron: Sinaloa (5, 373), Michoacán (6,405) y San Luis potosí (6.145). De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, por sus siglas en inglés), México es el principal exportador de jitomate en el mundo. Se estima que un poco más del 95% de las exportaciones de jitomate fresco y derivados se envían a los Estados Unidos, y en menor medida a Canadá, Japón y Francia, entre otros (SIACON, 2009).

En regiones de México con poca precipitación pluvial, específicamente del estado de San Luis Potosí (precipitación media anual de 350 mm) el uso eficiente del agua es un factor relevante para la producción (Tapia *et al.*, 2010). La exigencia del jitomate en cuanto a la humedad del suelo es media y se estima que requiere 460 mm de agua por ciclo vegetativo (Rodríguez *et al.*, 2001). La producción de hortalizas en San Luis Potosí es importante, lo que sugiere una presión fuerte sobre los recursos hídricos. Así, es necesario desarrollar estrategias que favorezcan la tolerancia a condiciones de déficit de agua en la producción de hortalizas como el jitomate. El uso de porta-injertos es una alternativa que permite complementar las características de resistencia a tensiones ambientales bióticas o abióticas con las características productivas.

Se ha demostrado que la tolerancia al déficit hídrico de patrones favorece el vigor del injerto (Pire *et al.*, 2007). Algunos porta injertos tienen mayor capacidad de extraer agua del suelo en condiciones de déficit hídrico que la planta sin injertar (Weng-JenHsien, 2000). Otros por el contrario son tolerantes al encharcamiento y pueden mejorar el comportamiento de una variedad más sensible (Liao-ChungTa y Lin-ChinHo, 1996). Por otra parte las raíces vigorosas del patrón son capaces de absorber agua y nutrientes más eficazmente que la variedad (Lee, 1994). Además, la mayor duración del ciclo de las plantas injertadas se debe al mejor suministro de agua y minerales (Lee, 1994).

El injerto favorece también la absorción de nutrimentos y contenido mineral para la parte aérea (Ruiz *et al.*, 1996), incrementa la vida de post-cosecha y la calidad de la fruta (Lee y Oda, 2003). Además se puede conseguir una mayor producción o un ciclo más largo de plantas injertadas (Rogers *et al.*, 1957). Van Hooijdonk *et al.* (2010) han mostrado que las partes radicales con diferente vigor pueden modificar la arquitectura de la parte aérea tras el injerto.

Por otra parte el contenido de clorofila de las hojas jóvenes es mayor en plantas injertadas (Miguel, 1997). También el contenido en la sabia del xilema de iones minerales especialmente (NO_3) es mayor en plantas injertadas (Kim *et al.*, 1999). También la producción y el contenido de K es mayor en plantas de tomate injertado (Santa Cruz *et al.*, 2002). Se señala incluso, que los porta injertos normalmente utilizados en tomate funcionan mejor que las de estas mismas especies sin injertar (Lee, 1994).

El injerto de tomate sobre patrones tolerantes a condiciones de aridez podría favorecer el desarrollo y la producción en condiciones de poca disponibilidad de agua. De acuerdo con la empresa Harris Moran, algunas variedades de jitomate, como Cuauhtémoc F1, tiene adaptación a diferentes zonas¹. En contraste, la variedades DKR 2189 F1 y Anibal F1 presentan baja tolerancia a diversas restricciones. La primera es una planta vigorosa de hoja oscura y entrenudos intermedios, ideal para ciclo largo; mientras que la segunda es una planta indeterminada con altos rendimientos de frutos extra-grandes, firmes y de excelente maduración. La variedad Cuauhtémoc F1 puede ser

¹ <http://www.harrismoran.com/mexico/products/tomato.htm>

usada como porta injertos de manera que su tolerancia a restricciones permita un mejor desarrollo del cultivo injertado en condiciones de poca disponibilidad de agua.

Objetivo General

Evaluar el injerto herbáceo como alternativa para disminuir el estrés hídrico en jitomate (*Lycopersicon esculentum*).

Objetivos Específicos

Evaluar el injerto herbáceo en el desempeño fisiológico del jitomate (*Lycopersicon esculentum*) bajo estrés hídrico.

Evaluar el injerto herbáceo en el crecimiento y rendimiento del jitomate (*Lycopersicon esculentum*) bajo estrés hídrico.

Evaluar el injerto herbáceo en la calidad de los frutos del jitomate (*Lycopersicon esculentum*) bajo estrés hídrico.

Hipótesis

Los injertos de jitomate (Aníbal F1 y DRK 2189 FI) sobre un patrón tolerante (Cuauhtémoc F1) disminuyen el estrés hídrico, favoreciendo el crecimiento, rendimiento, parámetros de calidad y fisiológicos.

REVISIÓN DE LITERATURA

Situación e Importancia del Cultivo de Jitomate

El tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) es una de las hortalizas de mayor consumo per cápita a nivel mundial debido al valor de su producción y que es de las más ampliamente cultivadas en invernadero (Resh, 2004). El tomate a nivel mundial es la segunda hortaliza de mayor importancia después de la papa (*Solanum tuberosum* L.). Se cultiva en diversos países, no obstante más del 50% de la producción se concentra en cinco países: China (26.7%), Estados Unidos (9.1%), Turquía (7.9%), India (6.8%) y Egipto (6.0%) (SIACON, 2009).

México ocupa el décimo lugar entre los países con mayor producción de jitomate, obteniendo una producción promedio anual de 2, 381,585.57 toneladas, lo cual significa un 1.98 % de la producción mundial (SIACON, 2009). La información de SIAP 2009 muestra que actualmente en México se siembra el tomate en los 31 estados de su territorio. Al analizar el periodo 2001- 2007, los tres estados que destinaron más hectáreas a la siembra fueron: Sinaloa (5, 373. 22), Michoacán (6,404.65) y San Luis potosí (6.144.73).

El Concepto de Estrés en Fisiología Vegetal

El concepto de estrés proviene de la física; es la fuerza que actúa sobre un cuerpo. El cuerpo responde con una reacción proporcional a la fuerza con la que se ha actuado sobre él. La reacción de respuesta es una tensión. En biología el estrés sería un factor externo que afecta negativamente a un organismo. Por lo tanto la definición biofísica de estrés involucra una fuerza ejercida sobre un objeto en relación con el área sobre la cual se aplica. Teniendo en cuenta estos conceptos. El término estrés en el marco de la fisiología vegetal refleja la magnitud de presión ambiental que fuerza un cambio en la fisiología de una planta (Nilsen y Orcutt, 1996). Levitt (1972) definió al estrés como: cualquier factor ambiental potencialmente desfavorable para los organismos vivos. A menudo es difícil distinguir entre aquellas respuestas que le afectan negativamente a la planta y aquellas que poseen un efecto beneficioso. Nilsen y Orcutt, 1996 señalan que algunos factores pueden tener ambos efectos de manera simultánea. Por ejemplo. La

marchitez producida por un déficit hídrico. Si bien tiene un efecto negativo en la tasa de asimilación de CO₂. También puede ser positiva para la planta. Ya que colabora en la menor absorción de energía lumínica al cambiar el ángulo de exposición, con lo que evita el daño permanente en la hoja por altas temperaturas.

Tipos de Estrés

Existen variadas clasificaciones de los factores de estrés. En general estos pueden ser clasificados como estreses bióticos y abióticos. Los estreses bióticos son causados por la acción de otros seres vivos: animales, plantas (por competencia, alelopatía, etc.), microorganismos (bacterias, hongos), y fitopatógenos como los virus y viroides. Los estreses abióticos dependiendo del agente causal pueden dividirse en físicos y químicos. Entre los factores físicos (en realidad fisicoquímicos) se pueden mencionar el estrés por déficit o exceso de agua, temperaturas extremas, salinidad y radiación ultravioleta. Entre los factores químicos destacan la contaminación atmosférica, metales pesados, las toxinas, la salinidad y la carencia de elementos minerales (Azcón-Bieto y Talón, 2008).

Respuestas Generales al Estrés

El estudio de las respuestas de las plantas al estrés es un aspecto fundamental de la fisiología ambiental o eco fisiología, la cual se propone conocer cómo las plantas funcionan en sus ambientes naturales y cuáles son los patrones que determinan su distribución, supervivencia y crecimiento (Kramer y Boyer, 1995; Lambers *et al.*, 1998; Ackerly *et al.*, 2002). Cuando una planta está sometida a condiciones significativamente diferentes de las óptimas para la vida se dice que está sometida a estrés. Las diferentes especies o variedades difieren en sus requerimientos óptimos y por tanto en su susceptibilidad a un determinado estrés (Hsiao, 1973; Levitt, 1972).

Mecanismos de Resistencia al Estrés

El conocimiento de los mecanismos de resistencia al estrés permite comprender los procesos evolutivos implicados en la adaptación de las plantas a un ambiente adverso y predecir hasta cierto punto la respuesta vegetal. Además, pueden ser aplicados para

mejorar las características de las plantas tanto en su fase de cultivo como en la selección de variedades que se ajusten a unos requerimientos ambientales determinados o, simplemente, en mejorar la productividad de una especie (Nilsen y Orcutt, 1996).

Estrés Hídrico

La disponibilidad de agua es uno de los factores ambientales que limita la producción y calidad de los cultivos en todo el mundo (Lawlor, 1979). Estas restricciones han ganado importancia debido a la demanda de alimentos en una población mundial en crecimiento. El problema se complica aún más debido a la deficiencia en el suministro adecuado de agua, a los costos y riesgos de la irrigación. Una alternativa para disminuir la necesidad de riego intensivo es la búsqueda de cultivares con capacidad de soportar un marcado déficit hídrico (DH), a través de mecanismo de tolerancia a la sequía. Muchas de las respuestas al DH han sido resumidas por varios autores (Hsiao, 1973; Turner y Kramer, 1980; Paleg y Aspinall, 1981). Estas respuestas ocupan un amplio rango, desde metabólicas y fisiológicas hasta morfológicas.

En lo que a productividad de cultivos concierne, el énfasis debe estar sobre aquellas respuestas que se producen por DH debido a sequías pasajeras y no en aquellas respuestas que se producen bajo aridez severa (Hsiao, 1973). Se ha evidenciado que las plantas de tomate, *Lycopersicon esculentum*, son muy sensibles al estrés hídrico (Waister y Hudson, 1970); así mismo, la producción de tomate al ser comparada con otros vegetales, ha estado siempre asociada a la abundancia de agua (Srinivasa Rao *et al.*, 2000). Por otro lado, se presentan estudios comparativos acerca de las respuestas al DH entre cultivares de tomate, por ejemplo, diferencias genotípicas en el ajuste osmótico pueden significar un importante atributo en la resistencia a la sequía en tomate (Srinivasa Rao *et al.*, 1992). Adicionalmente, han sido señaladas respuestas ecofisiológicas diferentes en cultivares de tomate, susceptibles y resistentes a la sequía, (Rahman *et al.*, 1999).

Procesos de Resistencia al Estrés Hídrico

Desde el punto de vista evolutivo existen respuestas posibles ante el estrés hídrico: escapar, evitarlo o tolerarlo. Las especies evitadoras de la sequía serían especies

homeohídricas (comportamiento hídrico estable) o bien “reguladoras” ya que regulando la transpiración evitarían tensiones excesivas en el xilema, mientras que las especies tolerantes serían “conformistas”. Otro tipo de estrategia, no considerado por muchos autores como de auténtica resistencia al déficit hídrico, es la estrategia elusiva o de escape de la sequía, que es aquella donde las plantas completan su ciclo vital antes de la llegada del estrés hídrico y, por lo tanto, el período desfavorable lo pasan en forma de semilla (Hickman, 1970). Una vez que una planta determinada está ya sometida a estrés hídrico debe ser capaz de resistirlo, bien por mecanismos tolerantes o bien por mecanismos evitadores. Sin embargo, como señala Levitt (1972), las plantas han evolucionado hacia el desarrollo de mecanismos que evitan el déficit hídrico, mientras que los mecanismos tolerantes serían un factor que complementaría a los mecanismos anteriores. De esta forma, el desarrollo de mecanismos evitadores eficientes permitiría no solo sobrevivir al estrés sino continuar creciendo y desarrollándose en condiciones de agua limitante.

El Injerto Herbáceo

El injerto es una alternativa que puede ser utilizada como un mecanismo de tolerancia ante el estrés. La variedad a cultivar se injerta sobre una planta resistente, perteneciente a otra variedad, otra especie u otro género de la misma familia (Hartman *et al.*, 2002). El injerto de las plantas herbáceas comenzó en Japón.

