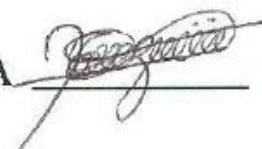


TESIS CON CARACTER ABIERTO

PROGRAMA: MAESTRÍA EN CIENCIAS EN AGROPLASTICULTURA

AUTOR: ENRIQUE ALONSO ZUÑIGA FIRMA



TITULO: Estimación de las variaciones del diámetro de tallo como un indicador del estado hídrico en los cultivos de tomate (Lycopersicon esculentum Mill) y vid (Vitis vinífera).

ASESOR: Dr. Juan P. Munguía López FIRMA:



El Centro de Investigación en Química Aplicada clasifica el presente documento de tesis como ABIERTO.

Un documento clasificado como Abierto se expone en los estantes del Centro de Información para su consulta. Dicho documento no puede ser copiado en ninguna modalidad sin autorización por escrito del Titular del Centro de Información o del Director General del CIQA.

Saltillo, Coahuila, a 26 de Febrero de 2015



Sello de la Institución



Dr. Oliverio Santiago Rodríguez Fernández
Director General del CIQA

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN QUÍMICA APLICADA



PROGRAMA DE POSGRADO EN AGROPLASTICULTURA

TESIS

“Estimación de las variaciones del diámetro de tallo como un indicador del estado hídrico en los cultivos de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) y vid (*Vitis vinífera*).

Presentada por:

Enrique Alonso Zúñiga

Para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN AGROPLASTICULTURA

Saltillo, Coahuila, México.

Febrero del 2015

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN QUÍMICA APLICADA
Programa de Maestría en Ciencias en Agroplasticultura

TESIS

Estimación de las variaciones del diámetro de tallo como un indicador del estado hídrico en los cultivos de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) y vid (*Vitis vinifera*)

Presentada por:

ENRIQUE ALONSO ZUÑIGA

Para obtener el grado de:

Maestro en Ciencias en Agroplasticultura

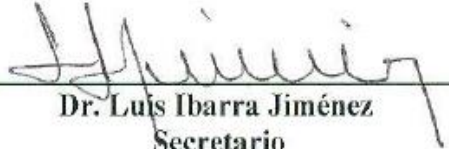
Asesorado por:

Dr. Juan P. Munguía López


SINODALES



Dr. Ricardo Hugo Lira Saldivar
Presidente



Dr. Luis Ibarra Jiménez
Secretario

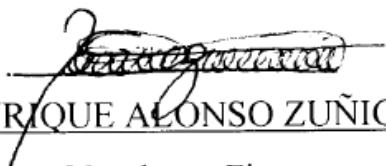


M.C. Jairo Vázquez Lee
Vocal

DECLARACIÓN

Declaro que la información contenida en la Parte Experimental así como en la Parte de Resultados y Discusiones de este documento y que forman parte de las actividades de investigación y desarrollo realizadas durante el período que se me asignó para llevar a cabo mi trabajo de tesis, será propiedad del Centro de Investigación en Química Aplicada.

Saltillo, Coahuila a 26 de febrero de 2015


ENRIQUE ALONSO ZUÑIGA
Nombre y Firma

AGRADECIMIENTOS

A ti, Señor Dios, por permitir culminar una meta más en mi vida profesional y sobre todo por iluminar mi camino para lograr dar con firmeza cada paso y evitar tropezar.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el gran apoyo económico para poder llevar a cabo mis estudios y así obtener mí grado de Maestría en Ciencias en Agroplasticultura.

Al Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA) por permitir ser parte de sus alumnos con espíritu profesional y ánimos de superación. Agradezco principalmente al Dr. Oliverio Rodríguez Fernández, María del Rosario Bustos Martínez, Leticia Rodríguez González, M.C. Gladys de los Santos Villarreal, Imelda Vargas García y Nancy Guadalupe Espinosa Pinales por el apoyo que siempre me han brindado.

Al Departamento de Plásticos en la Agricultura; especialmente a los Maestros y Doctores que en su momento transmitieron sus conocimientos hacia mí para lograr mi formación como Maestro en Ciencias en Agroplasticultura.

Al Dr. Juan. P. Munguía López por su amistad, apoyo y valiosa dirección en el presente trabajo de tesis al compartir su experiencia y conocimientos científicos, mismos que han permitido mejorar mi nivel y desempeño personal profesional.

Al Dr. Ricardo Hugo Lira Saldívar por su amistad, apoyo y por sus acertadas sugerencias, así también por el tiempo que brindó para dar un buen terminó al presente trabajo, por la atención y comprensión muchas gracias.

Al Dr. Luis Ibarra Jiménez por su amistad, apoyo, comprensión y por sus buenas sugerencias, así mismo por el tiempo dedicado para dar fin a este trabajo de investigación y por toda la atención muchas gracias.

Al M.C. Jairo Vázquez Lee por el apoyo en las actividades durante la conducción del experimento, amistad, compañerismo y por el tiempo dedicado para dar punto final al presente trabajo de investigación, muchas gracias.

Al Dr. Marco Castillo Campohermoso por su apoyo moral y por animarme para salir al exterior del país y conocer nuevas opciones y formas de trabajo en lo profesional, gracias.

Al Dr. Fernando Broetto, Investigador Científico Dpto. de Química y Bioquímica, IBB-UNESP, Botucatu, Sao Paulo; Brasil por recibirme para realizar mi estancia de investigación, por todo el apoyo y sobre todo por su amistad y confianza, mil gracias.

A todas y cada una de las personas que intervinieron para que este trabajo se llevara a cabo de la mejor manera, gracias...

DEDICATORIA

A Dios, por permitir mi existencia y llevarme por el camino correcto, darme las fuerzas y valentía para poder realizar este trabajo de investigación y así lograr una más de mis metas como profesionalista.

A mis padres, a quienes debo lo que ahora soy, por lo más grande que me han dado, “la vida”...

A ti papá, por la amistad, confianza, cariño y apoyo incondicional, pero sobre todo por el ejemplo y enseñanzas para caminar por la vida con rectitud, mil gracias...

A ti mamá, por la amistad, cariño, humildad y por tus acertados consejos que son mi base estando cerca o lejos, pero sobre todo por tu amor y cuidados hacia mí en todo momento y por ser una mujer excepcional, mil gracias...

A mis hermanos, Ramira, Toño, Lala, Beto y Licha por su amistad, apoyo incondicional y sobre todo por confiar en mí, muchas gracias...

A todos mis sobrinos (as) por su amistad, apoyo y alegrías que hemos compartido juntos, gracias...

A mi esposa y amiga M.C. Lucy R. M. por el apoyo e impulso para seguir preparándome profesionalmente, pero sobre todo por el amor y todos los momentos maravillosos que has compartido conmigo, mil gracias...

A mis suegros por la confianza y apoyo que siempre me han brindado, muchas gracias...

A mis cuñados (as) por la amistad y cariño que siempre han demostrado, gracias...

Al M.C. Adolfo Baylon Palomino por el apoyo, aporte de conocimientos para realizar parte del presente trabajo y por su amistad, gracias.

Al M.C. Eduardo Alfonso Treviño López, M.C. Federico Cerda Ramírez e Ing. Felipe Hernández Castillo, quienes forman parte del Depto. De Agrolásticos a los cuales reconozco el valioso apoyo brindado durante mi estancia en CIQA y sobre todo por su amistad, muchas gracias.

A mis compadres, Ing. Beatriz Adriana Cruz Gómez y M.C. Jorge Obet Velasco Torres por la amistad y aprecio que siempre ha existido.

A mis amigos Dr. Carlos Gallardo e Ing. J. Carlos Méndez Pérez por el aprecio, confianza y apoyo que siempre me han brindado, gracias.

Así mismo a mis compañeros de generación de la Maestría, especialmente a Adriana Cruz, Gorgonio López, Gerardo Ramos, Raymundo Cabrera y Eliazar Carrera por los momentos que convivimos y por su amistad, gracias.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
AGRADECIMIENTOS	i
DEDICATORIA	iii
ÍNDICE GENERAL	v
ÍNDICE DE CUADROS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	x
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	3
Objetivo general	3
Objetivos específicos	3
HIPÓTESIS	3
III. REVISIÓN DE LITERATURA	4
3.1 El agua en México	4
3.2 Generalidades del cultivo de vid	4
3.2.1 Descripción botánica	4
3.3 Factores importantes para el desarrollo del cultivo de vid	5
3.3.1 Temperatura	5
3.3.2 Radiación	6
3.3.3 Humedad relativa	6
3.4 Importancia económica	6
3.5 Producción de vid mediante técnicas de plasticultura	7
3.5.1 Sistema de producción mediante acolchado de suelos	7
3.6 Aplicación de algas marinas en la agricultura	8
3.7 Generalidades del cultivo de tomate	9
3.7.1 Descripción botánica	9
3.8 Factores importantes para el desarrollo del cultivo de tomate	11
3.8.1 Radiación	11
3.8.2 Humedad relativa	11
3.8.3 Temperatura	11
3.9. Importancia económica	11
3.10 Métodos basados en el monitoreo del estado hídrico del suelo	12

3.10.1 Método gravimétrico	12
3.10.2 Bloques de yeso (Watermark)	13
3.10.3 Reflectometría de dominio temporal (TDR)	13
3.10.4 Sonda de neutrones.....	13
3.11 Programación de riego en base a medidas discontinuas en la planta	14
3.11.1 Potencial hídrico.....	14
3.11.2 Conductancia estomática.....	15
3.11.3 Crecimiento vegetativo	15
3.12 Programación de riego en base a medidas continuas en la planta.....	15
3.12.1 Flujo de savia	15
3.12.2 Sensor transductor de desplazamiento variable lineal (LVDT)	16
3.12.3 Oscilaciones del diámetro del tallo	16
3.12.4 Principio del funcionamiento de un sensor LVDT.....	17
3.12.5 Elaboración de las líneas de referencia a partir de valores de la MCD	18
3.13 Condiciones ambientales que ocasionan estrés en los cultivos	19
3.13.1 Déficit hídrico	19
3.13.2 Temperatura	20
3.13.3 Salinidad.....	20
3.14 Trabajos de investigación con el uso de dendrómetros en cultivos frutícolas y hortícolas...	21
IV. DESARROLLO EXPERIMENTAL.....	23
MATERIALES Y MÉTODOS.....	23
Experimento I - Cultivo: Vid.....	23
4.1 Localización geográfica del sitio experimental.....	23
4.2 Características climatológicas del sitio experimental.....	23
4.3 Material vegetal.....	23
4.4 Diseño experimental.....	24
4.5 Variables evaluadas.....	24
4.5.1 Medición del potencial del agua en el xilema en plantas de vid	24
4.5.2 Aplicación de riego y medición del contenido volumétrico de agua en el suelo	24
4.5.3 Determinación de las variaciones de diámetro del tallo.....	25
4.5.4 Calidad interna	25
4.6 Rendimiento	27

4.6.1 Número total de racimos	27
4.6.2 Peso total de racimos.....	27
4.6.3 Rendimiento total	27
Experimento II – Cultivo: Tomate	27
4.7 Localización	27
4.8 Características climatológicas	27
4.9 Establecimiento del experimento	28
4.9.1 Material vegetal.....	28
4.9.2 Siembra	28
4.9.3 Trasplante	28
4.10 Diseño experimental.....	28
4.11 Variables evaluadas.....	29
4.11.1 Medición del potencial del agua en el xilema en plantas de tomate.....	29
4.11.2 Evaluación del riego en las estaciones verano-otoño y otoño-invierno en los años 2013 y 2014 respectivamente	29
4.11.3 Estimación del drenaje en las estaciones del año 2013-2014 en verano-otoño y otoño-invierno	29
4.11.4 Consumo de agua en el cultivo de tomate en base al riego y drenaje de los años 2013 y 2014.....	30
4.11.5 Determinación de las variaciones de diámetro del tallo en plantas de tomate	30
4.11.6 Calidad interna	30
4.12 Evaporación en el interior del invernadero durante el experimento del cultivo de tomate ...	31
4.13 Actividad fotosintética de la planta de tomate bajo condiciones de invernadero.....	31
4.14 Rendimiento	32
4.14.1 Número de frutos por corte	32
4.14.2 Peso de frutos por corte.....	32
4.14.3 Peso total de frutos de los cortes	32
V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	33
Experimento I – Cultivo: Vid.....	33
5.1 Potencial del agua en el xilema (Ψ_{wx}) de vid	33
5.2 Contenido volumétrico de agua en el suelo (Θ_v).....	36
5.2.1 Lámina de consumo de agua en el cultivo de vid en un periodo del ciclo de cultivo 2013	38

5.3 Comportamiento de las variaciones del diámetro del tronco en vid y algunos parámetros derivados de VDT	39
5.4 Parámetros de calidad en frutos de vid.....	43
5.5 Rendimiento en el cultivo de vid.....	44
Experimento II – Cultivo: Tomate	46
5.6 Potencial del agua en el xilema (Ψ_{wx}) del tomate.....	46
5.7 Comportamiento del Riego, drenaje y consumo de agua en el cultivo de tomate en las estaciones verano-otoño y otoño-invierno (2013-2014)	49
5.7.1 Comportamiento del riego, drenaje y consumo de agua en el cultivo de tomate durante todo un día de otoño en 2013	51
5.7.2 Lamina aplicada y de consumo de agua en el cultivo de tomate en las estaciones verano-otoño y otoño-invierno (2013-2014)	52
5.8 Comportamiento de las variaciones del diámetro del tallo en tomate y algunos parámetros derivados de las VDT.....	53
5.9 Parámetros de calidad en frutos de tomate.....	57
5.10 Evaporación (Ev) en el interior del invernadero durante el experimento del cultivo de tomate	58
5.11 Actividad fotosintética de la planta de tomate bajo condiciones de invernadero.....	59
5.12 Rendimiento en el cultivo de tomate.....	60
VI. CONCLUSIONES	63
VII. LITERATURA CITADA	64

ÍNDICE DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Potencial del agua en el xilema en plantas de vid (<i>Vitis vinífera</i>) cv Shiraz, en el ciclo de producción 2013. Vinícola San Lorenzo. Parras, Coahuila, México.....	34
Cuadro 2. Parámetros de calidad en frutos de Vid Var. Shiraz. Vinícola San Lorenzo. Parras, Coahuila, México.....	44
Cuadro 3. Número total de racimos y rendimiento del cultivo de Vid kg/m ² en el año 2013. Vinícola San Lorenzo. Parras, Coahuila, México.....	45
Cuadro 4. Medias de potenciales del agua (Ψ_{wx}) en la planta de tomate híbrido Gabriela bajo condiciones de invernadero.....	48
Cuadro 5. Parámetros de calidad en frutos de tomate híbrido “Gabriela” bajo condiciones de invernadero.....	58
Cuadro 6. Rendimiento por periodos de tres cortes en el cultivo de tomate bajo condiciones de invernadero.....	61

ÍNDICE DE FIGURAS

Pág.

Figura 1. Evoluciones diarias del diámetro del tronco de limonero y parámetros derivados como el MXDT Y MNDT diámetro del tronco, tasa de crecimiento del CMNDT y CMXDT diámetro de tronco y la máxima contracción diaria (MCD).....	17
Figura 2. Sensores transductores de desplazamiento variable y lineal (LVDT) situados en el tallo de Vid (A) y en el tallo de una planta de tomate (B).....	18
Figura 3. Comportamiento del potencial de agua en el xilema del cultivo de Vid (<i>Vitis vinífera</i>) cv Shiraz, del día juliano 101 al 278 de 2013. Vinícola San Lorenzo. Parras, Coahuila, México.....	35
Figura 4. Comportamiento del contenido de humedad de suelo en el estrato de 0-30 cm de profundidad del Viñedo en Parras, Coahuila del día juliano 152 al 165 de 2013. Vinícola San Lorenzo. Parras, Coahuila, México.....	36
Figura 5. Comportamiento del contenido de humedad de suelo en el estrato de 0-30 cm de profundidad del Viñedo en Parras, Coahuila del día juliano 165 al 180 en 2013. Vinícola San Lorenzo. Parras, Coahuila, México.....	37
Figura 6. Comportamiento del contenido de humedad de suelo en el estrato de 0-30 cm de profundidad del Viñedo en Parras, Coahuila del día juliano 180 al 190 de 2013. Vinícola San Lorenzo. Parras, Coahuila, México.....	37
Figura 7. Comportamiento del riego aplicado al cultivo de vid en Parras, Coahuila del día juliano 152 al 181 de 2013. Vinícola San Lorenzo. Parras, Coahuila, México.....	38
Figura 8. Consumo de agua (lámina consumida) por el cultivo de vid cv Shiraz en el periodo del día juliano 166 al 178 en el año 2013. Vinícola San Lorenzo. Parras, Coahuila, México.....	39
Figura 9. Evolución diaria del diámetro de tronco de vid cv Shiraz, vinícola San Lorenzo. Parras, Coahuila, México.....	40

Figura 10. Tasa de crecimiento relativo (TCRmax) de los máximos, cada punto representa el crecimiento de un día.....	41
Figura 11. Tasa de crecimiento relativo (TCRmin) de los mínimos, cada punto representa el crecimiento de un día.....	41
Figura 12. Valores de la máxima contracción diaria del tronco (MCD) en mm en Vid cv Shiraz, cada uno de los puntos representa el valor diario.....	42
Figura 13. Rendimiento por tratamiento en el cultivo de Vid cv Shiraz. Vinícola San Lorenzo, Parras, Coahuila, México.....	46
Figura 14. Comportamiento del potencial del agua en el xilema (Ψ_{wx}) del cultivo de tomate bajo condiciones de invernadero en 2013 (A) y 2014 (B).....	49
Figura 15. Comportamiento del riego, drenaje (30%) y consumo de agua en el cultivo de tomate híbrido Gabriela en un sistema hidropónico bajo condiciones de invernadero correspondiente al periodo comprendido de los 36 a los 159 ddt.....	50
Figura 16. Comportamiento del riego, drenaje (20%) y consumo de agua en el cultivo de tomate híbrido Gabriela en un sistema hidropónico bajo condiciones de invernadero correspondiente al periodo comprendido de los 36 a los 159 ddt.....	50
Figura 17. Comportamiento del riego, drenaje (30%) y consumo de agua en el cultivo de tomate “híbrido Gabriela” en un sistema hidropónico bajo condiciones de invernadero correspondiente al día juliano 331.....	51
Figura 18. Comportamiento del riego, drenaje (20%) y consumo de agua en el cultivo de tomate “híbrido Gabriela” en un sistema hidropónico bajo condiciones de invernadero correspondiente al día juliano 331.....	52
Figura 19. Lámina de riego (L.r) y consumo (L.c) de agua por el cultivo de tomate híbrido “Gabriela” bajo condiciones de invernadero en el periodo 2013-2014.....	53
Figura 20. Evolución diaria del diámetro de tallo de tomate híbrido Gabriela bajo invernadero en el año 2014.....	53

Figura 21. Evoluciones diarias de diámetro del tallo en tomate híbrido Gabriela, en 2014 y parámetros derivados: Máximo (MXDT) y mínimo (MNDT) diámetro del tallo, tasa de crecimiento del mínimo (CMNDT) y máximo (CMXDT) diámetro del tallo y la máxima contracción diaria (MCD).....	54
Figura 22. Tasa de crecimiento relativo (TCR) de los máximos en tomate “híbrido Gabriela” en 2014, cada punto representa el crecimiento de un día.....	55
Figura 23. Tasa de crecimiento relativo (TCR) de los mínimos en tomate “híbrido Gabriela” en 2014, cada punto representa el crecimiento de un día.....	56
Figura 24. Valores de la máxima contracción diaria del tronco (MCD) en mm en tomate híbrido Gabriela, en 2014; cada uno de los puntos representa el valor diario.....	57
Figura 25. Comportamiento de la evaporación (mm) en el interior del invernadero durante los periodos verano-otoño y otoño-invierno de 2013 y 2014 respectivamente.....	59
Figura 26. Comportamiento de la actividad fotosintética en la planta de tomate bajo invernadero en un periodo del día juliano 41 en el año 2014.....	59
Figura 27. Rendimiento por tratamiento en el cultivo de tomate híbrido “Gabriela” bajo condiciones de invernadero.....	62

I. INTRODUCCIÓN

A nivel mundial las aguas dulces constituyen un recurso escaso, amenazado y en peligro. De acuerdo a evaluaciones recientes de especialistas y organizaciones internacionales conectadas con los problemas del agua, indican que en el año 2025 más de dos terceras partes de la humanidad tendrá escasez de este líquido vital (L'vovich *et al.* 1995, Simonovic, 2000). En México, la distribución del agua dulce difiere entre las regiones naturales y económicas del país, siendo la zona norte la que se ve más afectada, ya que la disponibilidad de agua per cápita últimamente ha alcanzado niveles críticos de escasez. Ahora bien, el mayor uso consuntivo del agua a nivel nacional es efectuado por la agricultura, la cual representa el 77% de todos los volúmenes concesionados por usos consuntivos y solo el 14% del agua de uso consuntivo se emplea en el abastecimiento público de agua potable. De los 78.9 mil millones de metros cúbicos de agua concesionada para usos consuntivos, el 63% proviene de fuentes superficiales y el 37% restante proviene de fuentes subterráneas. La disponibilidad natural media per cápita de agua a nivel nacional disminuirá de 4,090 m³ por habitante por año desde 2010 a 3,815 en 2030. (CONAGUA, 2012).

Todo esto conlleva a buscar alternativas para hacer un uso eficiente del agua en la agricultura siendo las hortalizas y frutales, cultivos importantes en todo el mundo que son cultivados en regiones donde los suministros de agua son limitados, siendo el tomate el cultivo de regadío más importante a nivel mundial y en México por considerarse entre las hortalizas de alta rentabilidad por su rendimiento y alto valor comercial (SIACON-SAGARPA, 2009, FIRA, 2010). Por otra parte, el cultivo de especies frutícolas como la vid en algunas regiones del mundo tiene impactos económicos muy importantes impulsando también actividades como el turismo y la imagen de la región, pero, habrá que tomar en cuenta que la vid requiere como mínimo de 250 mm para su producción, aunque necesita veranos secos y con alta insolación (Benacchio, 1982).

Por lo anterior, la mejora en la eficiencia del riego es un requisito importante para mantener la sostenibilidad de estos sistemas de producción. Además, el riego puede ser utilizado para mejorar la calidad del fruto en algunas especies vegetales (Mitchell *et al.* 1991; Fabeiro *et al.* 2002). Existiendo una importancia mayor respecto a la programación del riego en base a medidas del estado hídrico de la planta (Goldhamer y Fereres, 2001). De la misma manera, los métodos basados en el estado hídrico del suelo han permitido programar el riego con la utilización de los valores de contenido hídrico (Campbell y Campbell, 1982).