La Universidad de Nara publica en 1917 la técnica de púa. En 1923, se describe el injerto de púa oblicua en sandía. En Europa el injerto de hortalizas se utiliza desde 1947 entre los horticultores holandeses en solanáceas y cucurbitáceas. En 1950 se introdujo en Japón el injerto de aproximación en solanáceas. En la actualidad el injerto de hortaliza es una práctica común en Asia, partes de Europa y el Oriente Medio (González, 1999).

Etapas del Injerto

En especies herbáceas se han utilizado varias técnicas de injerto (Honma, 1977; CTIFL, 1985; Lee, 1994; Oda, 1995). La mayoría de ellas coinciden en algunos criterios generales, como realizar el injerto en los primeros estadios de desarrollo de las plantas (cotiledones expandidos o primeras hojas verdaderas), el mantenimiento de las plantas

bajo condiciones controladas de temperatura y humedad ambiental durante el período de formación del callo de unión y la subsiguiente aclimatación de las plantas injertadas a las condiciones ambientales del desarrollo de la planta.

En plantas herbáceas la unión entre porta injerto e injerto se lleva a cabo mediante la formación de un callo de tejido parenquimático. Esta estructura se diferencia luego a tejido cambial, y da origen a xilema y floema. La formación de los tejidos conductores permite la unión entre los haces vasculares de ambos individuos (Camacho y Fernández, 1999). El proceso de unión se debe cumplir en condiciones de alta humedad ambiental para evitar la deshidratación de las plantas, y bajo un rango de temperatura que favorezca la formación del tejido de cicatrización. La temperatura óptima para la producción del callo de unión varía según la especie (Oda, 1995).

Técnicas de Injerto

Las técnicas de injerto se evalúan de manera permanente en países como Japón con el fin de disminuir el tiempo de realización, incluso, se pretende mecanizar dicho proceso (Oda y Nakjima, 1992; Kurata, 1994; Oda *et al.*, 1994). Las técnicas de púa y de corte total son rápidas y simples, y funcionan con éxito en jitomate y berenjena. La técnica de aproximación de lengüetas tiene un prendimiento alto debido a que tanto el patrón como el injerto conservan su sistema radical; sin embargo, esta técnica es laboriosa y de costo elevado (CTIFL, 1985; Oda, 1995; Camacho y Fernández, 1999).

Ventajas del Injerto

El uso del injerto simplifica y acorta los programas de mejoramiento, al reducir el objetivo de éstos a un menor número de caracteres, lo que permite trabajar por separado líneas con características radiculares aptas para porta injertos como un modo de resistencia al déficit hídrico, y líneas aptas para producción de frutos de buena calidad (Oda, 1995). La selección de un porta injerto es casi siempre, con el criterio de resistencia al estrés biótico (plagas y enfermedades) y abiótico (estrés hídrico), este último causado por el medio ambiente. El objetivo primordial del injerto es obtener resistencia. Debido a las ventajas que proporciona el injerto, los objetivos a cumplir se han ido ampliando, entre ellos se cita, el incremento en el vigor de la planta. (Godoy,

2008). El injerto de jitomate sobre patrones tolerantes a condiciones de aridez podría favorecer el desarrollo y la producción en condiciones de poca disponibilidad de agua, como fue documentado (Estan *et al.*, 2005). La práctica del injerto es poco frecuente en los Estados Unidos y en México, y ha habido pocos experimentos para determinar las prácticas óptimas para la producción de injertos en diferentes regiones geográficas y climas. Varias instituciones de investigación han iniciado proyectos para evaluar las ventajas del injerto, así como algunas empresas de semillas están validando el posible efecto que pueda tener el injerto sobre la calidad del producto. Los resultados de dichas investigaciones varían sobre si el injerto es ventajoso o no, pero en general están de acuerdo en que la combinación patrón / variedad debe ser cuidadosamente elegida para una óptima calidad del fruto así como de tolerancia (Estan *et al.*, 2005).

Efecto del Injerto en el Desempeño Fisiológico del Jitomate

Las respuestas metabólicas de las plantas a la deshidratación son diversas y complejas (Nolte *et al.*, 1997). Uno de los procesos fisiológicos más sensibles al déficit de agua es el crecimiento celular, de manera que la sequía reduce la asimilación de nutrientes, la expansión y el área foliar lo que limita la producción de clorofila y otros pigmentos (Parra *et al.*, 1999). La reacción de los tejidos vegetales a los factores ambientales incluye modificaciones en la composición, organización y características físicas de los componentes de las paredes celulares (Gigon *et al.*, 2004).

El crecimiento de las plantas depende en gran medida de un suministro adecuado de N para formar aminoácidos, proteínas, ácidos nucleicos y otros constituyentes celulares necesarios para su desarrollo (Smith *et al.*, 2004). Además de esto se incluye la acumulación de sustancias como la prolina, aminoácido cuya concentración se incrementa notoriamente en condiciones de sequía, en alta o baja temperatura, o por deficiencias nutricionales (Nolte *et al.*, 1997; Parra *et al.*, 1999).

Efecto del Injerto en el Crecimiento y Rendimiento del Cultivo de Jitomate

Se ha demostrado que la tolerancia al déficit hídrico de patrones favorece el vigor del injerto (Pire *et al.*, 2007). Además puede conseguir una mayor producción o un ciclo más largo debido al vigor que confiere el patrón a la planta injertada. Por otra parte el

vigor de la planta injertada puede ser intermedio entre el propio del porta-injerto y el de la variedad (Rogers *et al.*, 1957). El suplemento del vigor que generalmente proporciona el patrón permite utilizar menor número de plantas por unidad de superficie, si están injertadas (Miguel, 1997).

La variedad tiene también influencia sobre el tamaño de la raíz del patrón (Miguel *et al.*, 2006). Las raíces vigorosas del patrón son generalmente capaces de absorber agua y nutrientes más eficazmente que la variedad y proporcionan un buen aporte de hormonas endógenas (Lee, 1994). El flujo de savia procedente de la raíz del patrón contiene altas concentraciones de sustancias orgánicas y fitohormonas tales como giberelinas y citoquininas (Lee, 1994) las cuales son imprescindibles para el crecimiento y diferenciación celular de las plantas respectivamente.

La mayor duración del ciclo de las plantas injertadas, se debe al mejor suministro de agua y minerales (Lee, 1994). Algunos porta-injertos tienen mayor capacidad de extraer agua del suelo en condiciones de déficit hídrico que la planta sin injertar (Weng-JenHsien, 2000). Otros por el contrario, son tolerantes al encharcamiento y pueden mejorar el comportamiento de una variedad más sensible (Liao-Chung-Ta y Lin-ChinHo, 1996). Sin embargo cuando se llega a obtener fruto, las plantas injertadas son más activas en el transporte de savia que las no injertadas (Rivero *et al.*, 2004).

Influencia del Injerto en los Parámetros de Calidad del Jitomate

El uso de injertos es una alternativa que permite complementar las características de resistencia a tensiones ambientales bióticas o abióticas con las características productivas. Se ha demostrado que la tolerancia al déficit hídrico de patrones favorece el vigor del injerto (Pire *et al.*, 2007).

El injerto favorece también la absorción de nutrimentos y contenido mineral en la parte aérea (Ruiz *et al.*, 1996), incrementa la vida de post-cosecha y la calidad de la fruta (Lee y Oda, 2003). La vida post-cosecha se define como el periodo en el cual un producto mantiene un nivel predeterminado de calidad bajo condiciones específicas de almacenamiento (Shewfelt, 1986). Las modificaciones en la calidad de los jitomates pueden ser de naturaleza fisiológica (Mohsenin, 1986), con una apariencia anormal externa (Fluck y Halsey, 1973) o interna (Moretti *et al.*, 1998); y alteraciones en el

metabolismo respiratorio (Galvis, 1987), lo que cambia el sabor y la firmeza (Jackman *et al.*, 1990). Estas alteraciones pueden estudiarse a través de parámetros de calidad como son peso equivalente, sólidos solubles, acidez titulable (equivalente de ácido cítrico), pH, índice de madurez, viscosidad (flujo bostwick) y color (Renquist y Reid, 1998). Otros factores relevantes que influyen en la composición química de las hortalizas son el sistema de producción y el riego, así como el estado de desarrollo de la planta al momento de la cosecha (Kaniszewski, 1982).

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio del Área del Experimental

La investigación se realizó en invernadero en el ciclo de otoño- primavera del año 2012 en el campo experimental de la Facultad de Agronomía y Veterinaria de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí. El sitio se ubica en el km 14.5 de la Carretera 57, tramo San Luis Potosí-Matehuala, en el ejido Palma de la Cruz, Soledad de Graciano Sánchez Romo, San Luis Potosí. Las coordenadas geográficas son 22°14'10'' LN y 100° 14'10'' LO, y la altitud es de 1835 m.

El clima según Köppen y modificado por García (1973) se considera como BSo KW (w) (i'), que equivale a un clima seco estepario frío con temperaturas medianas anuales de 18°C siendo 7.5°C la mínima y 35° la máxima, siendo los meses más calurosos mayo, junio y julio presentando heladas hasta principios de abril. Cuando se presentan lluvias con mayor frecuencia y abundancia es en los meses de mayo y septiembre, con una precipitación anual de 374 mm. La dirección de los vientos varía de Noreste a Sureste que son vientos moderados a débiles del Golfo de México.

Características del Invernadero

Invernadero para producción de plántula de mediana tecnología, cubierto de polietileno tratado contra rayos UV, de un módulo de 8 m. de ancho y largo de 50 m., con una superficie efectiva de 0.65601 m² por planta estructurando a base de un arco galvanizado de 2.50 m de altura, con una altura total en el centro del arco de 4.50 m. Cimentación a base de concreto en la parte central y con cortinas enrollables de 2 m de alto en ventilación lateral, con malla antiáfidos cristal de 40 x 25 en y tutores a base de cable de acero de 1/4" galvanizado 7X1, equipado con calefacción por un calentador de aire de combustión directa de gas, con encendido electrónico y termostato de alta sensibilidad y presión dentro del invernadero. Además cuenta con sensor de temperatura y humedad relativa.

Material Genético

Se realizaron injertos de individuos de la variedades Aníbal F1 y DRK 2189 F1 en la variedad Cuauhtémoc F1 (Harris Moran).

Cuauhtémoc F1: Tomate Saladette indeterminado, con amplia adaptación a diferentes zonas, de frutos extra grandes, ovalados con paredes gruesas de maduración uniforme; destaca por su planta vigorosa, con buena cobertura foliar y entrenudos medianos (Harris Moran).

Anibal F1: Tomate Saladette indeterminado, ideal para zonas con problemas de virus de la cuchara. Además combina un buen paquete de resistencias, altos rendimientos y calidad. Frutos extra-grandes, firmes, de excelente maduración, su forma es de corazón ligeramente alargado (Harris Moran).

DRK 2189 F1: Tomate Saladette indeterminado, precoz, de color rojo intenso, calidad de fruta firme y resistencia a F3. Presenta ramos múltiples en abanico, lo que hace que sea altamente productiva. Fruta ovalada de 100-125 g. Planta vigorosa de hoja oscura y entrenudos intermedios, ideal para ciclo largo (Harris Moran).

Injerto

El injerto se realizó mediante la técnica de injerto en empalme; de acuerdo con dicha técnica, el meristemo apical del patrón se eliminó completamente y se dejaron sólo los cotiledones.

Sustrato

Las plantas injertadas se crecieron en bolsas de polietileno negro de 40 cm de altura con 30 cm de diámetro en una mezcla de suelo agrícola, arena y tezontle en proporción 30%, 30% y 40%.

Sistema de Riego

Las macetas fueron irrigadas diariamente con un sistema de riego manual con una probeta graduada, de acuerdo a cada tratamiento de disponibilidad de humedad en el sustrato. Las plantas injertadas, y los testigos (plantas de la variedad Aníbal F1, DRK 2189 F1 sin injertar) fueron divididas en tres grupos a los que se proporcionó riego para

generar tres condiciones de humedad: capacidad de campo, y 90% y 80% de humedad aprovechable. De acuerdo con el cuadro 1:

Cuadro 1. Láminas de riego para el cultivo de jitomate

Riego	q, emisores (L h ⁻¹)	Lámina de riego (cm)	Volumen requerido por maseta (L)	Tiempo de regado (min)
Humedad aprovechable 100%	2.13	3.20	0.91	3.20
Humedad aprovechable 90%	2.13	2.46	0.70	2.46
Humedad aprovechable 80%	2.13	1.85	0.52	1.84

Solución Nutritiva

Después del trasplante, la nutrición de las plantas se llevó a cabo utilizando la solución nutritiva, esta solución permitió dosificar la nutrición en 4 etapas fenológicas de acuerdo a la demanda del cultivo.