Una herramienta que contribuye a la programación del riego de forma precisa y eficiente es la relacionada con la programación del agua de riego mediante la dendrometría, la cual en campo permite medir y monitorear los valores del diámetro del tronco (Huguet *et al.*, 1992; Ginestar y Castel, 1996, Goldhamer y Fereres, 2001; Goldhamer *et al.*, 2003; Remorini y Massai, 2003) con una precisión de centésimas de milímetro, por lo que es útil para la toma de decisiones de riego. Así también, al recopilar datos continuos permite ver tanto las variaciones diarias como la tendencia del crecimiento y/o decrecimiento del tronco. Estos valores varían estacional y diariamente debido a que responden al contenido de agua. Teniendo así la ventaja de utilizar estos cambios diarios como indicadores de las necesidades de riego (Jones, 2004).

II. OBJETIVOS

Objetivo general

El objetivo general de este estudio fue evaluar las fluctuaciones a nivel micrométrico de las variaciones del diámetro del tallo (VDT) y estimar los índices del estado hídrico durante el ciclo del cultivo de vid y tomate en una región semiárida del norte de México.

Objetivos específicos

Determinar el índice mínimo y máximo del estado hídrico utilizando datos de las mediciones continuas de las variaciones del diámetro de tallo para optimizar el uso de la dendrometría en la programación del riego en el cultivo de vid.

Obtener los índices mínimos y máximos del estado hídrico con la información obtenida de las mediciones continuas de las variaciones del diámetro de tallo para emplear la dendrometría como una herramienta útil y práctica para programación de riegos en el cultivo de tomate.

HIPÓTESIS

Al emplear los sensores de desplazamiento variable y lineal se obtendrán las VDT, las cuales tendrán un comportamiento similar en todos los tratamientos y servirán como un indicador del estado hídrico para perfeccionar el riego en el cultivo de vid y tomate.

III. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1 El agua en México

En México, 77% del agua se utiliza en la agricultura; 14%, en el abastecimiento público; 5%, en las termoeléctricas y 4%, en la industria. Actualmente la agricultura consume 77% del agua del país; debido a la falta de modernización, casi 50% del agua usada para riego se desperdicia. Se estima que a través de la reparación y modernización de los sistemas de riego, la producción rural de alimentos podría duplicarse. (SEMARNAT 2011).

3.2 Generalidades del cultivo de vid

3.2.1 Descripción botánica

La vid es una especie que pertenece a la familia Vitaceae, que incluye unas 600 especies de arbustos, por lo general trepadores y que producen frutos en baya, propios de países cálidos y tropicales. Los botánicos sitúan el origen de la uva cultivada en Europa en la región asiática del mar Caspio, desde donde las semillas se dispersaron hacia el oeste por toda la cuenca mediterránea. Los antiguos griegos y romanos cultivaban la vid y ambas civilizaciones desarrollaron en gran medida la viticultura.

La morfología de la planta se describe a continuación de manera sintetizada, según Mullins *et al.* (1992):

La planta de vid es leñosa, trepadora, que puede alcanzar hasta 35 metros de longitud.

El tronco es retorcido y tortuoso, con la corteza gruesa y áspera, que se desprende en tiras en la madurez. Las ramas jóvenes (sarmientos) son blandas y están engrosadas en los nudos.

Las hojas son pecioladas, de 5 a 15 cm, orbiculares, cordadas, generalmente palmeadas, con 5 a 7 lóbulos e irregularmente dentadas, con el haz glabrescente y el envés a menudo tomentoso. Los zarcillos son ramificados y opositifolios.

Las flores son pequeñas, actinomorfas, hermafroditas, pentámeras, dispuestas en panículas colgantes y opuestas a las hojas. El cáliz tiene 5 sépalos poco desarrollados. La corola es de color verdoso, con 5 pétalos de unos 5 mm soldados en la punta. El androceo está formado por 5 estambres, que alternan con los sépalos y se insertan bajo el margen del disco nectarífero pentalobulado. El ovario es súpero, bilocular y está rodeado en la base por el disco glandular; el estilo es muy corto y el estigma discoidal.

El fruto es una baya, de 6 a 22 mm, globosa o elipsoidal, negra, rojiza, amarillenta o verdosa, con 2 a 4 semillas.

3.3 Factores importantes para el desarrollo del cultivo de vid

3.3.1 Temperatura

El factor temperatura es muy importante para definir la época y velocidad de las diferentes fases fenológicas de la vid (Branas *et al.*, 1946).

Según Reynier (1995), la temperatura es el factor determinante para cada suceso fenológico, por ello cuando la temperatura alcanza los 30 °C, el proceso fotosintético aumenta; a partir de este valor comienza a decrecer y se detiene a los 38 °C. Las temperaturas óptimas para el cultivo en sus distintas etapas de desarrollo son: 8 a 12 °C para apertura de yemas, de 18 a 22°C en floración, de floración a envero (cambio de color) de 22 a 26°C, de cambio de color a maduración de los 20 a 24 °C y para cosecha de 18 a 22 °C.

3.3.2 Radiación

La vid necesita de 1500 a 1600 horas anuales para su crecimiento, de las cuales 1200 como mínimo deberán corresponder al periodo de vegetación, dependiendo de la latitud del viñedo (Hidalgo, 1993). Esto es debido a que es una especie heliófila, que necesita luz en abundancia. Por ello es necesario cultivarla en sitios en donde pueda recibir luz en mayor proporción. Por su parte Almanza (2011), menciona que a medida que los cultivos se establecen más cerca del Ecuador el brillo solar durante todo el año es más constante, lo que permite producir todo el año.

3.3.3 Humedad relativa

Una alta humedad relativa, de aproximadamente 85%, favorece el desarrollo de enfermedades mientras que una humedad relativa baja la reduce (Caffi *et al.* 2012; Carroll *et al.* 2003). Para mantener en condiciones adecuadas al cultivo el promedio de humedad atmosférica debería ser inferior al 60%, el máximo no debería superar el 75% y no debe haber ocurrencia de neblina (Benacchio, 1982).

3.4 Importancia económica

A nivel global, actualmente Europa es el principal continente productor de uva, con la mitad de la producción mundial de este cultivo, seguido por Asia. Las zonas que menos uva cultivan son África y Oceanía. La producción de uva, tanto de mesa como la que es utilizada para vino se agrupa por continentes y en orden de importancia; teniendo en primer lugar a Europa, Asia, Norteamérica, Sudamérica, África y Oceanía (frutas-hortalizas.com). Las regiones vinícolas más importantes del mundo comprenden los siguientes países: Francia, Alemania, Suiza, Austria, Italia, España, Portugal, Estados Unidos, Canadá, México, Chile, Argentina, Australia, Nueva Zelanda, Sudáfrica y Gran Bretaña (clubplaneta.com.mx).

En la actualidad, la industria mexicana está constituida por más de 90 bodegas con una superficie sembrada alrededor de 3,600 hectáreas de uva para vino y aproximadamente 110 productores, ubicados en las diferentes zonas vitivinícolas. Cerca del 90% de ellos ubicados en Baja California y el resto en los estados de Coahuila, Querétaro, Zacatecas, Guanajuato y Aguascalientes. El vino mexicano ocupa el 30% del mercado en el país. De la producción de vino en México solo se destina el 10% a la exportación. En lo referente al consumo, a nivel nacional entre los años 2000 a 2010 se duplicó, de 27 millones a 55 millones de litros de vino. Por lo que, para el 2020 se estima que el consumo se va a triplicar, a 180 millones de litros anuales. De esta manera, la industria vitivinícola espera crecer en participación de mercados de 30% a 50% (eleconomista.com).

México, cuenta con aproximadamente 20,000 hectáreas con plantación de uva de mesa, siendo el estado de Sonora el mayor productor, seguido por Zacatecas y el 85% de la producción es exportado a Estados Unidos, Europa y Oriente.

3.5 Producción de vid mediante técnicas de plasticultura

3.5.1 Sistema de producción mediante acolchado de suelos

El acolchado de suelos, es un término que hace referencia a cualquier cubierta de restos vegetales, ya sean creados de forma natural o colocados a la superficie de un suelo, pero sin ser incorporados al mismo (Turney y Menge, 1994), así como cualquier otro material sintético que sea colocado para cubrir el suelo (Robinson, 1988).

El acolchado de suelos es una técnica que consiste en cubrir los surcos del cultivo para incrementar el rendimiento del mismo y para hacer más eficiente el uso del agua y suelo. También ayuda a mejorar la calidad de los frutos, inhibe el desarrollo de malezas, conserva la humedad del suelo y reduce la lixiviación de los fertilizantes (Kasperbauer, 2000). Lo anterior, gracias al descubrimiento y desarrollo del polietileno en los años 30's y su introducción a principios de 1950 en forma de películas plásticas para acolchado y

accesorios para riego, se logró el sistema de producción al que lleva el nombre de Platicultura (Lament, 1993).

México inició con las prácticas de acolchado de suelos en el año de 1970, siendo el Valle de San Quintín, Baja California Sur, donde empezó a utilizarse, para después extenderse en todo el país, principalmente en Sonora y Sinaloa (ICAMEX, 2005). Después de seis años, iniciaron con una hectárea de acolchado en el cultivo de piña en Loma Bonita, Oaxaca, 0.5 ha con acolchado en el cultivo de fresa en Irapuato, Guanajuato y 0,2 ha con el cultivo de papa en el Valle de Lerma, Nayarit (García, 1979).

En 1979 el Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA) inició el programa de plásticos en la agricultura para empezar con ensayos científicos sobre el acolchado de suelos y posteriormente transferir esta tecnología a los productores de diferentes zonas de nuestro país (Zermeño, 2003).

En la actualidad, la zona norte y noreste del país ha ido incorporado cada vez más el sistema de riego y acolchado de suelo a su sistema de producción, pero también en el centro y sur del territorio mexicano muchos pequeños y medianos productores están validando la funcionalidad de este tipo de tecnología, por lo tanto, la mayoría queda convencido por adoptar estas técnicas de platicultura cuando se da cuenta de los beneficios que aporta.

3.6 Aplicación de algas marinas en la agricultura

El uso de las algas marinas en los cultivos se remonta a la antigüedad, pero el desarrollo de productos químicos o sintéticos a finales del siglo XIX hizo menos popular el uso de productos naturales y orgánicos (Senn, 1987). Últimamente, se ha invertido esta tendencia ya que las fuentes naturales de nutrientes de plantas y los promotores naturales del crecimiento de las mismas han recuperado su respeto en muchas aplicaciones por medio de la investigación y algunos programas de desarrollo.

Actualmente, en el mercado se encuentra un número considerable de especies de algas marinas y pertenecen a los géneros *Macrocystis*, *Eklonia*, *Sargassum*, *Durvillia*,

Porphyra, *Fucus* y *Ascophyllum*. La mayoría de las algas marinas usadas como fertilizante y como agentes condicionantes del suelo corresponden a especies de algas pardas. Entre todas las algas marinas y los extractos que se encuentran ahora en el mercado, *Ascophyllum nodosum* es la especie más investigada con fines agrícolas, ya que se ha demostrado que los extractos de ésta son los más activos biológicamente de todos los productos algicos comerciales, siendo también la más utilizada en Europa y en el Norte de América (Blunden, 1991).