La solución se preparó a base de nitrato de potasio (KNO₃), sulfato de magnesio (MgSO₄), ácido fosfórico (H₃PO₄), sulfato de manganeso (MnSO₄), sulfato de zinc (ZnSO₄), sulfato de cobre (CuSO₄), molibdato de sodio [Na₂(MO₄)] y quelato ácido etilendiaminotetracético de hierro [Fe-EDTA (Fe-330 quelatado)] (Cuadro 2).

Cuadro 2. Solución nutritiva Steiner (1961) formulada para diversos variedades del cultivo de jitomate.

Fertilizantes	Plántula	Floración- Fruto	Primer Corte	Cuarto Corte
Ácido fosfórico	8 ml	16	41 ml	49 ml
Nitrato de potasio	300 g	610	1.52 kg	1.82 kg
Sulfato de magnesio	180 g	370	920 g	1.11kg
Sulfato de potasio	340 g	680	1.70 kg	2.04 kg
Sulfato de manganeso	78 g	156	391 g	469 g
Sulfato de zinc	3 g	5 g	13 g	16 g
Ácido bórico	-	1 g	2 g	2 g
Molibdato de sodio	-	-	1 g	1 g
Sulfato de cobre	-	-	1 g	1 g
Nitrato de calcio	740 g	1.48 kg	3.69 kg	4.43 kg
Quelato de hierro	15 g	31 g	77 g	92 g

Diseño Experimental

El experimento se estableció de acuerdo con un diseño experimental completamente al azar con 8 repeticiones y un arreglo factorial de tratamientos (15). Los tratamientos resultaron de la combinación de los factores siguientes: 1) cinco niveles, injertos de Aníbal F1 sobre Cuauhtémoc F1 y DRK 2189 F1 sobre Cuauhtémoc F1 y cada variedad sin injertar y 2) tres niveles, capacidad de campo, 90% de humedad aprovechable y 80% de humedad aprovechable.

Variables Evaluadas

Etapa 1. Desempeño Fisiológico

Clorofila

La clorofila se estimó por dos métodos.

a) Determinación por análisis espectrofotométrico. Se recolectó un foliolo cuyo tamaño fuera suficiente para obtener una muestra de 100 mg. El foliolo seleccionado tenía la posición cinco en la planta, la cual fue similar para cada una de ellas. El tejido se puso en un mortero y añadieron 10 ml de acetona al 80%. El homogenizado se filtró y se recogió en un tubo de ensayo. El proceso se realizó a temperatura ambiente y en oscuridad. Posteriormente se leyó la absorbancia en 645 y 663 nm con un espectrofotómetro visible GENESYS™ 20, Thermo Scientific. La clorofila a y b así como la total se calculó con base en las siguientes ecuaciones (Wellbum, 1964): Cl_a (mg/g de hoja) = $[(12.7 * A_{663}) - (2.6 * A_{645})] * \text{ml de acetona}] / \text{mg de tejido vegetal}$; Cl_b (mg/g de hoja) = $[(12.7 * A_{645}) - (2.6 * A_{663})] * \text{ml de acetona}] / \text{mg de tejido vegetal.}$; Cl_t = Cl_a + Cl_b.

b) Medición con el medidor de clorofila Minolta-SPAD-502. La intensidad del in situ color verde de las hojas se registró con un medidor de clorofila Minolta-SPAD-502, donde la cantidad de luz captada por la celda es inversamente proporcional a la cantidad de la luz utilizada por la clorofila. La señal es procesada y la absorbancia es cuantificada en valores adimensionales que van de 0 a 199, por lo que las unidades SPAD serán siempre las mismas de acuerdo con el tono verde de las hojas (Krugh, 1994).

Carotenos

La estimación de carotenos totales ($C_x + c$) se hizo por su absorción lumínica con el método espectrofotométrico, aplicando la ley de Lambert y Beer. Los carotenos tienen máximos de absorción entre 400 y 500 nm, con el pico más relevante en 470 nm, en el cual no hay interferencia con otros pigmentos. Conociendo el coeficiente de absorción específico de los carotenoides ($K=198$) se calculó la concentración en mg ml⁻¹, empleando acetona al 80% para la extracción de estos (Wellbum, 1964). Se estimó el valor de carotenos en mg ml⁻¹ de extracto de hojas con la ecuación $C_x + c = (1000 A_{470} - 1.82C_{1a} - 85.02C_{1b})/198$.

Nutrientos N- NO₃ y K⁺

Se midió el contenido de los iones N-NO₃ y K⁺ en el tejido con medidores portátiles de ion selectivo marca Horiba. El extracto vegetal se obtuvo de peciolo totalmente desarrollados, de la quinta hoja debajo del punto de crecimiento. Los peciolo se colectaron entre las ocho y once de la mañana. Las hojas del cultivo de jitomate son compuestas y el peciolo llegó a medir de 10 a 20 cm. Una vez colectadas las hojas, se eliminó la lámina foliar y los peciolo, se cortaron en trozos de aproximadamente medio centímetro de longitud. Estos trozos se introdujeron en el extractor de jugo. Se colocaron de una a tres gotas del extracto vegetal de tal forma que se cubriera el sensor en cada medidor portátil, después se esperaron de 30 a 60 segundos y se registró la lectura de N-NO₃ y K⁺ en ppm.

Etapa 2. Crecimiento y Rendimiento

Altura de la planta

Se evaluó la altura de la planta con cinta métrica de 10 metros, una por semana durante el crecimiento hasta el quinto corte.

Diámetro del tallo

Se evaluó el diámetro del tallo con un vernier, con precisión de 0.1 mm, una vez a la semana durante el crecimiento hasta el quinto corte.

Área foliar

El área foliar se evaluó con la fórmula $AF = 0.34 * (L * A) - 9.31$ (Astegiano *et al.*, 2001), donde AF es el área foliar, y A y L la anchura y longitud máximas de la tercera hoja más joven, respectivamente.

Rendimiento

El rendimiento en racimo por planta por corte (5 cortes) con una balanza de precisión marca Precisa/360 ES series con capacidad para 1,200 – 8,200 g y una precisión de 0.01 gr por lectura directa, convirtiendo posteriormente estos datos a ton ha^{-1} .

Etapas 3. Atributos de Calidad del Fruto

Características físicas

Se evaluó la calidad de los frutos producidos. Los frutos se seleccionaron teniendo en cuenta de manera cualitativa los siguientes criterios: desarrollo del color de la piel 10 R5-/10 (Munsell), limpieza, sin heridas ni magulladuras, sin humedad, sin presencia de ataque de plagas ni enfermedades. Los jitomates se transportaron al laboratorio de Suelo, Agua y Planta de la Facultad de Agronomía y Veterinaria en hieleras de poliestireno expandido y posteriormente se colocaron en un refrigerador.

Longitud y anchura

Se registró la longitud y anchura en mm con un vernier con precisión de 0.1 mm. La longitud y anchura comprenden las medidas del diámetro horizontal o ecuatorial distantes 90° entre sí, considerando como largo la dimensión mayor.

Peso de un fruto

Se determinó el peso con una balanza marca Precisa/ 360 ES series con una precisión de 0.01 gr.

Volumen

El volumen se midió por el método de desplazamiento de agua en una probeta graduada con capacidad de 1000 ml.

Peso específico

El peso específico se estimó mediante la ecuación $\text{peso específico} = \text{peso} / \text{volumen}$. La resistencia a la penetración se obtuvo con un penetrometro de fruta con un intervalo de medición de 0 a 15 Kg cm⁻².

Características bioquímicas

Para la caracterización bioquímica se tomó una muestra de 8 jitomates con madurez homogénea de cada tratamiento. Durante 8 días de almacenamiento se tomaron 15 jitomates diarios (uno por tratamiento) y se midieron las siguientes variables:

Sólidos solubles totales

La variación de sólidos solubles se determinó en forma directa con refractómetro Portátil 0-32° Brix marca Scientific.

pH

La variación del pH se determinó por lectura directa utilizando un potenciómetro de electrodo marca ThermoFisher Scientific, previamente calibrado a temperatura ambiente.

Contenido de ácido cítrico

La variación de acidez se determinó siguiendo el procedimiento descrito por la Association of Agricultural Chemists AOAC para encontrar la acidez titulable en porcentaje de ácido cítrico con la fórmula $\text{Acidez titulable} = V_n (\text{ml}) * N (\text{NaOH}) * 0,064 * 100 / \text{peso de jugo del tomate}$. Se utilizó una mezcla de 40 gr de agua destilada y 10 gr de jugo de tomate, la cual se tituló con hidróxido de sodio 0.1 N con fenoftaleína como indicador hasta el punto final de valoración o pH de neutralización.

Índice de madurez

El índice de madurez se estimó con, la relación sólidos solubles totales/acidez titulable.

Análisis Estadístico

Los datos se analizaron con análisis de varianza para conocer los efectos simples de cada factor y su interacción. Cuando los efectos e interacción fueron significativos se realizaron pruebas de comparación de medias de Tukey, todo con el programa SAS (Statistical Analysis System).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Desempeño Fisiológico

Carotenos

El contenido de carotenos presente en las hojas disminuyó significativamente con la menor disponibilidad de agua, desde 9.2 hasta 6.9 mg ml⁻¹. El efecto del injerto y de las variedades afectó la cantidad de carotenos a un nivel de $p=0.068$, lo que indica diferencia estadística a ese nivel de significación. La interacción de los factores no fue estadísticamente significativa (Cuadro 1). Se menciona que los carotenoides se involucran en la tolerancia de las plantas frente a diversos tipos de estrés como sequía (Gould, 2004). No obstante, la síntesis de pigmentos es sensible a factores del ambiente como la temperatura, el medio en que se desarrolla la planta o la especie (Gross, 1991).

Por otro lado, también se señala que los carotenoides son susceptibles a la destrucción por oxidación (Jaleel *et al.*, 2009). Así, es posible que el déficit hídrico haya promovido la degradación de los carotenoides de manera que no cumplieran con su función antioxidante. Otra posible explicación de la disminución de carotenoides es que la disminución del riego hasta 80% de humedad aprovechable haya disminuído la aportación de nutrimentos y generado deficiencia. Se señala que la deficiencia de algunos nutrimentos influye de manera negativa en la cantidad de pigmentos, como carotenoides y clorofilas (Palacios-Velez y Palacios-Sánchez, 2003).

Clorofila

a) Determinación por análisis espectrofotométrico

La aplicación de riego deficitario en 80 y 90% de la humedad aprovechable produjo disminución en la concentración de concentración de clorofila total en las hojas. En aquellas plantas crecidas a 100% de humedad aprovechable la concentración de clorofila total fue estadísticamente superior a la obtenida en 90% de HA, y la obtenida con 80% de HA presento la menor concentración (Cuadro 3). La absorción por clorofila es principalmente afectada por las transiciones de electrones ente 430 y 460 nm y 640 y 660 nm (Taiz y Zeiger, 2002). Un indicador de la presencia de estrés abiótico en la

planta es la alteración de la composición de pigmentos en hojas, destacando la de clorofilas, carotenoides y algunos compuestos fenólicos como las antocianinas. Los pigmentos más importantes son las clorofilas, puesto que intervienen directamente en el proceso de absorción y conversión de energía luminosa sin el cual no puede llevarse a cabo la fotosíntesis (Nishio, 2000). El contenido de clorofila es uno de los factores más importantes que reflejan la tasa fotosintética (Mao *et al.*, 2007). En cítricos, se ha observado que el estrés abiótico produce una reducción de la concentración de clorofila (Keles *et al.*, 2004; Papadakis *et al.*, 2004; Han *et al.*, 2009), fenómeno que refleja la fuerte presencia de clorosis, uno de los principales síntomas de estrés abiótico en plantas. Además Palacios-Vélez y Palacios-Sánchez, 2003 mencionan que las plantas saludables reflejan más luz verde que plantas enfermas o estresadas.

Cuadro 3. Efecto del injerto y de diferentes niveles de humedad en jitomate (*Lycopersicon esculentum*).