Taxonómicamente las algas marinas se clasifican en tres grupos de acuerdo a su color: Verdes (*Chlorophyceae*), pardas (*Phaeophyceae*), y rojas (*Rhodophyceae*) ya que presentan pigmentos que predominan como clorofilas, carotenoides y ficobilinas (Erulan *et al.*, 2009; Quitral *et al.*, 2012).

A nivel mundial, las algas marinas son uno de los más importantes recursos marinos debido a que sirven para consumo humano, alimento para ganado, materias primas para muchas industrias, fertilizantes agrícolas, así mismo son una fuente de ficocoloides tales como agar, ácido alginico y carragenina (Sathya *et al.*, 2010).

Ahora bien, Algaenzims es un fertilizante orgánico, mejorador de suelo, elaborado a base de extractos de algas marinas (*Sargassum spp.*). Contiene un complejo de microorganismos marinos de vida libre en estado viable (vivos): Fijadores de nitrógeno del aire, halófilos, mohos y levaduras, grupo aeróbico mesofilico, *microalgas cianofitas*.

3.7 Generalidades del cultivo de tomate

3.7.1 Descripción botánica

Es una especie perteneciente a la familia de las Solanáceas, perenne tipo arbustivo y se cultiva como anual, originaria de América del Sur, sin embargo se considera a México como su centro de domesticación. Con la llegada de los españoles se difundió al viejo continente y de ahí a todo el mundo, actualmente forma parte de la dieta de múltiples regiones y culturas.

La morfología de la planta de tomate que a continuación se describe, explica cómo se constituye dicha especie, mencionando las características más importantes, según Esquinas y Nuez (1995).

Su sistema radicular consta de una raíz principal, la cual es corta y débil, raíces secundarias (numerosas y potentes) y raíces adventicias.

El tallo principal puede llegar a tener un grosor entre los 2 y 4 cm. en la base, sobre el que se van desarrollando hojas, tallos secundarios e inflorescencias. Puede emitir raíces cuando se encuentra en contacto con el suelo, lo que permite un mayor anclaje a la planta.

La hoja es compuesta con folíolos peciolados, lobulados y con borde dentado, en número de 7 a 9 y recubiertos de pelos glandulares. Las hojas se distribuyen de forma alternativa sobre el tallo.

La flor del tomate es perfecta. Consta de 5 o más sépalos, de igual número de pétalos de color amarillo, dispuestos de forma helicoidal y de igual número de estambres que se alternan con los pétalos. Los estambres están soldados por las anteras y forman un cono estaminal que envuelve al gineceo y evitan la polinización cruzada. El ovario es bilocular o plurilocular. Las flores se agrupan en inflorescencias denominadas comúnmente como “racimos”. La primera flor se forma en la yema apical y las demás se disponen lateralmente por debajo de la primera, alrededor del eje principal. Las inflorescencias se desarrollan cada 2-3 hojas en las axilas.

El fruto es una baya bilocular o plurilocular que puede alcanzar un peso que oscila entre unos pocos miligramos a 600 gramos. Está constituido por el pericarpio, el tejido placentario y las semillas.

3.8 Factores importantes para el desarrollo del cultivo de tomate

3.8.1 Radiación

El tomate es un cultivo insensible al fotoperiodo, entre 8 y 16 horas, aunque requiere buena iluminación (Calvert, 1973). Iluminaciones limitadas, al reducir la fotosíntesis neta, implican mayor competencia por los productos asimilados, con incidencia en el desarrollo y producción (Aung, 1976).

3.8.2 Humedad relativa

Para el cultivo del tomate, la humedad relativa óptima oscila entre un 60% y un 80%, en lugares con humedad relativa por arriba de la antes mencionada favorecen al desarrollo de enfermedades (hongos y bacterias), el agrietamiento del fruto y dificultan la fecundación, esto debido a que el polen se compacta, abortando parte de las flores (Maroto,1983).

3.8.3 Temperatura

El tomate es una planta termoperiódica, creciendo mejor con temperatura variable que constante que varía con la edad de la planta (Went 1944). Diferencias térmicas noche/día de 6 a 7°C son óptimas (Verkerk, 1975; Went 1957). La temperatura influye en la distribución de asimilados. Durante la fase de crecimiento vegetativo una temperatura alta (25°C) favorece el crecimiento foliar, a expensas del ápice, mientras que a una temperatura baja (15°C) ocurre lo contrario (Calvert, 1966).

3.9. Importancia económica

El tomate rojo es una hortaliza que tiene una gran demanda a nivel mundial, el cual se utiliza para la preparación de una amplia variedad de alimentos, lo cual representa una importante fuente de ingresos para los productores.

En nuestro país, como en otras partes del mundo, la preferencia por el consumo del tomate en fresco, es predominante; además es utilizado como producto industrializado para la elaboración de pastas, salsas, purés, jugos, etc. Esta situación conlleva a mayores exigencias en la calidad para su distribución y venta en fresco, que a su vez determina renovados nichos y condiciones de mercado. Según datos del departamento de agricultura de los estados unidos (USDA), México en 2007 aumentó sus exportaciones; enviando 1.1 millones de toneladas de tomate rojo a Estados Unidos, representando el 44% del mercado de nuestro país vecino (USDA, 2008).

Actualmente, en México existen alrededor de 20,000 hectáreas con agricultura protegida (AP) de las cuales aproximadamente 12,000 has son de invernaderos y el resto corresponden a malla sombra y macro túneles y otras estructuras. Bajo el sistema de producción en AP se produce principalmente tomate (70%), pimiento (16%) y pepino (10%). Por tanto, gracias al cultivo de tomate, nuestro país se encuentra en el décimo lugar a nivel mundial con una producción anual de 3 millones de toneladas; por otro lado, el tomate es el tercer producto más exportado en el país y este cultivo ha colocado a México como el principal exportador mundial con una cifra de 1.5 millones de toneladas anuales, lo cual representa el 50% de la producción total. (www.hortalizas.com).

Los resultados que se han obtenido son gracias a los beneficios que brindan los invernaderos, ya que con este sistema de protección se pueden adelantar y asegurar las cosechas, controlar en gran medida los factores ambientales, lo que permite producir todo el año, asegurando así la recuperación de la inversión económica que en un principio es muy alta para el desarrollo de proyectos productivos mediante técnicas de plasticultura.

3.10 Métodos basados en el monitoreo del estado hídrico del suelo

3.10.1 Método gravimétrico

Es una medida directa de la humedad del suelo, y es el método estándar para calibrar otras técnicas de determinación del agua en el suelo. El contenido gravimétrico de agua es la cantidad de agua en la muestra por porcentaje de peso seco del suelo y se calcula como sigue:

PSH – PSS

$$\text{Contenido gravimétrico de agua (\%)} = \frac{\text{PSH} - \text{PSS}}{\text{PSS}} \times 100$$

3.10.2 Bloques de yeso (Watermark)

El bloque de yeso se empezó a utilizar desde 1978, es un dispositivo de estado sólido de resistencia eléctrica de detección que se utiliza para medir la tensión del agua del suelo. Cuando la tensión cambia con el contenido de agua la resistencia también cambia. Esta resistencia puede ser medida usando el sensor Watermark, el cual consiste de un par de electrodos de alta resistencia a la corrosión que se encajan dentro de una matriz granular. Una corriente se aplica al sensor para obtener un valor de la resistencia. El medidor digital o Monitor correlaciona la resistencia a centibares (cb) o kilopascales (kPa) de tensión de agua del suelo.

3.10.3 Reflectometría de dominio temporal (TDR)

La técnica de la reflectometría en el tiempo es un método que mide la constante dieléctrica del suelo por medio del tiempo de recorrido de un pulso electromagnético que se introduce en el suelo a través de dos varillas de acero inoxidable. El tiempo de recorrido es proporcional a la de la constante dieléctrica del suelo y únicamente varía con el contenido de agua en el mismo. Es un sistema preciso y de fácil manejo cuyo principal problema es su alto coste.

3.10.4 Sonda de neutrones

Según Guerra (2000), la base metodológica para la determinación de la humedad del suelo mediante sonda de neutrones consiste en situar una fuente radioactiva a una profundidad deseada en el suelo (por medio de un tubo de acceso, de acero o aluminio, insertado verticalmente). Dicha fuente emite neutrones rápidos, que penetran radialmente en el suelo, en donde se encuentran varios núcleos atómicos con los cuales colisionan

elásticamente, perdiendo energía cinética. Esta pérdida es máxima cuando el neutrón choca con una partícula de masa similar a la suya. En la práctica, ha encontrado que la moderación de neutrones rápidos en el suelo es proporcional al contenido en hidrógeno del mismo (elemento con núcleos de masa similar a los neutrones). Así, cuando los neutrones rápidos colisionan con los núcleos de hidrógeno del agua del suelo, estos neutrones pierden su máxima energía formando, alrededor de la fuente radioactiva, una nube de neutrones moderados (o termalizados) los cuales son captados por el detector, generalmente constituido por BF_3 (trifluoruro de boro) y así, cuando un neutrón moderado o lento se encuentra con B y es absorbido, se emite una partícula de Helio generando un pulso eléctrico. Este pulso, a su vez, se envía, por un cable, al medidor, donde se registra la lectura. Cuanto mayor sea el contenido de hidrógeno en el suelo (más agua), más neutrones rápidos son moderados, mayor es el número de pulsos enviados al medidor y más elevado es el valor de la lectura o registro.

3.11 Programación de riego en base a medidas discontinuas en la planta

3.11.1 Potencial hídrico

El potencial hídrico foliar (Ψ_{wh}) es una medida frecuentemente utilizada para caracterizar el estado hídrico de la planta (Klepper, 1968; Goode y Higgs, 1973). Su valor depende de valores externos e internos a la propia planta (Jones, 1990), lo que provoca que sus niveles sufran variaciones importantes en función del momento del día (Elfving *et al.*, 1972; Ruiz-Sánchez *et al.*, 2007), de la fase de crecimiento (Ruiz-Sánchez *et al.*, 2007), de la edad de la hoja y de la orientación y posición que ocupa en el árbol. Este método ha sido recomendado para la programación del riego en especies de árboles frutales (McCutchan y Shackel 1992; Naor 2000). Sin embargo, para los cultivos de tomate que reciben riegos de alta frecuencia (por ejemplo, varias veces al día) de riego por goteo, la medición diaria del Ψ_{wh} o Ψ_{wx} a mediodía; es poco práctico.

3.11.2 Conductancia estomática

La conductancia estomática (g_s) es un indicador de estrés, pero su utilización se dificulta, ya que se ve afectada por una gran cantidad de factores. La g_s mide la apertura de estomas de las hojas, que son los responsables de regular el intercambio gaseoso con el medio atmosférico. Los valores de g_s dependen de la temperatura, de la intensidad luminosa, la edad de la hoja, concentración de CO_2 , del potencial hídrico de la planta y de la diferencia de humedad absoluta entre la hoja y el aire (Jones, 1983; Ruiz-Sánchez *et al.*, 2000).

3.11.3 Crecimiento vegetativo

Según Hsiao y Bradford (1983), este crecimiento que engloba brotes y hojas, es muy sensible al estrés hídrico. Existen estudios que demuestran que al disminuir el Ψ_{xh} por debajo de un umbral disminuye también el crecimiento de algunos órganos vegetales (Boyer, 1968; Jordan, 1970; Pérez-Pastor *et al.*, 2009). A pesar de ser evidente esta disminución, los valores obtenidos son altamente variables, por lo que sería necesario llevar a cabo un número considerable de determinaciones; de tal manera que los valores de la media puedan ser representativos.

3.12 Programación de riego en base a medidas continuas en la planta

3.12.1 Flujo de savia

La medida del flujo de savia está asociada a la absorción de agua por las plantas. Este flujo, equivale a la transpiración en condiciones estacionarias y puede representar alrededor del 85% de la evapotranspiración en condiciones de agua no limitante. Son muchos los estudios que existen y que comprueban el beneficio de este indicador y la sensibilidad a la demanda climática (Cohen, 1991; Ameglio *et al.*, 1992; Moreno *et al.*, 1996; Alarcón *et al.*, 2000). Por lo que existen algunos métodos que a continuación se mencionan: método de pulso de calor (Marshall, 1958), método radial de calor constante (Granier, 1985), y balance de calor (Valancogne y Nasr, 1989).

3.12.2 Sensor transductor de desplazamiento variable lineal (LVDT)

Los sensores LVDT han sido estudiados recientemente y han aportado información valiosa sobre el estado del agua en las plantas de cultivos hortícolas utilizando la medición continua de las VDT (Huguet *et al.* 1992; Goldhamer y Fereres 2001). Estas medidas continuas que han permitido utilizarlas como indicadores del estado del agua en la planta han llamado la atención debido a su capacidad para el registro de datos, lo que permite una buena posibilidad de monitoreo en campo para coleccionar información sobre el estado hídrico de diferentes cultivos. Por tanto, esto permite programar el riego fundamentado directamente en las plantas debido a que son evaluaciones directas, ya que las estimaciones de los factores climáticos y el estado del agua del suelo son valores indirectos.

3.12.3 Oscilaciones del diámetro del tallo

Gracias a los avances tecnológicos (electrónica e informática) las variaciones micromorfométricas de los diferentes órganos de las plantas han recuperado un protagonismo notorio, principalmente como indicadores del estado del agua en las plantas (Ginestar y Castel, 1996), así como la posibilidad de emplearlas para la programación automatizada de riego (Huguet, 1985; Goldhamer y Fereres, 2001).

Existe una base fisiológica sobre las variaciones del diámetro del tallo. En el transcurso del día se reduce el potencial hídrico de los conductos del xilema debido al desequilibrio entre la demanda climática y la capacidad absorbente de raíces., lo que favorece el movimiento lateral desde el floema al xilema y provoca la contracción del tallo, alcanzando así el mínimo diámetro de tallo (MNDT) después del medio día solar. Ya por la noche las plantas recuperan su estado de equilibrio de agua y el movimiento del agua es al contrario, es decir que va desde el xilema al floema, esto provoca el hinchamiento del tallo, alcanzando los máximos diámetros de tallo (MXDT) valores antes del alba (Molz y Klepper, 1972). Ahora bien, en la figura 1 se puede observar que las diferencias entre los valores de MNDT y MXDT de dos días consecutivos constituyen las tasas de crecimiento del mínimo (CMNDT) y máximo (CMXDT) diámetro del tallo. La máxima contracción diaria (MCD) se obtiene por diferencia entre la MXDT y el MNDT para un determinado día (figura 1).

La decisión de usar la MCD o la Tasa de Crecimiento Diario (TCD) va estar influenciada por las tasas de crecimiento del árbol o planta, ya que en arboles adultos con tasas de crecimiento bajas, no se aconseja el uso de la TCD, pero, si la plantación es joven y si se quiere extender su crecimiento para iniciar a la fase de producción si se recomienda (Moriana y Fereres, 2002b; Domingo *et al.*, 2005; Nortes *et al.*, 2005).

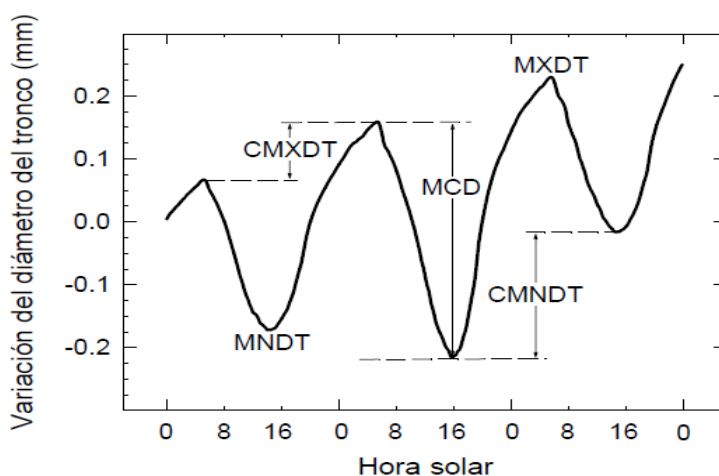


Figura 1. Evoluciones diarias del diámetro del tronco de limonero y parámetros derivados como el MXDT Y MNDT diámetro del tronco, tasa de crecimiento del CMNDT y CMXDT diámetro de tronco y la máxima contracción diaria (MCD).

3.12.4 Principio del funcionamiento de un sensor LVDT

Para poder realizar las mediciones continuas y automáticas de las variaciones micrométricas del diámetro del tallo se utilizan sensores de desplazamiento variable y lineal (dendrómetros) de alta precisión (figura 2). Estos sensores constan de un núcleo magnético que se mueve impulsado por una aguja (varilla) en contacto con el órgano vegetal a medir. El núcleo discurre por el interior de un cilindro, entre un embobinado primario y otro secundario. En la bobina primaria se aplica una corriente continua, que genera un campo electromagnético alrededor de un núcleo en función de la posición del mismo respecto de las espiras de la bobina, induciendo así un voltaje dado en la segunda bobina que será la señal o medida registrada a utilizar.

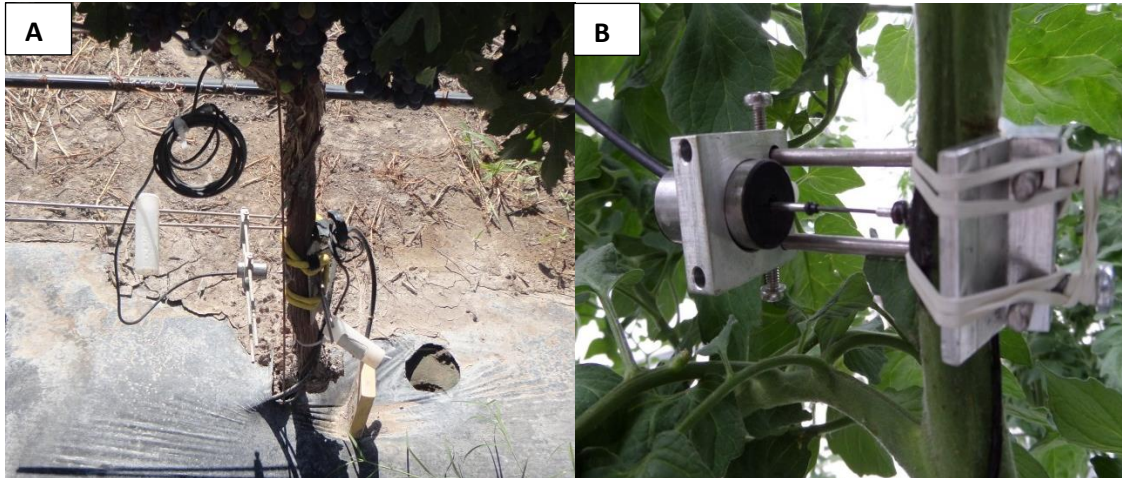


Figura 2. Sensores transductores de desplazamiento variable y lineal (LVDT) situados en el tallo de Vid (A) y en el tallo de una planta de tomate (B).

3.12.5 Elaboración de las líneas de referencia a partir de valores de la MCD

La demanda evaporativa de la atmosfera, el contenido y disponibilidad de agua en el suelo o sustrato, dictarán en gran medida los valores a obtener de los diferentes indicadores del estado del agua en la planta. Así, cuando el agua no sea una limitante y las plantas tengan características homogéneas, su valor va a depender directamente de la demanda atmosférica.

De acuerdo a lo anterior, distintos investigadores declaran que es necesario normalizar los valores absolutos reales del indicador con la finalidad de programar riegos (Egea *et al.*, 2009; Ortuño *et al.*, 2010). Debido a esta circunstancia Goldhamer y Fereres (2001) conjeturaron el concepto llamado intensidad de señal (IS), lo cual, para la MCD sería la relación entre el valor de MCD_{real} y la $MCD_{referencia}$, que dicho de otra forma sería el valor originado de plantas o arboles con déficit hídrico (DH) y el valor del testigo (sin limitaciones hídricas) consecutivamente. Por lo tanto la formula sería la siguiente:

$$IS = \frac{MCD_{real}}{MCD_{referencia}}$$

Para tal efecto, una unidad de intensidad de señal indicará la inexistencia de estrés hídrico, mientras que valores superiores a la unidad demostrarán que existe estrés hídrico. Habrá que tomar en cuenta que si se rebasa un nivel determinado de DH puede ocasionar que la MCD disminuya, así mismo disminuirá la IS, lo que refutará lo interpretado con anterioridad (Ortuño *et al.*, 2006^a, 2010). Esto ya no permitirá utilizar la fórmula de intensidad de señal.

Por otro lado habrá que tomar en cuenta que los valores de la MCD son dependientes de la etapa fenológica del cultivo (Gènard *et al.*, 2001; Marsal *et al.*, 2002; Fereres y Goldhamer, 2003; Intrigliolo y Castel, 2004; Egea *et al.*, 2009), por lo tanto, podría requerirse llevar a cabo una línea de referencia para cada fase fenológica. Además, para la elaboración de dichas líneas, es muy recomendable tomar en cuenta la influencia de algunos factores tales como: nivel de carga productiva (Intrigliolo y Castel 2007), el tamaño de árboles, espesor de la corteza (Intrigliolo y Castel, 2006) y edad del árbol o planta.

De acuerdo con Ortuño *et al.*, (2006b, 2009a), en especies cítricas sugiere que la temperatura (variable climática) es la mejor predictora de la MCD, mientras que para el olivo, Moreno *et al* (2006) propone el uso del déficit de presión de vapor (DPV) y la temperatura obtenidos a mediodía.

3.13 Condiciones ambientales que ocasionan estrés en los cultivos

3.13.1 Déficit hídrico

Según Galston *et al.*, (1980), el déficit hídrico puede manifestarse como una condición de marchitez, ya sea temporal o permanente, la cual es continua y progresiva. La primera, se caracteriza porque la planta pierde su turgencia y las hojas se tornan flácidas, pero al amanecer o en una atmósfera saturada se rehidratan. Esto se debe a que la tasa de absorción de agua supera a la tasa de transpiración (Slatyer, 1967; Galston *et al.*, 1980), en este caso la absorción es modulada por el agua disponible en el suelo. A diferencia de la marchitez permanente, que se caracteriza porque la hoja permanece flácida aunque la atmósfera este saturada o incluso al amanecer y ocurre durante largos periodos de sequía.

Para revertir dicho estrés, se tendrá que aplicar agua al suelo para que las plantas recuperen su turgencia. Aunado a esto, diversos autores coinciden en afirmar que el estrés hídrico reduce el área foliar y por consiguiente la biomasa del vástago. Tal es el caso de Lazcano-Ferrat y Lovatt (1999), que encontraron una reducción de 55% del peso seco en el vástago y de 14 a 27% en la raíz con respecto al testigo. Así mismo, cabe esperar que la etapa reproductiva sea más afectada por estrés hídrico, dando como resultado bajos rendimientos.