Factor (y nivel estudiado)	Carotenos (mg ml⁻¹)	Clorofila (mg g⁻¹)	SPAD	Nitrato (ppm)	Potasio (ppm)
Variedad					
Aníbal F1/Cuauhtémoc F1	8.3 a	2.6 a	63.3 a	682.9 a	1471.3 a
Cuauhtémoc F1	8.1 a	2.5 a	62.6 a	898.0 a	1544.0 a
DRK2189 F1/Cuauhtémoc F1	8.1 a	2.5 a	63.2 a	851.3 a	1526.7 a
Aníbal F1	7.8 a	2.4 ab	59.9 a	612.0 a	1433.3 a
DRK2189 F1	7.6 a	2.3 b	59.2 a	654.0 a	1320.0 a
Niveles de humedad					
100%	9.2 a	2.9 a	67.3 a	775.0 a	1510.4 a
90%	7.8 b	2.4 a	61.2 b	770.8 a	1508.0 a
80%	6.9 c	2.1 a	56.4 c	673.2 a	1358.0 a
Resultado del análisis de varianza					
Injerto	0.0688	0.0022	0.0279	0.4172	0.6613
Humedad	<.0001	<.0001	<.0001	0.7119	0.3922
Injerto* Humedad	0.5554	0.0815	0.7739	0.5193	0.59

Letras diferentes en las columnas para cada factor en estudio indican diferencia estadística según prueba de Tukey ($\alpha=0.05$).

Por otra parte, las plantas injertadas y no injertadas mostraron diferencias significativas en la concentración de clorofila total, siendo las mejores las variedades injertadas: Anibal F1/ Cuauhtémoc F1 y DRK 2189 F1/Cuauhtémoc F1 respectivamente. Esto puede deberse a que porta-injertos normalmente utilizados en tomate, funcionan mejor que las de estas mismas especies sin injertar (Lee, 1994 y Ai-XiZhen *et al.*, 1999). Y que el contenido de clorofila de las hojas jóvenes es mayor en plantas injertadas (Miguel, 1997).

La interacción injerto-humedad aprovechable a fue estadísticamente significativa en la variable de concentración de clorofila total con un valor de $p = 0.81$. La interacción indica modificación en el patrón de respuesta de las variedades injertadas y sin injertar al factor de estrés abiótico. Así, Las dos variedades injertadas sobre Cuauhtémoc presentaron un decrecimiento de clorofila total menos drástico que las variedades Anibal F1 y DRK 2189 F1 a partir del 90% de HA. La prueba de comparación de medias señala que los tratamientos Anibal F1/Cuauhtémoc F1/100 % de HA y DRK 2189 F1/Cuauhtémoc F1/100% de HA fueron los mejores, estos seguidos por Cuauhtémoc F1/100% de HA (Figura 1).

Además los tratamientos con niveles de HA de 80% tanto en las variedades injertadas y sin injertar fueron estadísticamente iguales a excepción de la variedad DRK 2189 F1, siendo este tratamiento el que obtuvo menor concentración de clorofila total.

La reducción en el contenido en clorofilas puede ser considerada como una respuesta de las plantas al estrés (Tenga *et al.*, 1989). Esta reducción de la clorofila puede perjudicar el proceso fotosintético. El crecimiento de las plantas depende de la actividad fotosintética, la cual además puede verse afectada por los injertos. Se ha sugerido que la restricción del área foliar podría resultar de la inhibición de la fotosíntesis, lo cual disminuye la disponibilidad de foto asimilados para el crecimiento de la hoja. Esto ha sido observado en plantas de sandía no injertadas comparadas con plantas injertadas en la parte radicular de calabaza, las cuales muestran una mayor producción de la parte aérea (Colla *et al.*, 2010). Además Yetisir *et al.* (2007) observaron que plantas injertadas de melón presentan un mayor número de hojas en comparación con las plantas sin injertar y por ende un mayor contenido de clorofila total.

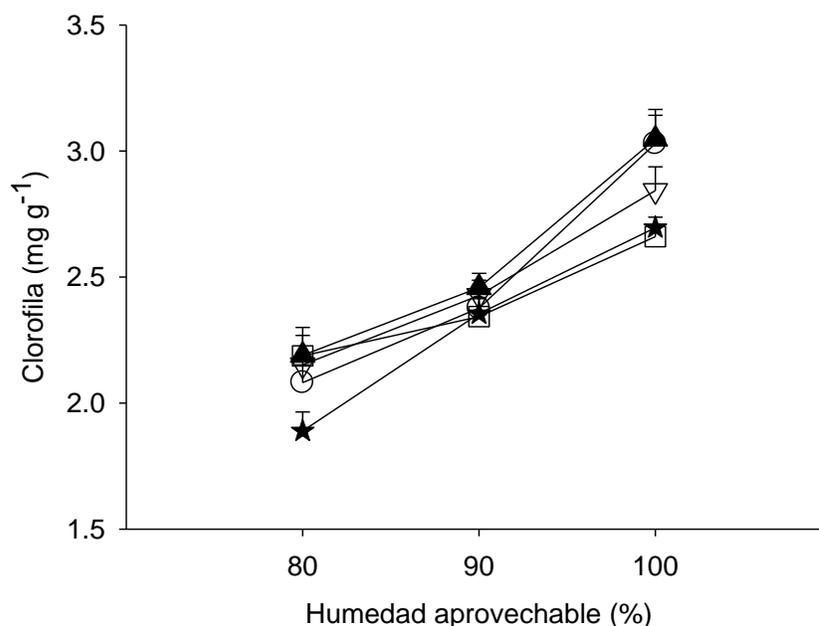


Figura 1. Efecto del porcentaje de humedad aprovechable sobre el contenido de clorofila total en plantas injertadas [Anibal F1/Cuauhtémoc F1 (▲) y DRK 2189 F1/Cuauhtémoc F1 (○)] y sin injertar [Anibal F1 (□), Cuauhtémoc F1 (▽) y DRK 2189 F1 (★)] de jitomate (*Lycopersicon esculentum*). (n=8, las barras verticales representan un error estándar).

b) Determinación de clorofila con medidor SPAD

La prueba de comparación de medias (Tukey $\alpha = 0.05$) indicó que la concentración de clorofila total en hojas fue estadísticamente mayor en las plantas con mayor suministro de agua (100% HA), mientras que aquellas a las que se les suministro menor cantidad de agua o tuvieron un mayor déficit hídrico (90 y 80% H.A) obtuvieron una concentración de clorofila total estadísticamente menor. Lo anterior se atribuye a que plantas con menor contenido de agua en su tejido foliar presentan también una menor presencia de clorofila (Curran *et al.*, 2001). Al respecto, Cho y Skidmore (2006) indican que las bajas reflectancias de los cultivos saludables o sin ningún tipo de estrés, observadas en la región visible del espectro electromagnético, obedecen principalmente a la intensa absorción de la molécula de clorofila (Brizuela-Amador, 2007; Terashima *et al.*, 2009).

La concentración de clorofila total en hojas de las plantas injertadas y sin injertar fue estadísticamente similar (Cuadro 3). Además no existió una interacción significativa

entre los factores humedad e injerto para esta variable. Esto a pesar de que en la determinación de clorofila total por espectrofotometría si hubo diferencia significativa e interacción entre los dos factores evaluados. Tal diferencia probablemente sea debido al uso de diferentes instrumentos y metodologías de mayor precisión para la determinación de clorofila, como la espectrofotometría.

Nitratos (N-NO₃) y potasio (K⁺)

La concentración de N-NO₃ y de K⁺ en extracto celular de pecíolos fluctuó entre 898 y 612 ppm y entre 1320 y 1544 ppm, respectivamente entre las variedades injertadas y sin injertar. En los tratamientos con niveles de humedad aprovechable de 100, 90 y 80% la concentración de N-NO₃ y de K⁺ fue 775, 770.8 y 663.2 y 1510.4, 1508 y 1358 ppm, respectivamente. En ambos casos no hubo diferencia significativa debida a los factores estudiados, así como tampoco interacción significativa de los factores injerto y humedad aprovechable. Lo anterior muestra que las cantidades de N-NO₃ y de K⁺ en el peciolo de las hojas estuvieron más relacionadas con la cantidad de nitrógeno y potasio en la solución nutritiva (igual en todos los tratamientos) suministrada, que con el injerto y los niveles de humedad dados a cada uno de los tratamientos.

Kim-SungEun y Lee (1999) y Santa-Cruz *et al.*, (2001) mencionan que el contenido en la savia del xilema de iones minerales especialmente NO₃ y K es mayor en plantas injertadas. Sin embargo, los resultados de este estudio difieren de lo que señalan dichos autores. Es probable que las pequeñas variaciones que se observaron en la concentración de nitratos y potasio en las hojas de las plantas puedan deberse a condiciones como el ambiente en que se desarrollaron las plantas como: la humedad, la de temperatura, la intensidad y duración luminosa, ya que son factores que modifican la composición del extracto celular (Maschner, 1995). Por su parte Hochmuth (1994) encontró en tomate a campo abierto, concentraciones de N- NO₃ de 1000 a 1200 ppm en etapa previa a la floración y de 400 a 600 ppm en etapa de crecimiento. Lo que concuerda con nuestros resultados.

Las evidencias indican que el potasio se encuentra en forma iónica como K⁺ por lo que es sumamente móvil y es el catión más abundante en la savia del floema, llegando a constituir hasta el 80 % de la suma de cationes (Mengel y Kirkby, 1980). Jasso y

Martínez (2006), mencionan que el contenido en ppm de K^+ varía de acuerdo a la etapa fenológica del cultivo. Según estos autores, la concentración de K^+ fue 3600 ppm en la etapa vegetativa e inicio de floración y 3500 ppm en frutos al 30%. Las cantidades encontradas en este estudio coinciden en relación a la mayor proporción de potasio respecto a la de nitrógeno durante la etapa de fructificación.

Etapa 2. Crecimiento y Rendimiento

El crecimiento de las variedades DRK 2189 F1 y Aníbal F1 injertadas sobre Cuauhtémoc F1 fue mejor que sus testigos sin injertar. El área foliar de Aníbal F1 injertado fue mayor que sin injertar. El diámetro en DRK 2189 F1 injertada fue superior a su testigo. Las variedades DRK 2189 F1 y Aníbal F1 presentaron mayor altura cuando crecieron injertadas. En dos variables de crecimiento medidas el patrón presentó el mejor desempeño, igual que las variedades injertadas (Cuadro 4).

Los resultados de este estudio evidencian que el crecimiento y el rendimiento mejoran con el injerto. Esto coincide con lo que señalan Lee y Oda (2003) quienes proponen que el aumento en estas variables se debe al vigor que provee el porta injerto. Las plantas injertadas sobre porta-injertos vigorosos tienen un incremento en el área foliar, área foliar específica, longitud del tallo, diámetro del tallo y biomasa (Asao *et al.*, 1999; Chung y Choi, 2002; Godoy *et al.*, 2009). De acuerdo con lo anterior, se infiere que el patrón utilizado en este experimento transmitió sus características sobresalientes a las variedades injertadas sobre él.

Cuadro 4. Efecto del injerto y de diferentes niveles de humedad en altura de planta y rendimiento de jitomate (*Lycopersicon esculentum*).

Factor (y nivel estudiado)	Altura de Planta (cm)	Rendimiento (Ton ha⁻¹)
Variedad		
Aníbal F1/Cuauhtémoc F1	204.6 a	37.1 a
Cuauhtémoc F1	190.0 ab	36.3 ab
DRK2189 F1/Cuauhtémoc F1	189.0 ab	35.7 abc
Aníbal F1	171.7 b	34.9 bc
DRK2189 F1	168.4 b	34.2 c
Niveles de humedad		
100%	195.9 a	38.7 a
90%	184.9 ab	35.5 b
80%	173.4 b	32.7 c
Resultado del análisis de varianza		
Injerto	<.0001	0.0012
Humedad	0.0016	<.0001
Injerto* Humedad	0.1102	0.9776

Letras diferentes en las columnas para cada factor en estudio indican diferencia estadística según prueba de Tukey ($\alpha=0.05$).

El crecimiento disminuyó significativamente con el descenso del agua disponible en el sustrato. El área foliar y el diámetro del tallo fueron variables menos sensibles, sus valores fueron estadísticamente similares en 90 y 100% de la humedad aprovechable en el sustrato y decayeron significativamente con la reducción de 90 a 80% de la humedad aprovechable (Cuadro 5). La altura y el rendimiento disminuyeron pero con un patrón distinto. La altura resulto similar ($p>0.05$) en 100 y 90% y entre 90 y 80%, y sólo fue diferente significativamente en 100 y 80%. Sin embargo, el rendimiento decayó significativamente y de manera directamente proporcional con la disminución de la humedad aprovechable (Cuadro 4).

Cuadro 5. Efecto del injerto y de diferentes niveles de humedad en el área foliar y diámetro basal de tallo así como en su velocidad de crecimiento en tomate (*Lycopersicon esculentum*).