3.13.2 Temperatura

Uno de los diferentes tipos de estrés ambiental a los que las plantas están expuestas, es la temperatura, y cada una de las especies vegetales tiene su propio óptimo de temperatura para crecer y distribuirse de forma natural.

El estrés por temperatura influye activamente sobre el rendimiento y funcionamiento de las plantas (Sinsawat *et al.*; 2004), lo que causa la inhibición de su crecimiento (Ajayi y Olofayo, 2004), la división celular, afectando la síntesis de proteínas (Schoffl *et al.*; 2004) y otros compuestos que afectan la morfología (Smertenko *et al.*; 1997), pero en el caso del estrés por temperatura, interviene directamente sobre la anatomía y la integridad de la subestructura celular (Sam *et al.*; 2001).

3.13.3 Salinidad

La salinidad es la acumulación de sales en la zona radicular a tal nivel, que disminuye el rendimiento potencial de un cultivo. La salinización de los suelos es un problema que afecta muchas áreas a nivel mundial y cada vez más está restringiendo la obtención de buenos rendimientos, por lo tanto, limita el poder cultivar diferentes especies. Existen diversas causas vinculadas a la salinización, entre algunas cabe mencionar el excesivo empleo de fertilizantes, uso de agua de mala calidad (exceso de sales) y drenaje inadecuado (Tanwar, 2003). En el cultivo de tomate, por ejemplo, las sales ocasionan en las plantas muchos efectos negativos fisiológicos, morfológicos y bioquímicos, uno de los que se ve afectado es la disminución de la fotosíntesis (Singh y Chatrath, 2001). Por ello, habrá que tener mayor cuidado sobre el manejo tanto del suelo como del agua a utilizar para riego

y de alguna manera evitar sobrepasar los límites de salinidad (alta conductividad eléctrica) para cada especie de interés.

3.14 Trabajos de investigación con el uso de dendrómetros en cultivos frutícolas y hortícolas

En el cultivo de tomate, Gallardo *et al.*, (2005), evaluaron la sensibilidad de las VDT utilizando sensores LVDT como indicadores del estado hídrico de la planta, para esto utilizaron cuatro parcelas de reproducción a las que no aplicaron riego y cuatro parcelas que estuvieron bien regadas (testigo). De acuerdo a sus resultados ellos concluyen que , la respuesta de los índices derivados de VDT al déficit de agua en el tomate, que se cultiva bajo condiciones de invernadero de tipo mediterráneo, se vio afectada por la edad de la cosecha, cuando se impuso el estrés hídrico y por la demanda evaporativa. Los índices derivados de VDT tuvieron baja sensibilidad para detectar el estrés hídrico en condiciones de baja demanda evaporativa en invierno y eran muy sensibles en las condiciones de demanda evaporativa más altos de la primavera y el verano. La tasa de crecimiento del tallo (TCT) fue el índice más sensible al déficit hídrico en las plantas de tomate jóvenes mientras que la MCD del tallo fue el índice más sensible en las plantas maduras.

En el cultivo de vid de la variedad “Tempranillo”, Intrigliolo y Castel (2007) evaluaron las variaciones del diámetro del tronco utilizando la MCD y TCT para determinar el estado hídrico de las plantas. Establecieron diferentes tratamientos de riego e hicieron la comparación de las mediciones realizadas con medidas del potencial del xilema y concluyeron que la determinación del estado del agua mediante la contracción máxima diaria y la tasa de crecimiento es muy dependiente del estado fenológico del cultivo.

Ortuño *et al.*, (2008), durante un periodo de 3 años estudiaron en arboles de limón fino, las mediciones del potencial hídrico del tallo al mediodía (ψ_{wt}) y la MCD del tronco, posibles ecuaciones de referencia de agua para la programación del riego. Las plantas

fueron regadas diariamente por encima de sus necesidades de agua con la finalidad de no obtener condiciones limitantes de agua del suelo, por lo que aplicaron un total de 828.5, 815 y 1097.7 mm de agua en los años 2004, 2005 y 2006 respectivamente. De acuerdo a lo realizado, concluyeron que las ecuaciones de referencia se pueden obtener para la MCD y para el ψ_{wt} , adquiriendo en común datos de la evapotranspiración de referencia (ET_o) déficit de presión de vapor (VPD) a través de varias estaciones y la temperatura del aire al día (T_{media}) en el caso de MCD, y ET_o en el caso de ψ_{tallo} . El mejor predictor de MCD en condiciones de agua no limitantes en el suelo es la temperatura media (T_m), lo que sugiere que los valores de referencia MCD se pueden obtener por medio de mediciones fáciles y baratas.

En otro estudio, realizado por Ortuño et al., (2009^a), evaluaron arboles adultos de limón injertados sobre naranjo agrio, los regaron por encima de sus necesidades hídricas (Tratamiento T0) y los compararon con plantas donde aplicaron agua de acuerdo con la MCD del tronco (Tratamiento 1), con el objetivo de mantener la intensidad de señal de la MCD [real (T1) MCD tronco / control (T0)] en un umbral de valores cercanos a la unidad. Cuando la intensidad de señal de la MCD en al menos 2 de los 3 días consecutivos no excedió el valor umbral de intensidad de la señal, el riego lo redujeron en un 10%. De lo contrario, cuando la intensidad de la señal de MCD en al menos 2 de 3 días consecutivos superó el valor umbral, la tasa de riego era incrementada en un 10%. Al analizar sus resultados concluyeron que la programación del riego del limonero se puede basar en mediciones de la MCD, y de esta manera evitar la aparición de estrés hídrico de la planta sin afectar el rendimiento o la calidad del fruto. Al mismo tiempo, las cantidades acumulativas de agua aplicada en T1 pueden considerarse como la estimación de los requerimientos de agua de las plantas de limón.

Por su parte, Egea., (2008), menciona que tanto la magnitud de la MCD como la tasa de crecimiento diario del tronco (TCD), diferencia de valores del máximo diámetro del tronco (MXTD) entre dos días consecutivos, representan una información valiosa sobre la intensidad del estrés hídrico alcanzado.

IV. DESARROLLO EXPERIMENTAL

A continuación, se detalla el proceso experimental del presente trabajo de investigación, el cual consta de dos ensayos diferentes en tiempo y ubicación, a los cuales llamaremos experimento I al cultivo de vid y experimento II al cultivo de tomate

MATERIALES Y MÉTODOS

Experimento I - Cultivo: Vid

4.1 Localización geográfica del sitio experimental

El experimento se efectuó en la Vinícola San Lorenzo, ubicado en Parras de la Fuente, Coahuila, México. Las coordenadas geográficas son 30° 30' 0.33" de Latitud Norte, 102° 11' 31.9" de Longitud Oeste del meridiano de Greenwich y a una altitud de 1505 msnm.

4.2 Características climatológicas del sitio experimental

Según la clasificación climática de Köppen; modificada por García (1987), el clima de Parras de la Fuente corresponde a un seco semicálido.

De acuerdo a la información climatológica registrada en la estación de Parras para el periodo comprendido de 1964 a 2002, la precipitación media anual fue de 408.9 milímetros y la temperatura media anual de 20 °C.

4.3 Material vegetal

Para tal experimento se utilizó una plantación de vid cv Shiraz con 5 años de edad y una altura de 2 m en su máximo desarrollo foliar. Las plantas están en un marco de plantación de 1.5 m entre plantas y 2.5 m entre hileras, con una densidad de 2 620 plantas por hectárea. El experimento se realizó bajo condiciones de acolchado plástico y un biofertilizante derivado de algas marinas (Algaenzim).

4.4 Diseño experimental

El ensayo se llevó a cabo bajo un diseño experimental factorial 2^2 con cuatro tratamientos y tres repeticiones, resultando dos factores y dos niveles para cada uno, siendo así el factor A el acolchado con los niveles a_1 .- acolchado plástico negro (APN) y a_2 .- sin acolchado (SAC) y para el factor B un biofertilizante con los niveles b_1 .- algaenzim (AE) y b_2 .- sin algaenzim (SA).

4.5 Variables evaluadas

4.5.1 Medición del potencial del agua en el xilema en plantas de vid

En el cultivo de vid, el potencial del agua en el xilema de la planta (Ψ_{wx}) se midió a lo largo del ciclo del cultivo, se realizaron 11 mediciones y las tres repeticiones de los tratamientos, tomando en cuenta las plantas con y sin dendrómetros.

Las mediciones de Ψ_{wx} se realizaron con una cámara de presión tipo Scholander (Scholander *et al.*, 1965) (Soilmoisture, Corp., Santa Bárbara, CA, EE.UU) en hojas completamente expandidas expuestas a la radiación solar. Estas mediciones se realizaron en un horario de 12:00-15:00 horas en los días designados para hacer la medición, para tal efecto las hojas se cubrieron con una bolsa de material de aluminio (Meyer & Reicosky, 1985; Shackel *et al.*, 1997) al menos 2 horas antes de la medición y se llevó a cabo en cada una de las repeticiones de los tratamientos.

4.5.2 Aplicación de riego y medición del contenido volumétrico de agua en el suelo

Para el cultivo de vid, se midió el contenido volumétrico de agua en el suelo continuamente con un sensor Time Domain Reflectometry (TDR) para evaluar el comportamiento de la humedad en el suelo. Para esto se instalaron 4 TDR a 30 cm de profundidad (largo) en cada uno de los tratamientos de la parcela experimental.

4.5.3 Determinación de las variaciones de diámetro del tallo

En vid, las variaciones del diámetro del tallo se midieron continuamente en una planta por tratamiento. Para ello se utilizaron sensores LVDT (modelo 2.5 DF, Solartron Metrology, Bognor Regis, Reino Unido) montados en soportes contruidos de aluminio e "invar", una aleación de hierro y níquel con la expansión térmica tendiente a cero. Los dendrómetros se instalaron unidos al tallo de las plantas (Conejero, 2008) con bandas elásticas y la aguja del sensor se unió a la superficie del tallo de la planta con una pasta conocida como Plasti-Acero, la cual es utilizada para unir diferentes tipos de materiales. Las mediciones de las VDT se realizaron cada 30s recopilando los valores promedio cada 30 minutos y se calcularon las fluctuaciones en micras y se almacenaron usando un registrador de datos (modelo CR 1000X, Campbell Scientific, Inc.). Las mediciones se realizaron en plantas de la fila central dentro de las unidades experimentales; en la estación primavera-verano del ciclo de cultivo de vid, a partir de las filas laterales, los sensores LVDT se instalaron en el tallo principal 10-15 cm sobre el nivel del suelo.

4.5.4 Calidad interna

Las pruebas de calidad de fruto se realizaron en un laboratorio del Departamento de Plásticos en la Agricultura del CIQA, donde se analizaron las variables de calidad interna. Para ello se utilizaron 100 uvas por repetición de cada uno de los tratamientos.

La calidad interna se midió a través del % de sólidos solubles totales expresados en °Brix.

4.5.4.1 Sólidos solubles totales

La concentración en sólidos solubles del jugo se expresó en grados Brix, lo cual es una medida de densidad. Un grado Brix es la densidad que tiene, a 20° C, una solución de sacarosa al 1 %, y a esta concentración corresponde también un determinado índice de refracción.

Procedimiento:

Se utilizó un refractómetro, el cual se calibró con agua destilada, enseguida se colocaron 100 uvas en una probeta para cada repetición de los tratamientos, se estimó el volumen y enseguida se obtuvo el peso. Se procedió a macerar manualmente la muestra, después con una pipeta se tomó 1 ml de jugo de uva y se colocó en un refractómetro para poder obtener la lectura y registrar los datos. Dicho equipo se lavó con agua destilada después de cada determinación.