Factor (y nivel estudiado)	Área foliar (cm ²)	Tasa media de expansión foliar (cm ² semana ⁻¹)	Diámetro basal de tallo (cm)	Tasa media de crecimiento del diámetro (cm semana ⁻¹)
Variedad				
Aníbal F1/Cuauhtémoc F1	633.0 a	42.2 a	1.00 a	0.043 a
Cuauhtémoc F1	613.8 b	40.9 b	0.99 a	0.044 a
DRK2189 F1/Cuauhtémoc F1	610.1 b	40.7 b	0.98 ab	0.042 ab
Aníbal F1	599.6 b	39.9 b	0.94 b	0.04 b
DRK2189 F1	597.9 b	40.0 b	0.89 c	0.038 c
Niveles de humedad				
100%	625.4 a	41.7 a	1.02 a	0.044 a
90%	614.9 a	40.9 a	0.95 a	0.041 b
80%	593.2 b	39.5 b	0.91 b	0.04 c
Resultado del análisis de varianza				
Injerto	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
Humedad	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
Injerto* Humedad	0.7119	0.7178	0.0715	0.0715

Letras diferentes en las columnas para cada factor en estudio indican diferencia estadística según prueba de Tukey ($\alpha=0.05$).

La disminución del crecimiento observada se debe al estrés causado por la disponibilidad limitada de agua. Este resultado puede explicarse por el abatimiento del potencial de agua tisular necesario para el crecimiento celular (Castellanos, 2009).

Las mejores características de rendimiento de fruto, se observaron en las variedades injertadas y en Cuauhtémoc F1 (Figura 2). Dielman y Heuvelink (2005) mencionan un incremento en rendimiento de 5 a 15 % por efecto de injertar tomate. Lo anterior con un buen manejo y adecuada compatibilidad entre el porta-injerto y la variedad, en el caso de ciclos largos. El incremento en el rendimiento se debe a que los porta-injertos son capaces de absorber eficientemente agua y nutrimentos debido a que funcionan como las raíces de la variedad sin injertar, además sirven como proveedoras de hormonas endógenas (Kim *et al.*, 2009).

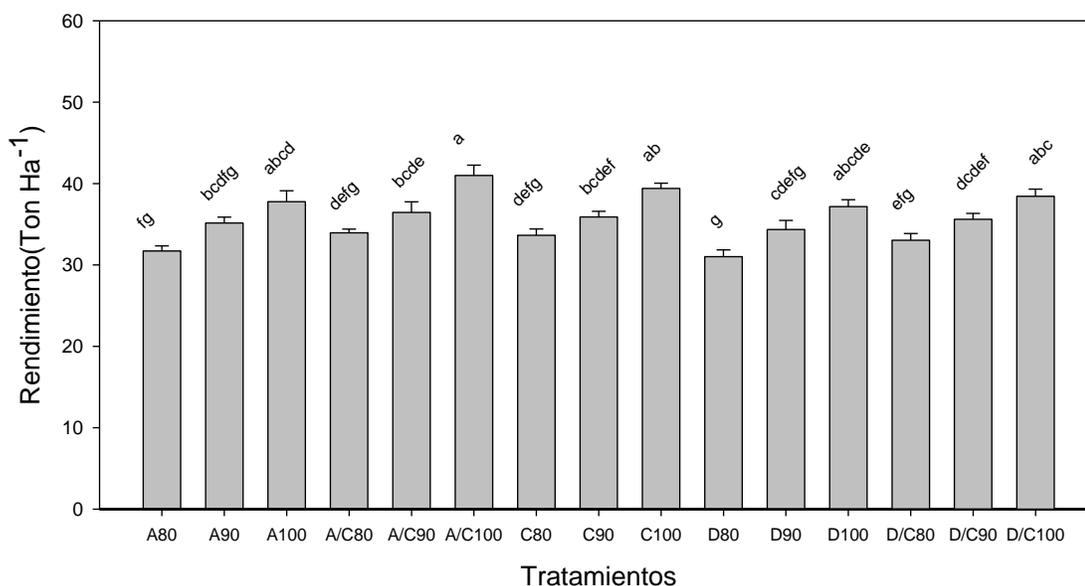


Figura 2. Rendimiento ($t\ ha^{-1}$) (en 5 cortes) de jitomate (*Lycopersicon esculentum*) de las variedades Anibal F1 y DRK 2189 F1 injertadas sobre Cuauhtémoc F1 (A/C y D/C, respectivamente) y plantas de las variedades Aníbal F1, DRK 2189 F1 y Cuauhtémoc F1 sin injertar (A, D y C, respectivamente), dependientes de la humedad aprovechable 100, 90 y 80%. Cada barra representa el promedio por tratamiento y el símbolo de desviación corresponde al error estándar. $n=8$, las letras representan el resultado de la prueba de Tukey con $\alpha=0.05$).

El rendimiento está fuertemente correlacionado a un buen vigor de la planta (Lee, 1994; Lee, 2003), así como con la fortaleza de la nueva planta para tolerar ciclos largos de producción sin el detrimento que normalmente ocurre en el rendimiento de la planta no injertada. Esto indica que el uso del porta-injerto favoreció de manera notable a las variedades injertadas, lo que promovió el aumento de rendimiento registrado.

La interacción de los factores injerto y humedad aprovechable fue estadísticamente significativa sobre las variables crecimiento del diámetro basal de tallo y sobre la Tasa media de crecimiento del diámetro del tallo (Cuadro 5). Las plantas de la variedad Cuauhtémoc F1 sin injertar y las de Aníbal F1 injertadas sobre la primera presentaron los mayores ($p<0.05$) valores de diámetro basal y crecimiento de diámetro con 100% de humedad aprovechable (Figuras 3 y 4). Tanto en las plantas injertadas como en aquellas

sin injertar el diámetro y la velocidad de crecimiento del mismo decayeron con la reducción de la humedad aprovechable; sin embargo, en la variedad Cuauhtémoc F1 sin injertar y en la de Anibal F1 injertada sobre Cuauhtémoc F1 tal disminución mostró una tendencia a ser menor a partir de 90% de humedad aprovechable. Por su parte, la tasa de crecimiento del diámetro y el diámetro de la planta tendieron a decaer en una proporción mayor en función de la disminución de la humedad aprovechable (Figuras 3 y 4).

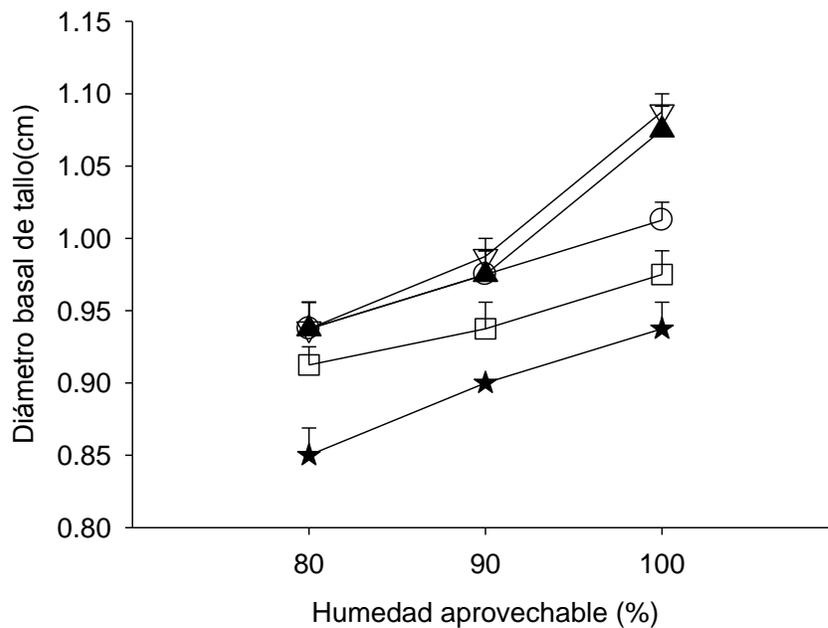


Fig. 2. Efecto de tres niveles de humedad aprovechable sobre el crecimiento del diámetro basal del tallo de plantas injertadas y sin injertar de jitomate (*Lycopersicon esculentum*). Anibal F1/Cuauhtémoc F1 (▲), DRK 2189 F1/Cuauhtémoc F1 (○), Anibal F1 (◻), Cuauhtémoc F1 (▽) y DRK 2189 F1 (★). (n=8, las barras verticales representan un error estándar).

Los tratamientos injertados con niveles de humedad aprovechable de 90 y 80 % fueron estadísticamente iguales. Mientras que en las variedades sin injertar con los mismos niveles de humedad aprovechable hubo un decremento del diámetro respecto a la restricción hídrica propiciada. Las plantas de la variedad DRK 2189 F1 crecidas con 80 y 90% de humedad aprovechable fueron los tratamientos con menor crecimiento del diámetro basal del tallo (Figura 4).

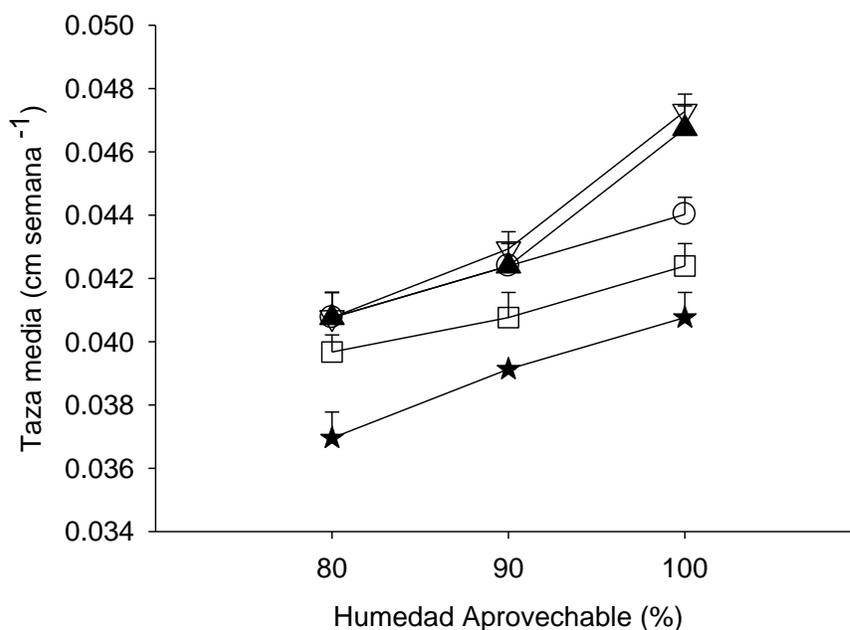


Fig. 3. Efecto de tres niveles de humedad aprovechable sobre el la tasa media de crecimiento del diámetro basal del tallo de plantas injertadas [Anibal F1/Cuauhtémoc F1 (▲) y DRK 2189 F1/Cuauhtémoc F1 (○)] y sin injertar [Anibal F1 (◻), Cuauhtémoc F1 (▽) y DRK 2189 F1 (★)] de jitomate (*Lycopersicon esculentum*). (n=8, las barras verticales representan un error estándar).

La tendencia del crecimiento del diámetro de la planta registrada en el injerto de Aníbal F1/Cuauhtémoc F1 y de Cuauhtémoc F1 sin injertar puede ser debido a que el desarrollo de una adecuada estructura del sistema radicular se ha relacionado con una mejora en el crecimiento (Bletsos, 2005). Yetisir *et al.* (2007) observó que plantas injertadas de melón presentan un mayor número de hojas y peso seco en comparación con las plantas sin injertar. Por otro lado, el crecimiento de las plantas depende a su vez de la actividad fotosintética, la cual puede verse afectada por los injertos. De hecho, los resultados obtenidos en plantas de calabacín y de tomate injertadas sugieren que la parte aérea tiene efecto en la función estomática, produciendo una elevada tasa de fijación de CO₂ y una menor resistencia estomática que las plantas no injertadas (Rouphael *et al.*, 2008; He *et al.*, 2009).

Más recientemente se ha sugerido que la restricción del área foliar podría resultar de la inhibición de la fotosíntesis, lo cual disminuye la disponibilidad de foto asimilados para el crecimiento de la hoja. Esto ha sido observado en plantas de sandía no injertadas comparadas con plantas injertadas en la parte radicular de calabaza, las cuales muestran una mayor producción de la parte aérea (Colla *et al.*, 2010). Otra hipótesis que se ha postulado es que algunas señales originadas en la raíz debido al injerto, como ABA y citoquininas, pueden proteger la fotosíntesis en las hojas de la parte aérea (Etahadnia *et al.*, 2008).