4.5.4.2 pH

Para la determinación del pH se usó un refractómetro y las lecturas se obtuvieron al mismo tiempo en que se midió la concentración de sólidos solubles totales, por lo tanto se empleó el mismo procedimiento.

El pH indica la acidez de la uva. El valor del pH en un jugo es un parámetro importante, ya que muestra el nivel de salificación de los diferentes ácidos orgánicos que contiene la uva, además el estudio de su evolución durante la maduración de la uva da una idea de su estado de madurez. Hay que tener en cuenta que el valor del pH es un parámetro importante a la hora de decidir el momento de la cosecha, ya que con valores de pH elevados podemos tener problemas de estabilidad microbiológica y, por tanto, necesidad de realizar posteriores correcciones de acidez de los extractos en bodega. Además, cada una de las variedades existentes tiene un comportamiento diferente (Gil *et al.*, 2003 y 2004; Sella *et al.*, 2001), y se ve fuertemente influenciado principalmente por la climatología y el estado hídrico de la planta (Hidalgo, 1999). Cabe mencionar que no existen relaciones directas que permitan predicciones entre el pH y la acidez total valorable (Amerine *et al.*, 1976).

4.6 Rendimiento

4.6.1 Número total de racimos

Para esta variable se sumaron todos los racimos de cada uno de los tratamientos. Se realizó un solo corte.

4.6.2 Peso total de racimos

Esta variable se obtuvo sumando el peso en conjunto de todos los racimos cortados de cada uno de los tratamientos.

4.6.3 Rendimiento total

Esta variable se determinó mediante la sumatoria de peso del total de racimos para cada uno de los tratamientos.

Experimento II – Cultivo: Tomate

4.7 Localización

El experimento se realizó en un invernadero de alta tecnología en el campo experimental del Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA), localizado al noreste de la ciudad de Saltillo, Coahuila, ubicado en las coordenadas geográficas 25°27'37.64" de Latitud Norte y 100°58'08.80" de Longitud Oeste del meridiano de Greenwich y a una altitud de 1610 msnm.

4.8 Características climatológicas

El clima de Saltillo corresponde a un seco estepario, de acuerdo a la clasificación climática de Köppen; modificada por García (1987).

La precipitación pluvial y la temperatura media anual son de 365mm y 18°C respectivamente, el periodo más lluvioso está principalmente entre Julio y Septiembre, siendo Julio el mes más lluvioso. La evaporación promedio mensual es de 178 mm, presentándose las más altas en los meses de Mayo y Junio con 236 y 234 mm.

4.9 Establecimiento del experimento

4.9.1 Material vegetal

Para el experimento se utilizó un híbrido de tomate de crecimiento indeterminado de nombre “Gabriela” de la casa comercial Hazera.

4.9.2 Siembra

La siembra se realizó el día 10 de Junio de 2013 depositándose de forma manual 1 semilla por cavidad a 1.5 cm de profundidad y en charolas de polietileno con 200 cavidades conteniendo “peat moss” como sustrato.

4.9.3 Trasplante

El trasplante se llevó a cabo a los 57 días después de la siembra (dds) y se realizó a doble hilera con riego por goteo en bolis de 1.0 m de largo y 0.30 m de ancho, con un largo total de hilera de 10 m. La distancia entre plantas fue de 0.33 m.

4.10 Diseño experimental

El estudio se realizó mediante un diseño experimental factorial 2^2 con cuatro tratamientos y cuatro repeticiones, donde se establecieron dos factores y dos niveles para cada uno, teniendo así el factor A drenaje con los niveles a_1 .- 20% y a_2 .- 30% y para el factor B pantallas con los niveles b_1 .- pantalla dinámica y b_2 .- Aluminet+dinámica., dando un total de 16 unidades experimentales; cada una consistió de seis “bolis” de polietileno tipo taco con dimensiones de 100 cm x 30 cm x 15 cm. Se evaluó como parcela útil 12 plantas de la

cama central para estimar rendimiento y parámetros de calidad y como sustrato se utilizaron 28 litros de perlita para el llenado de cada uno de los bolis.

Los tratamientos quedaron con la nomenclatura siguiente: PD+A30% (T1), PD+A20% (T2), PD30% (T3) y PD20% (T4).

4.11 Variables evaluadas

4.11.1 Medición del potencial del agua en el xilema en plantas de tomate

El potencial del agua en la planta de tomate se midió en el xilema (Ψ_{wx}). Durante el experimento se efectuaron 5 medidas para cada uno de los tratamientos establecidos, en las mismas cuatro plantas donde fueron colocados los sensores LVDT.

4.11.2 Evaluación del riego en las estaciones verano-otoño y otoño-invierno en los años 2013 y 2014 respectivamente

El riego se realizó con un programador automático cada 50 minutos, aplicando en promedio 11 riegos por día y con tiempos de riego variables de acuerdo al factor de Drenaje.

4.11.3 Estimación del drenaje en las estaciones del año 2013-2014 en verano-otoño y otoño-invierno

Durante el ciclo del cultivo se mantuvieron dos porcentajes de drenaje, 20 y 30 por ciento, los cuales se estimaron mediante el volumen drenado en el contenedor, por lo que el volumen de drenaje se midió cada día antes de comenzar el riego para saber la cantidad de agua drenada el día anterior.

4.11.4 Consumo de agua en el cultivo de tomate en base al riego y drenaje de los años 2013 y 2014

El consumo de agua por planta en el cultivo de tomate se estimó por diferencia entre la cantidad del agua aplicada y el volumen de agua drenada. Con esta información se puede saber el consumo promedio por el cultivo durante el periodo evaluado.

4.11.5 Determinación de las variaciones de diámetro del tallo en plantas de tomate

En el cultivo de tomate, híbrido Gabriela, el diámetro del tallo se midió continuamente en una planta por tratamiento (4 tratamientos), las mismas plantas donde se midió el potencial del agua. Para la medida del diámetro del tallo se utilizaron sensores LVDT (modelo 2.5 DF, SolartronMetrology, Bognor Regis, Reino Unido) montados en soportes contruidos de aluminio e "invar", una aleación de hierro y níquel con la expansión térmica tendiente a cero. Los porta sensores se instalaron unidos al tallo de las plantas sujetándolos con bandas de látex y la aguja del sensor se unió a la superficie del tallo de la planta con una pasta conocida como Plasti-Acero, la cual es utilizada para unir diferentes tipos de materiales (Conejero, 2008). Para el experimento se eligió una planta por tratamiento situada en el centro de la fila y en función de la homogeneidad del diámetro del tronco, se colocó el sensor a una altura de 1.20 m sobre la base del tallo.

Las mediciones de las VDT se realizaron cada 30segundos recopilando los valores promedio cada 30 minutos y se calcularon las fluctuaciones en micras y se almacenaron usando un registrador de datos (modelo CR 1000X, Campbell Scientific, Inc.).

4.11.6 Calidad interna

Las pruebas de calidad de fruto se realizaron en un laboratorio del Departamento de Plásticos en la Agricultura del CIQA, donde se analizaron las variables de calidad interna. Para ello se utilizaron 2 frutos por repetición de cada uno de los tratamientos en cada corte.

4.11.6.1 Sólidos solubles totales

La calidad interna se midió a través del % de sólidos solubles totales expresados en ° Brix. La concentración en sólidos solubles del jugo se expresó en grados Brix, lo cual es una medida de densidad. Un grado Brix es la densidad que tiene, a 20° C, una solución de sacarosa al 1 %, y a esta concentración corresponde también un determinado índice de refracción.

Procedimiento:

Se utilizó un refractómetro (Hanna, Modelo HI 96801), el cual se calibró con agua destilada, enseguida se colocó una gota del jugo de tomate y se tomó la lectura, esta medición se hizo por duplicado (dos frutos) en cada repetición de los tratamientos. Dicho equipo se lavó con agua destilada después de cada determinación.

4.12 Evaporación en el interior del invernadero durante el experimento del cultivo de tomate

Para medir la evaporación, en el interior del invernadero se instaló un tanque evaporímetro clase A en el cual se tomaron las lecturas día a día por la mañana. Este método se ha utilizado en algunos trabajos experimentales para calcular el volumen de agua de riego a reponer en los cultivos (Tijerina, 2000; González y Hernández, 2000).

4.13 Actividad fotosintética de la planta de tomate bajo condiciones de invernadero

Se hicieron las evaluaciones en 2 plantas por repetición de cada tratamiento. Las mediciones se llevaron a cabo con un medidor portátil de fotosíntesis LI-COR LI6400 XT con suministro constante de CO₂. Durante las mediciones el flujo de aire se mantuvo en 400

$\mu\text{mol s}^{-1}$ y el suministro de CO_2 a 400 ppm. Para la estabilidad y registro de las lecturas se seleccionó la variable tasa fotosintética, la cual se midió en $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$.

4.14 Rendimiento

4.14.1 Número de frutos por corte

Para esta variable se sumaron todos los frutos en cada uno de los tratamientos. Se hicieron en promedio dos cortes por semana.

4.14.2 Peso de frutos por corte

Esta variable se obtuvo sumando el peso de los frutos en cada corte en cada uno de los tratamientos.

4.14.3 Peso total de frutos de los cortes

Esta variable se determinó mediante la sumatoria del peso de frutos del total de los cortes de cada tratamiento.

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el presente capítulo se analizan los resultados y discusiones de cada uno de los experimentos realizados tanto las variables fenológicas, así como también el riego, drenaje, contenido de humedad, láminas de consumo, variaciones del diámetro del tallo y algunos parámetros que se derivan de las VDT.

Experimento I – Cultivo: Vid

5.1 Potencial del agua en el xilema (Ψ_{wx}) de vid

El cuadro 1 muestra los resultados de potencial del agua en el xilema en plantas de vid cv Shiraz, en el cual encontramos diferencias significativas en los días julianos 180, 206 y 221, posteriormente se hizo la prueba de Tukey, siendo los tratamientos con APN+AE y APN+SA los que presentan valores más negativos y el tratamiento SAC+AE con el valor que indica un mayor estrés. En general, durante el transcurso del experimento los valores de Ψ_{wx} fueron variables en todos los tratamientos; tanto con y sin acolchado plástico, como con y sin fertilización biológica. Cabe mencionar que dichos valores están dentro del umbral óptimo de potencial del xilema, ya que valores de -1.0 MPa son adecuados para que haya un mayor crecimiento vegetativo, sin embargo, si se registran valores de -1.18 a -1.5 MPa en el periodo de pinta (cambio de color en las bayas) y la etapa próxima a cosecha, se verá reflejado en un menor crecimiento vegetativo y una disminución en el rendimiento. Aunado a esta disminución en el rendimiento habrá un mayor grado de acumulación de solutos para obtener más grados brix, lo cual es parte fundamental al momento de la cosecha, por lo tanto, para lograr que esto suceda, se inicia con una disminución del volumen de agua y también se cambia la frecuencia del riego.

Cuadro 1. Potencial del agua en el xilema en plantas de vid (*Vitis vinífera*) cv Shiraz, en el ciclo de producción 2013. Vinícola San Lorenzo. Parras, Coahuila, México.