Las hormonas de las plantas son importantes factores endógenos que regulan todos los aspectos del desarrollo vegetativo y reproductivo, y juegan un papel fundamental en la comunicación raíz-parte aérea. De acuerdo con este concepto, las auxinas son producidas en los ápices de los brotes y son translocadas a la raíz, donde afectan a su desarrollo, morfología y funcionalidad (Aloni *et al.*, 2010). Asimismo, las auxinas también afectan a la producción y actividad de las citoquininas, las cuales son producidas en la raíz y translocadas a la parte aérea donde controlan importantes procesos del desarrollo como el crecimiento y la productividad (Jones, 1986; Albacete *et al.* 2008). Bangerth (1994) demostró que existe un bucle de realimentación en el que una disminución en el flujo de auxinas del tallo estimula la síntesis y la exportación de citoquininas de la raíz. Por todo ello, la realización de injertos podría tener efectos en el balance hormonal de la planta, afectando a procesos importantes del desarrollo.

Sorce *et al.* (2002) han demostrado en melocotón, que las plantas no injertadas presentaban un balance equilibrado auxinas/citoquininas, mientras que en las plantas injertadas este balance se alteraba. Por lo tanto, las propiedades vigorizantes de la parte radicular inducen una alta tasa de crecimiento en la parte aérea, posiblemente debido a un incremento del suministro de citoquininas a la parte aérea y un descenso de auxinas. Van Hooijdonk *et al.* (2010) han mostrado que las partes radiculares con diferente vigor pueden modificar la arquitectura de la parte aérea tras el injerto.

Etapa 3. Calidad del Fruto

Características físicas del fruto

Los mejores características de fruto de observaron en las variedades injertadas y en la variedad usada con porta-injerto sin injertar, Cuauhtémoc F1. El peso unitario y el volumen del fruto tendieron a aumentar debido al injerto. La variedad Aníbal F1 injertada sobre Cuauhtémoc F1 y Cuauhtémoc F1 presentaron valores estadísticamente mayores en estas variables que su testigo sin injertar. Las variedades DRK2189 F1 y Aníbal no presentaron diferencia significativa de su peso específico ni longitud de fruto cuando crecieron injertadas. Las variedades DRK2189 F1 y Aníbal F1 presentaron mayor ($p < 0.05$) diámetro cuando crecieron injertadas (Cuadro 6).

Cuadro 6. Efecto del injerto y de diferentes niveles de humedad de las características físicas en tomate (*Lycopersicon esculentum*).

Factor (y nivel) estudiado	Peso unitario (g)	Volumen (ml)	Peso específico (g ml ⁻¹)	Longitud (mm)	Diámetro (mm)	Firmeza (N)
Variedad						
Aníbal F1/Cuauhtémoc F1	109.8 a	108.7 a	1.0 a	71.2 a	50.0 a	11.7 a
Cuauhtémoc F1	103.3 ab	103.6 ab	1.0 a	71.2 a	48.7 ab	10.7 a
DRK2189 F1/Cuauhtémoc F1	100.7 abc	100.7 abc	1.0 a	69.3 a	49.2 ab	11.5 a
Aníbal F1	92.1 bc	90.4 bc	1.0 a	68.8 a	47.37 bc	15.2 a
DRK2189 F1	89.1 c	89.8 c	0.9 a	67.3 a	46.12 c	10.4 a
Niveles de humedad						
100%	119.8 a	119.2 a	1.0 a	75.4 a	51.5 a	11.3 a
90%	97.6 b	98.2 b	1.0 a	69.5 b	47.9 b	11.1 a
80%	79.6 c	78.5 c	0.9 a	63.7 c	45.4 c	13.3 a
Resultado del análisis de varianza						
Injerto	0.0003	0.0003	0.8199	0.2958	0.0001	0.5462
Humedad	< .0001	< .0001	0.4296	< .0001	< .0001	0.6197
Injerto* Humedad	0.8926	0.9414	0.9162	0.7899	0.1718	0.5515

Letras diferentes en las columnas para cada factor en estudio indican diferencia estadística según la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$).

El uso del injerto mejora la absorción de agua y nutrientes, extiende la duración del tiempo de cosecha (Lee 1994) y mejora la calidad de los frutos (Fernández-García *et al.*, 2004; Colla *et al.*, 2006). Miguel (1997) menciona que el tamaño del fruto injertado sobre patrones vigorosos aumenta de manera notable. En el caso de los frutos de tomate, el tamaño y la calidad del mismo están genéticamente condicionados por la variedad (Fernández *et al.*, 2004). Cuando se llega a obtener fruto, las plantas injertadas son más activas en el transporte de savia que las no injertadas (Rivero *et al.*, 2004). El flujo de savia procedente de la raíz del patrón contiene altas concentraciones de sustancias orgánicas y fitohormonas, tales como giberelinas y citoquininas (Lee., 1994).

Edelstein (2004) y Lee (1994, 2003) señalan que existe una modificación del estado de las hormonas endógenas de la planta dado por el patrón y que ha indicado que este desempeña un papel importante en la promoción del crecimiento de frutos de hortalizas injertadas. En un estudio de tomates injertados en invernadero, la variedad 'FL-47', injertada en la variedad patrón "Maxifort" mostró un aumento global del número y tamaño de fruta en comparación con la variedad "FL-47" sin injertar (Ozores-Hampton *et al.*, 2010). Considerando los antecedentes citados y los resultados de esta investigación, se puede decir que los frutos de las plantas injertadas fueron afectados positivamente por el porta-injerto utilizado, en este caso la variedad Cuauhtémoc F1.

Los diferentes niveles de humedad aprovechable del 100, 90 y 80% produjeron efectos estadísticamente significativos para las variables de peso unitario, volumen, longitud y diámetro del fruto. En estas variables, el 100% de humedad aprovechable generó valores significativamente mayores que con 90 y 80%, a la vez, el 90% de humedad aprovechable generó valores significativamente mayores que con 80%. El peso específico y la firmeza fueron excepción de lo anterior, y no fueron afectados significativamente por la disponibilidad de humedad proporcionada a las plantas (Cuadro 6).

El crecimiento de los frutos y de la planta misma es uno de los procesos fisiológicos más sensibles al estrés hídrico debido a la reducción de la presión de turgor. La expansión celular sólo ocurre cuando la presión de turgor es mayor que el umbral de producción de pared celular (Shao *et al.*, 2008). El estrés hídrico suprime la expansión y crecimiento celular debido a la baja presión de turgor, ya que bajo este tipo de estrés se

reduce el contenido hídrico y el potencial de agua total (Karthikeyan *et al.*, 2007). La reducción del crecimiento bajo condiciones de estrés hídrico ha sido bien caracterizada en plantas, tales como: pimiento (Delfine *et al.*., 2002), papa (Ierna y Mauromicale, 2006) y tomate (Park *et al.*, 2005). Además la disminución del crecimiento puede ser considerada como un mecanismo para preservar carbohidratos para el metabolismo, prolongando el suministro de energía, y así permitir una mejor recuperación tras el periodo de estrés hídrico (Bartels y Sunkar, 2005). Por lo anteriormente expuesto se puede decir que los frutos de las planta sometidas a déficit hídrico fueron afectadas proporcionalmente por estrés ejercido sobre ellas.

El peso específico y la firmeza fueron variables no afectadas significativamente por los factores de humedad y de injerto. En ambas variables tampoco se encontró una interacción significativa de los dos factores. El peso específico nos indica la diferencia de los parámetros de peso y volumen (Castellanos, 2009). Los atributos de calidad, como la firmeza, mejoran por el injerto (Khah *et al.*, 2006). Sin embargo, en este trabajo le injerto no cambió el peso específico ni la firmeza de los frutos. Es probable que se deba a que el porta-injerto no poseía tales características, y por lo tanto no se inducirían a los injertos.

Características bioquímicas del fruto

El injerto produjo efectos estadísticamente similares en los sólidos solubles totales, pH, ácido cítrico e índice de madurez de los frutos de jitomate. En contraste, los diversos niveles de humedad aprovechable (100, 90 y 80%) modificaron significativamente el índice de madurez y el contenido de ácido cítrico. Los frutos con mayor índice de madurez se cosecharon en aquellas plantas con niveles de humedad del 90% y 80% (Cuadro 7).

Cuadro 7. Efecto del injerto y de diferentes niveles de humedad sobre características bioquímicas de frutos de jitomate (*Lycopersicon esculentum*).

Factor (y nivel) estudiado	Sólidos solubles (Brix)	pH	Ácido cítrico (%)	Índice de madurez
Variedad				
Aníbal F1/Cuauhtémoc F1	5.1 a	4.2 a	0.5 a	10.7 a
Cuauhtémoc F1	5.2 a	4.2 a	0.4 a	11.3 a
DRK2189 F1/Cuauhtémoc F1	5.2 a	4.1 a	0.5 a	9.9 a
Aníbal F1	5.2 a	4.3 a	0.4 a	11.4 a
DRK2189 F1	5.3 a	4.2 a	0.5 a	10.5 a
Niveles de humedad				
100%	5.2 a	4.2 a	0.5 a	11.5 b
90%	5.2 a	4.2 a	0.5 ab	11.0 ab
80%	5.2 a	4.2 a	0.4 b	9.9 a
Resultado del análisis de varianza				
Injerto	0.3752	0.2061	0.1366	0.1684
Humedad	0.9195	0.4051	0.0247	0.0169
Injerto* Humedad	0.6855	0.4269	0.2352	0.1936

Letras diferentes en las columnas para cada factor en estudio indican diferencia estadística según prueba de Tukey ($\alpha=0.05$).

Los ácidos pueden ser considerados como una reserva energética más del fruto de tomate, por lo cual es probable que su contenido decline en el periodo de actividad metabólica máxima durante el curso de la maduración (Wills *et al.*, 1998). Se puede decir que las plantas que se mantuvieron en un estrés hídrico de 90 y 80% de humedad aprovechable, fueron afectadas debido a que la cantidad de ácido cítrico del fruto se redujo con la falta de agua en el periodo de mayor actividad metabólica, incrementándose así la madurez de los frutos.

Los factores en estudio, de forma simple o combinada, no afectaron significativamente la cantidad de sólidos solubles totales y pH en los frutos. Lo anterior, a pesar que se señala que el contenido de sólidos solubles de frutos de tomate es un

parámetro que presenta variación en función del cultivar (Nuez, 1995; Pérez-Alfocea *et al.*, 1997; González *et al.*, 2004). Por otro lado, se indica que conforme decrecen los ácidos orgánicos el pH aumenta en una forma inversa (Rezende *et al.*, 2000). El contenido de ácido cítrico de los frutos evaluados en esta investigación tendió a disminuir con el decremento de la humedad aprovechable. Sin embargo, no se asoció con un cambio de acidez (Cuadro 7). Es probable que el método de estimación de pH sea poco sensible a las variaciones de acidez detectadas como concentración de ácido por titulación.

CONCLUSIONES

El injerto herbáceo es una alternativa que disminuye o atenúa el estrés hídrico en jitomate.

El injerto herbáceo mejoro el desempeño fisiológico del jitomate, bajo condiciones de estrés hídrico, favoreciendo características de las plantas tales como el contenido de clorofila.

El injerto herbáceo favoreció el crecimiento (área foliar, diámetro basal de tallo y altura) y rendimiento del jitomate, bajo condiciones de estrés hídrico. Esto podría relacionarse también con una mayor cantidad biomasa de estas plantas bajo las condiciones de estrés.

La técnica del injerto usando al cultivar Cuauhtémoc F1 como porta-injerto es una herramienta útil y efectiva para mejorar parámetros físicos de calidad como peso, volumen y diámetro del fruto en jitomate.

La mejor combinación entre cultivares fue entre las variedades Cuauhtémoc F1 y Anibal F1, siendo esta sobresaliente en parámetros fisiológicos, de crecimiento, rendimiento y calidad, bajo condiciones de estrés hídrico.

El índice de madurez fue mayor en los frutos con restricción hídrica, lo que nos presenta una referencia útil, para la aceleración de cosecha de los frutos. Con el injerto se obtuvieron parámetros óptimos, lo que esto podría resultar una ventaja de mercadeo al poder ofrecer antes al consumidor.

LITERATURA CITADA

- Acevedo, E. Resistance to abiotic stresses. En: plant breeding: Principles and Prospect. London: Chapman y Hall, 2003, p.406-418.
- Ackerly, D., Knight C., Weiss S., Barton K., y Starmer K. 2002. Leaf size, specific leaf area and microhabitat distribution of chaparral woody plants: contrasting patterns in species level and community level analyses. *Ecología* Vol. 130. pp. 449 - 457
- Ai X-Z., Yu X-C., Wang S-H., and Xing Y-X. 1999. Changes of some substances of grafted and own root cucumber seedlings under low temperature stress. *Plant physiology-communications*. Vol.35(1):26-28.
- Albacete A., Ghanem M.E., Martínez A.C., Acosta M., Sánchez B.J., Martínez V., Lutts S., Dodd I.C., and Pérez A.F. 2008. Hormonal changes in relation to biomass partitioning and shoot growth impairment in salinized tomato. *Journal of Experimental Botany*. Vol. 59:4119-4131.
- Aloni B., Cohen R., Karni L., Aktas H., and Edelstein M. 2010. Hormonal signaling in rootstock-scion interactions. *Scientia Horticulturae*. Vol. 127:119-126
- Asao, T., Shimizu, N., Ohta K., and Hosoki T. 1999. Effect of rootstocks on the extension of harvest period of cucumber (*Cucumis sativus* L.) grown in no-renewal hydroponics. *J. Jpn. Soc. Hort. Sci.* 68:598-602.
- Association of Official Analytical Chemist (A.O.A.C). 1998. Official Methods of Analysis. 16th edition. AOAC. International. Gaithersburg, MD. EE.UU.
- Astegiano E.D., Favaro J.C. y Bouzo C.A. 2001. Estimación del área foliar en distintos cultivares de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) utilizando medidas foliares lineales. *Invest. Agr.: Prod. Prot. Veg.* Vol.16 (2).
- Avendaño, C. H., Trejo, C., López, C., Molina, J. D., Santacruz, A., y Castillo F. 2005. Comparación de la tolerancia a la sequía de cuatro variedades de maíz y su relación con la acumulación Zea mays de prolina. *Interciencia*. Vol. 30(9): 560-564.
- Azcón-Bieto, J., y Talón, M. (2008) Fundamentos de Fisiología Vegetal Capítulo 29: Fisiología las plantas y el estrés (2 ed.) Interamericana-McGraw-Hill. Madrid. pp. 577 y 597
- Aziz A., Martín T.J. y Larher F. 1999. Salt stress-induced proline accumulation and changes in tyramine and polyamine levels are linked to ionic adjustment in tomato leaf discs. *Plant Science*. Vol. 145: 83-91
- Bangerth F. 1994. Response of cytokinin concentration in the xylem exudates of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) plants to decapitation and auxin treatment, and relationship to apical dominance. *Planta*. Vol. 194:439-442
- Bartels D, y Sunkar R. 2005. Drought and salt tolerance in plants. *Critical Reviews in Plant Sciences* Vol.24:3-58.

- Bletsos F.A. 2005. Use of grafting and calcium cyanamide as alternatives to methyl bromide soil fumigation and their effects on growth, yield, quality and fusarium wilt control in melon. *Journal of Phytopathology*. Vol. 153:155- 161
- Brizuela A. B., Alcántar G. G., Sánchez G., Kalra P. Y., Crumbaugh J., Olive C., Tijerina C. L., y Maldonado T. R. 2007. Establecimiento de índices espectrales en el diagnóstico nutrimental de N en maíz. *Agrociencia*. Vol. 41: 827-835.
- Brugière, N.; Dubois, F.; Limami, A.M.; Lelandais, M.; Roux, R. S.; Sangwan, B.; Hirel. 1999. Glutamine synthetase in the phloem plays a major role in controlling proline production. *Plant Cell*. Vol. 11:1995-2011.
- Camacho, F., y Fernández E. 1999. Influencia de patrones utilizados en el cultivo de sandía bajo plástico sobre la producción, precocidad y calidad del fruto en Almería. Disponible en:
- Campos G.H. 2007. Efecto del secado parcial de la raíz, en el crecimiento, intercambio de gases y rendimiento del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.).
- Castellanos, J.Z. 2009. Manual de producción de tomate en invernadero. Editorial: Intagri. pp. 418-424.
- Cho M. A. and A. K. Skidmore. 2006. A new technique for extracting the red edge position from hyperspectral data: The linear extrapolation method. *Remote Sensing of Environment*. Vol. 101:181-193.
- Chung, H. D. and Choi Y. J. 2002. Growth on varying soil EC and selection of salt-tolerant rootstock of tomato (*Lycopersicon* spp.) *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* Vol. 43:536-544.
- Claussen, W. 2005. Proline as a measure of stress in tomato plants. *Plant Science*. Vol. 168: 241- 248.
- Colla G., Roupael Y., Cardarelli M.T., Salerno A., Rea E. 2010. The effectiveness of grafting to improve alkalinity tolerance in watermelon. *Environmental and Experimental Botany* 68, 283-291
- CTIFL. 1985. Melon. Marche et techniques de production. Centre Technique Interprofessionnel des Fruits et Légumes (CTIFL), París, France. p.269
- Curran P. J., Dungan J. L., and Peterson D. L. 2001. Estimating the foliar biochemical concentration of leaves with reflectance spectrometry: Testing the Kokaly and Clark Methodologies. *Remote Sensing of Environment*. Vol. 76:349-359.
- Delfine S., Tognetti R., Loreto F., Alvino A. 2002. Physiological and growth responses to water stress in field-grown bell pepper (*Capsicum annuum* L.) *Journal of Horticultural Science & Biotechnology*. Vol. 77:697-704.
- Dieleman, A. y Heuvelink E. 2005. Gebruik van onderstammen bij vruchtgroenten. *Plant Res. Inter. Nota* 367:1-37.
- Edelstein M., Ben-Hur M., Cohen R., Burger Y., and Ravina I. 2005. Boron and salinity effects on grafted and non-grafted melon plants. *Plant and Soil*. Vol. 269: 273-284.

- Estan, M.T., Martinez-Rodrigues M.M., Perez-Alfoce F., Flowers T.J., and Bolarin M.C. 2005. Grafting raises the salt tolerance of tomato through limiting the transport of sodium and chloride to the shoot. *J. Experimental Botany*, 56(412) : 703-712.
- Etehadnia M., Waterer D., De Jong H., and Tanino K.K. 2008. Scion and rootstock effects on ABA-mediated plant growth regulation and salt tolerance of acclimated and unacclimated potato genotypes. *Journal of Plant Growth*. Vol.27:125-140.
- Fereres E. 1987. Responses to water deficits in relation to breeding for drought resistance. En: *Drought Tolerance in winter cereals*. JP Srivastava, E Porceddu, E Acevedo, S Varma (eds). John Wiley. pp 263-274.
- Fernández G. N., Carvajal M., and Olmos E. 2004. Graft union formation in tomato plants. Peroxidase and catalase involvement. *Annals of Botany*. Vol. 93. pp. 53-60
- Fernández G. N., Martínez V., Cerdá A., and Carvajal M. 2004 Fruit quality of grafted tomato plants grown under saline conditions. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*. Vol. 79: 995-1001.
- Fernández R, E. J., Camacho, F., y Ricárdez S. M. 2004. El Cultivo Del Tomate. In: *Tomates: Producción y Cultivo*. A. Namesny (Ed.). Ediciones de horticultura, S. L. Barcelona, España. pp. 22-45.
- Fluck, R.C., y Halsey L.H. 1973. Impact forces and tomato bruising. *Florida Agricultural Experiment Station Journal Series*. Vol. 5109: 239-242.
- Galvis, V.J.A. 1987. Fisiología pós-colheita de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivar Ângela. Tesis de maestría. Unicamp, FEA, Campinas (Brasil). p. 123.
- García, E., 1973. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. Segunda edición, UNAM, México D.F. 246 p.
- Gigon, G; Matos A. R., Laffray D., Zuily F.Y., Pham T-A-T. 2004. Effect of drought stress on lipid metabolism in the leaves of *Arabidopsis thaliana* (Ecotype Columbia). *Annals of Botany*. Vol. 94: 345-351.
- Godoy H. 2008. Efecto del injerto y nutrición de tomate sobre rendimiento, materia seca y extracción de nutrimentos. *Terra Latinoamericana México*. D.F. pp. 27:1-11.
- González J. 1999. El injerto en hortalizas. España: Ed. Horticultura. p.140.
- Gould K.S. 2004. Nature's Swiss army knife: the diverse protective roles of anthocyanins in leaves. *Journal of Biomedicine and Biotechnology*. Vol. 5: 314-320.
- Gross, J. 1991. *Pigments in vegetables: chlorophylls and carotenoids*. Van Nostrand Reinhold, New York.
- Han S., Tang N., Jiang H-X., Yang L-T., Li Y., and Chen L-S. 2009. CO₂ assimilation, photosystem II photochemistry, carbohydrate metabolism and antioxidant system of citrus leaves in response to boron stress. *Plant Science*. Vol. 176: 143-153.

- Hartman, H. 2002. Plant propagation principles and practices. 7th. Ed. Prentice Hall New York, NJ, USA. pp 411-460.
- He Y., Zhu Z.J., Yang J., Ni X.L., and Zhu B. 2009. Grafting increases the salt tolerance of tomato by improvement of photosynthesis and enhancement of antioxidant enzymes activity. *Environmental and Experimental Botany*. Vol.66:270-278.
- Hickman, J. C. 1970. Seasonal course of xylem sap tension. *Ecology* 51: 1052-1056.
- Honma, S. 1977. Grafting eggplants. *Scientia Horticulturae* 7: 207-211
- Hsiao, T. C. 1973. Plant responses to water stress. *Ann. Rev. Pl. Physiol.* 24:519-570.
[http://www.larural.es/sernagro/sta/publicaciones/sandia/publ9708_homepage.htm]
Conectado el 11/sept./1999.
- Ierna A., Mauromicale G. 2006. Physiological and growth response to moderate water deficit of off-season potatoes in a Mediterranean environment. *Agricultural Water Management*. Vol. 82: 193-209.
- Jackman, R.L., Marangoni, A.G., y Stanley, D.W. 1990 Measurement of tomato fruit firmness. *HortScience* Vol. 25: 781-783.
- Jaleel C.A., Riadh K., Gopi R., Manivannan P., Inés J., Al-Juburi HJ., Chang-Xing Z., Hong-Bo S., Panneerselvam R. 2009. Antioxidant defense responses: physiological plasticity in higher plants under abiotic constraints. *Acta Physiologiae Plantarum* 31, 427-436
- Jasso C. C. y Martínez G. M. A. 2006. Diagnostico nutrimental para ajustar dosis de fertilizantes en chile y jitomate con fetirriego. INIFAP.
- Jones O.P. 1986. Endogenous growth regulators and rootstock/scion interactions in apple and cherry trees. *Acta Horticulturae* Vol.179:177-184.
- Kaniszewski, S. 1982. Influence of irrigation and nitrogen fertilization on the yield and plants nutrient status of leek. *Biul. Warzywn.* Vol. 26: 95-106.
- Karthikeyan B., Jaleel C.A., Gopi R., Deiveekasundaram M. 2007. Alterations in seedling vigour and antioxidant enzyme activities in *Catharanthus roseus* under seed priming with native diazotrophs. *Journal of Zhejiang University-Science B*. Vol. 8: 453-457.
- Keles Y., Öncel I., and Yenice N. 2004. Relationship between boron content and antioxidant compounds in Citrus leaves taken from fields with different water source. *Plant and Soil*. Vol. 265: 345-353.
- Khah E.M., Kakava E., Mavromatis A., Chachalis D., and Goulas C. 2006. Effect of grafting on growth and yield of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) in greenhouse and open-field. *J. Applied Hort.* Vol.8: 3-7.
- Kim S.E., Jung K.W., and Lee J.M. 1999. Contents of mineral elements and cytokinins in xylem sap of two oriental melon cultivars affected by rootstocks. *Korean Journal of Horticultural Science and Technology*. Vol. 17(6):742-746. Abs

- Koca H., Bor M., Özdemir F., y Türkan İ. 2007. The effect of salt stress on lipid peroxidation, antioxidative enzymes and proline content of sesame cultivars. *Env. Exp. Bot.* Vol. 60: 344-351.
- Kramer, P. J. y J. S. Boyer. 1995. *Water relations of plants and soils.* Academic Press, San Diego.
- Krugh B. L., Bichham y Miles D. 1994. The solid-state chlorophyll meter, a novel instrument for rapidly and accurately determining the chlorophyll concentrations in seedling leaves. *Maize genetics cooperation News Letter.* Vol. 68:25-27.
- Kurata, K. 1994. Cultivation of grafted vegetables II. Development of grafting robots in Japan. *HortScience* 29: 240-244.
- Lambers, H., F. S. Chapin III y T. L. Pons. 1998. *Plant physiological ecology.* Springer Verlag, York PA.
- Lawlor, D. W. 1979. Effects of water and heat stress on carbon metabolism of plantas with C₃ and C₄ photosynthesis. In: Mussel, H. y R. C. Staples (eds.), *Stress Physiology in Crop Plantas.* John Wiley & Sons, U.S.A. pp. 303-326.
- Lee, J. M. 1994. Cultivation of Grafted Vegetables I. Current Status, Grafting Methods and Benefits. *Hort. Sci.* Vol. 29(4).
- Lee, J. M. and Oda M. 2003. Grafting of herbaceous vegetable and ornamental crops. *Hort. Rev.* Vol. 28: 61-124.
- Levitt J. 1972. *Responses of plants to environmental stress.* Academic Press, New York.
- Liao C.T., and Lin C.H. 1996. Photosynthesis responses of grafted bitter melon seedlings to flood stress. *Environmental and Experimental Botany.* Vol. 36(2):167-172.
- Mao L.Z., Lu H.F., Wang Q., and Cai M.M. 2007. Comparative photosynthesis characteristics of *Calycanthus chinensis* and *Chimonanthus praecos*. *Photosynthetica.* Vol. 45: 601-605.
- Mengel K. and Kirkby E.A. 1980. Potassium in crop production. *Adv. Agron.* Vol. 33: 59-110.
- Miguel. A. 1997. *Injerto de hortalizas.* Ed. Generalitat Valenciana. Conselleria de Agricultura, Pesca y Alimentación.
- Mohsenin, N.N. 1986. *Physical properties of plant and animal materials.* Gordon and Breach Science Publishers, Nueva York. p.841.
- Moretti C.L., Sargent S.A., Huber D.J., Galbo A.G., and Puschmann, R. 1998. Chemical composition and physical properties of pericarp, locule, and placental tissues of tomatoes with internal bruising. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* Vol.123: 656-600.
- Morgan J.M. 1984. Osmoregulation and water stress in higher plants. *Ann Rev Plant Physiol.* 35: 299-319.
- Nilsen, E. T. y D. M. Orcutt. 1996. *Physiology of plants under stress.* John Wiley & Sons, Inc, New York.

- Nishio J-N. 2000. Why are higher plants green? Evolution of the higher plant photosynthetic pigment complement. *Plant Cell and Environment*. Vol.23: 539-548.
- Nolte, H. D., Hanson A. D., and Gage D. A. 1997. Proline accumulation and methylation to proline betaine in Citrus: Implications for genetic engineering of stress resistance. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* Vol. 122: 8-13.
- Nuez, F. 1995. El cultivo del tomate. Ed. Mundi Prensa. Madrid, España. p. 793.
- Oda, M. 1995. New grafting methods for fruits bearing vegetables in Japan. *Japan Agricultural Research Quarterly* 29: 187-194.
- Oda, M., and T. Nakjima. 1992. Adhesive grafting of chinese cabbage on turnip. *HortScience* 27: 1136.
- Oda, M., M. Nagaoka, T. Mori, and M. Sei. 1994. Simultaneous grafting of young tomato plants using grafting plates. *Scientia Horticulturae* 58: 259-264.
- Ozores H. M., Ortez M., y Zhao X. 2010. Documento, HS1187, Departamento de Horticultural Sciences, Instituto de Alimentos y Ciencias Agrícolas, Universidad de la Florida. (UF/IUFAS).
- Palacios V. E. y Palacios S.J.E. 2003. Introducción a los sensores remotos y a los sistemas de información geográfica (Agricultura Asistida por Sensores Remotos). Colegio de Postgraduados. Hidrociencias. Montecillo, Texcoco, Edo. de México.
- Paleg, L. G. and D. Aspinall (Eds.). 1981. *The Physiology and Biochemistry of Drought Resistance in Plantas*. Academic Press, Sydney
- Papadakis I.E., Dimassi K.N., Bosabalidis A.M., Therios I.N., Patakas A., Giannakoula A. 2004. Boron toxicity in 'Clementine' mandarin plants on two rootstocks. *Plant Science*. Vol. 166: 539-547.
- Park S, Li J, Pittman JK, Berkowitz GA, Yang H, Undurraga S, Morris J, Hirschi KD, Gaxiola RA (2005) Up-regulation of a H⁺ pyrophosphatase (H⁺-PPase) as a strategy to engineer drought-resistant crop plants. *Proceeding of the National Academy of Sciences* 102, 18830-18835
- Parra, R., Rodríguez J. L., y González V. A. 1999. Transpiración, potencial hídrico y prolina en zarzamora bajo déficit hídrico. *Terra Latinoamericana*. Vol. 17: 125-130.
- Pérez-Alfocea, F.; Balibrea, E.; Bolarín, M. C.; Cuartero, J. 1997. Efecto de la salinidad sobre el rendimiento y la calidad del fruto en *Lycopersicon esculentum*, L. *pimpinellifolium* y en sus híbridos interespecíficos. *Acta Horti*. 2: 243-248.
- Pire, R., Pereira A., Díez, J., and Fereres, E. 2007. Drought tolerance assessment of a venezuelan grape rootstock and possible conditioning mechanisms. *Agrociencia* 41: 435-446.
- Prásil I., and Zámečník J. 1990. Time course of electrolyte leakage from various samples killed by frost, liquid nitrogen or boiling. *Biology Plantarum*. Vol. 32: 77- 80.

- Prásil I., and Zámečník J. 1998. The use of a conductivity measurement method for accessing freezing injury. Influence of leakage time, segment number, size and shape in a sample on evaluation of the degree of injury. *Environmental and Experimental Botany*. Vol. 40: 1-10.
- Rahman, S. M. L., E. Nawata and T. Sakuratani. 1999. Effect of water stress on growth, yield and eco-physiological responses of four tomato (*Lycopersicum esculentum* Mill.) cultivars. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 68(3):499-504.
- Renquist, R.A. y Reid, J.B. 1998. Quality of processing tomato (*Lycopersicon esculentum*) fruit from four bloom dates in relation to optimal harvest timing. *New Zeal. J. Crop Hort. Sci.* Vol. 26: 161-168.
- Resh, H.M. 2004. *Cultivos Hidropónicos*. Tercera edición. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 369 p.
- Reyes S.M.I. 2002. Anatomía del sistema de conducción de agua y respuesta fisiológica de aguacatero (*Persea americana* Mill.) en condiciones limitantes de humedad. Tesis Doctoral. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México. pp. 4.
- Rezende, F. P. C., Arruda, S. R., and Luiz, F.F. 2000. Fruit size, mineral composition and quality of trickle-irrigated tomatoes as affected by potassium rates. *Pesq. Agropec. Bras.* Vol. 35: 21-25.
- Rivero, R.M.; Ruiz, J.M. y Romero. L. 2004. Iron metabolism in tomato and water melon plants: influence of grafting. *Journal of Plants Nutrition* Vol. 27(12):2.221-2.234.
- Rodríguez, R. Tavares, R. y Medina. 2001. *Cultivo Moderno del Tomate 2ª*. Ed. Ediciones Mundi-Prensa. España. p.255
- Rogers. W.S y Breakbane, B. 1957. Stock and scion relations. *Ann. Rev. Plant. Phys.* Vol. 8.
- Rouphael Y., Cardarelli M., Reab E., and Colla G. 2008. Grafting cucumber as a means to minimize copper toxicity. *Environmental and Experimental Botany*. Vol. 63:49-58.
- Ruiz J., Belakbir M.A., and Romero L. 1996. Foliar level of phosphorus as its bioindicators in *Cucumis melo* grafted plants. A possible effect of rootstock. *J. Plant Physiol.* Vol.149: 400-404.
- Sanchez D.M.F. y Kramer P.J. 1971. Behaviour of corn and sorghum under water stress and during recovery. *Plant Physiol.* Vol. 48:613-616.
- Sanchez E., López L.L.R., Carlos G. P., Rivero R.M., Ruiz J.M., and Romero L. 2001. Proline metabolism in response to highest nitrogen dosages in green bean plants (*Phaseolus vulgaris* L. cv Strike). *J. Plant Physiol.* Vol. 158: 593-598.
- Sanchez R.E. 2013. Efecto de la técnica agrícola del injerto en las respuestas fisiológicas de resistencia ante un estrés hídrico moderado en plantas de tomate cherry. Editorial de la Universidad de Granada.

- Santa Cruz A., Martinez M.M., Bolarin M.C., Cuartero J., Fernandez J.A. 2001. Response of plant yield and leaf ion contents to salinity in grafted tomato plants. *Acta Hort.* Vol. 559: 413-417.
- Shao H.B., Chu L., Jaleel C.A., and Zhao C.X. 2008. Water-deficit stress-induced anatomical changes in higher plants. *Comptes Rendus Biologies* Vol.331:215-225.
- Shewfelt R. L. 1992. Response of plant membrane to chilling and freezing. In: *Plant membrane*. Leshem, Y. Y., R. L. Shewfelt, C. M. Wilcomer; O. Pantoja (eds.). Kluwer, London. pp. 192- 219.
- Shewfelt, R.L. 1986. Postharvest treatment for extending the shelf life of fruits and vegetables. *Food Tech.* Vol. 40:70-80.
- SIACON 2009. Sistema de Información Agropecuaria de Consulta. En: www.siea.sagarpa.gob.mx/sistemas/siacon/SIACON.html (consulta enero 10, 2010).
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2009. Avances de siembras y de cosechas. Año agrícola. Riego + temporal. Disponible en Web: http://reportes.siap.gob.mx/aagricola_siap/icultivo/index.jsp (consulta: 6 de julio de 2009).
- Smith, M. W., Cheary B., and Carroll B. 2004. Response of Pecan to Nitrogen rate and Nitrogen Application Time. *HortScience*. Vol. 39(6):1412-1415.
- Srinivasa Rao, N. K. and R. M. Bhatt. 1992. Response of tomato to moisture stress: Plant water balance and yield. *Pl. Physiol. Biochem.* 19:36-41.
- Srinivasa Rao, N. K., R. M. Bhatt and A.T. Sadashiva. 2000. Tolerance to water stress in tomato cultivars. *Photosynthetica* 38:465-467.
- Steiner, A.A. 1961. A universal method for preparing nutrient solutions of a certain desired composition. *Plant Soil* 15: 134-154.
- Taiz L., and Zeiger E. 2002. *Plant physiology*. The Benjamin/Cummings Publishing Company, CA, USA. p.565
- Tajdoost S., Farboodnia T., and Heidari R. 2007. Salt pretreatment enhance salt tolerance in *Zea mays* L. seedlings. *Pakistan Journal of Biological mays Sciences*. Vol. 10 (12): 2086-2090.
- Tapia G.J. J., Ferrera C. R., Varela F.L., Rodríguez O. J. C., Soria C. J. C., Tiscareño I. M. Á. Infectividad y efectividad de hongos micorrízicos arbusculares nativos de suelos salinos en el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa*). *Rev. Mex. Mic [revista en la Internet]*. [citado 2011 Oct 18].
- Terashima I., Fujita T. Inoue T., Soon C.W., and Oguchi R. 2009. Green Light Drives Leaf Photosynthesis More Efficiently than Red Light in Strong White Light: Revisiting the Enigmatic Question of Why Leaves are Green. *Plant Cell Physiol.* Vol.50: 648-669.
- Turner, N. C. y P. J. Kramer (eds.).1980. *Adaptation of Plants to Water and High Temperature Stress*. John Wiley & Sons, U.S.A.

- Van Hooijdonk B.M., Woolley D.J., Warrington I.J., and Tustin D.S. 2010. Initial alteration of scion architecture by dwarfing apple rootstocks may involve shoot-root-shoot signaling by auxin, gibberellins and cytokinin. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*. Vol. 85:59-65.
- Waister, P. D. and J. P. Hudson 1970. Effects of soil moisture regimes on leaf water deficit, transpiration and yield of tomatoes. *Hort. Sci.* 45:359-370
- Wang H, Inukai Y, Yamauchi A (2006) Root development and nutrient uptake.
- Wellburn A.R. 1964. The spectral determination of chlorophylls a and b, as well as total carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolution. *Journal of Plant Physiology*. Vol. 144: 307-313.
- Weng J-H. 2000. The role of active and passive water uptake in maintaining leaf water status and photosynthesis in tomato under water deficit. *Plant Production Science*. Vol. 3(3):296-298 Abs.
- Wills R., McGlasson B., Grahamy D., and Joyce D. 1998. *Postharvest: An introduction to the physiology and handling of fruits, vegetables and ornamentals*. 4th edition. CAB International, New York, EE.UU.
- Yetisir H., Kurt F., Sari N., and Tok F.M. 2007. Rootstock potential of Turkish *Lagenaria siceraria* germplasm for watermelon: plant growth, graft compatibility, and resistance to *Fusarium*. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*. Vol. 31:381-388.