Etapas fenológicas y días julianos del año 2013											
	B - F	F - P				P - M				C - D	
	101	123	137	152	165	180	193	206	221	242	278
Acolchado (A)	MPa										
APN	-0.86 a	-0.53 a	-0.69 a	-0.64 a	-0.67 a	-0.61 a	-0.90 a	-0.91 a	-0.69 b	-0.86 b	-0.62 b
SAC	-0.86 a	-0.47 a	-0.67 a	-0.64 a	-0.64 a	-0.46 b	-0.89 a	-0.76 b	-0.98 a	-0.90 a	-0.67 a
Algaenzim (B)											
AE	-0.89 a	-0.45 b	-0.63 b	-0.63 a	-0.65 a	-0.58 a	-0.83 b	-0.89 a	-0.84 a	-0.91 a	-0.67 a
SA	-0.83 b	-0.54 a	-0.73 a	-0.65 a	-0.66 a	-0.50 b	-0.97 a	-0.78 b	-0.84 a	-0.85 b	-0.62 b
APN+AE	-0.87 ab	-0.48 ab	-0.63 b	-0.64 ab	-0.65 a	-0.62 a	-0.80 b	-0.98 a	-0.63 d	-0.86 b	-0.63 b
SAC+AE	-0.92 a	-0.43 b	-0.63 b	-0.62 b	-0.64 a	-0.53 b	-0.85 b	-0.81 b	-1.04 a	-0.95 a	-0.72 a
SAC+SA	-0.80 b	-0.50 ab	-0.71 a	-0.66 a	-0.63 a	-0.40 c	-0.93 a	-0.72 c	-0.93 b	-0.86 b	-0.62 b
APN+SA	-0.86 b	-0.58 a	-0.75 a	-0.63 ab	-0.69 a	-0.61 a	-1.01 a	-0.83 b	-0.75 c	-0.85 b	-0.61 b
CV (%)	5.8	13.9	5.1	4.5	4.4	5.3	5.1	4.5	3.0	2.9	3.1

P

Tratamientos con la misma letra no difieren entre sí, DMS $P \leq 0.05$

Las letras indican las etapas fenológicas de la vid. **B**: Brotación, **F**: Floración, **P**: Pinta, **M**: Maduración, **C**: Cosecha y **D**: Defoliación.

El potencial del agua del xilema fue inconstante (figura 3) durante todas las mediciones realizadas, pero, nunca presentó valores que indicaran la existencia de déficit hídrico, esto se debe principalmente a que durante el experimento se mantuvo constante el estado hídrico del suelo (aplicación homogénea del riego para los tratamientos), con un tiempo de riego de 2 h diarias a través del ciclo del cultivo., el gasto de los goteros fue de 2.1 L h⁻¹, De acuerdo a Godoy *et al.* (2005) e Ismail (2010), indican que el Ψ_{wx} se ve influenciado por la disponibilidad de agua en el suelo, de tal manera que a mayor disponibilidad del agua; también es menos negativo el potencial hídrico.

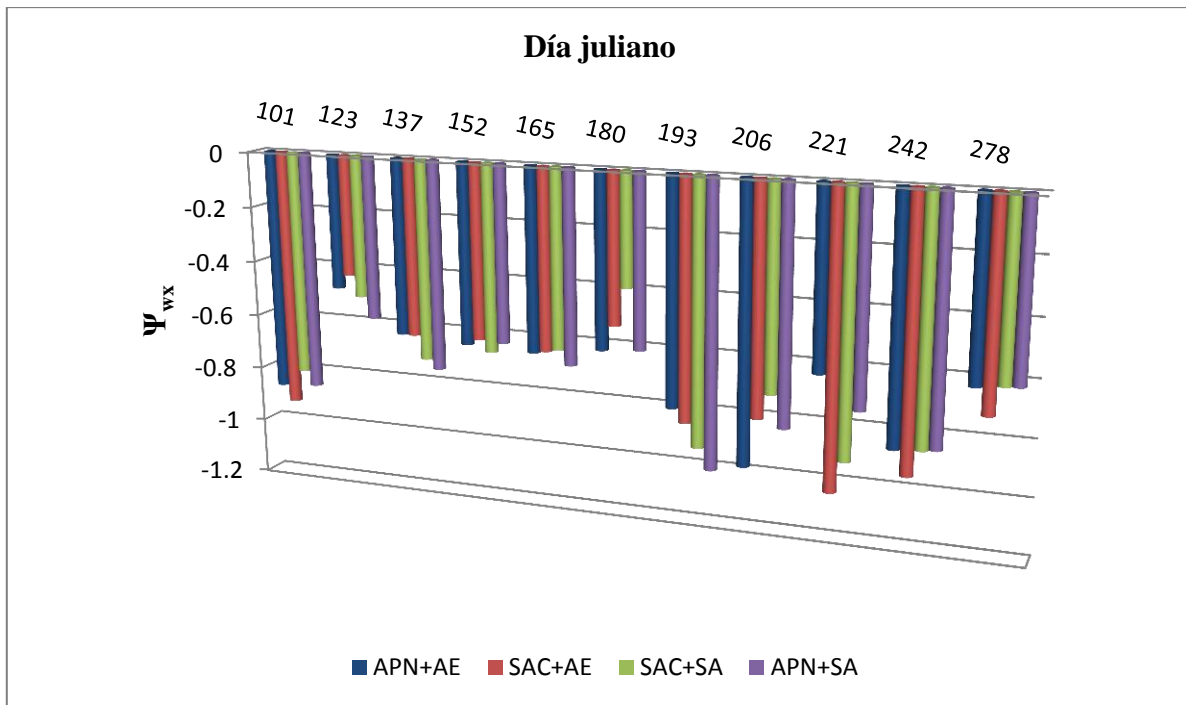


Figura 3. Comportamiento del potencial de agua en el xilema del cultivo de Vid (*Vitis vinífera*) cv Shiraz, del día juliano 101 al 278 de 2013. Vinícola San Lorenzo. Parras, Coahuila, México.

5.2 Contenido volumétrico de agua en el suelo (Θ_v)

En las figuras 4, 5 y 6 se observa el comportamiento del Θ_v en el suelo, siendo el tratamiento con APN+AE el que mantiene el mayor contenido de humedad, mientras que para SAC+SA el Θ_v es mucho menor. En general, los tratamientos con acolchado plástico son los que mantuvieron el mayor contenido volumétrico del agua en el suelo y mejores condiciones de potencial de agua en el xilema durante todo el experimento. Estos resultados comprueban una de las ventajas que aporta el uso de acolchado de suelos, lo cual ejerce una influencia positiva en la conservación de la humedad del suelo (Guariento, 1983). Para tal caso, existen muchos estudios que han logrado determinar la influencia que tiene el acolchado en evitar la evaporación del agua del suelo y en mantener el contenido de humedad (Cook *et al.*, 2006; Ramakrishna *et al.*, 2006; Yang *et al.*, 2006). Por otra parte, Turney y Menge (1994) concluyeron que el acolchado favorece la conservación de la humedad del suelo y aumenta la permeabilidad y la capacidad de retención de agua del mismo.

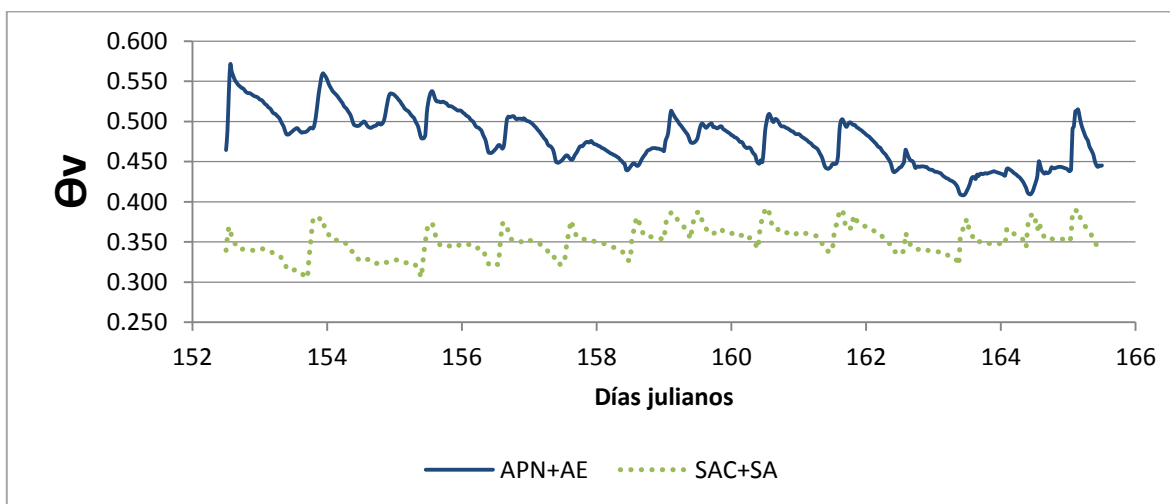


Figura 4. Comportamiento del contenido de humedad de suelo en el estrato de 0-30 cm de profundidad del Viñedo del día juliano 152 al 165 de 2013. Vinícola San Lorenzo. Parras, Coahuila, México.

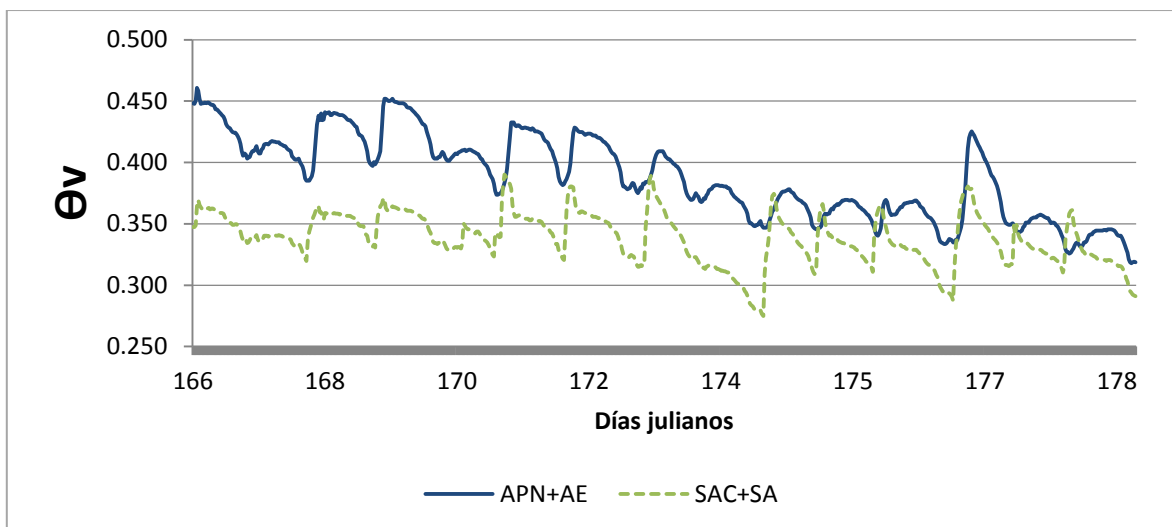


Figura 5. Comportamiento del contenido de humedad de suelo en el estrato de 0-30 cm de profundidad del Viñedo del día juliano 165 al 180 en 2013. Vinícola San Lorenzo. Parras, Coahuila, México.

El comportamiento del riego se puede apreciar en la figura 6, nótese que cuando ocurrió un evento de riego el contenido volumétrico de agua incrementa y por tanto en los tratamientos acolchados el contenido de humedad se mantiene por arriba de los tratamientos con suelo desnudo.

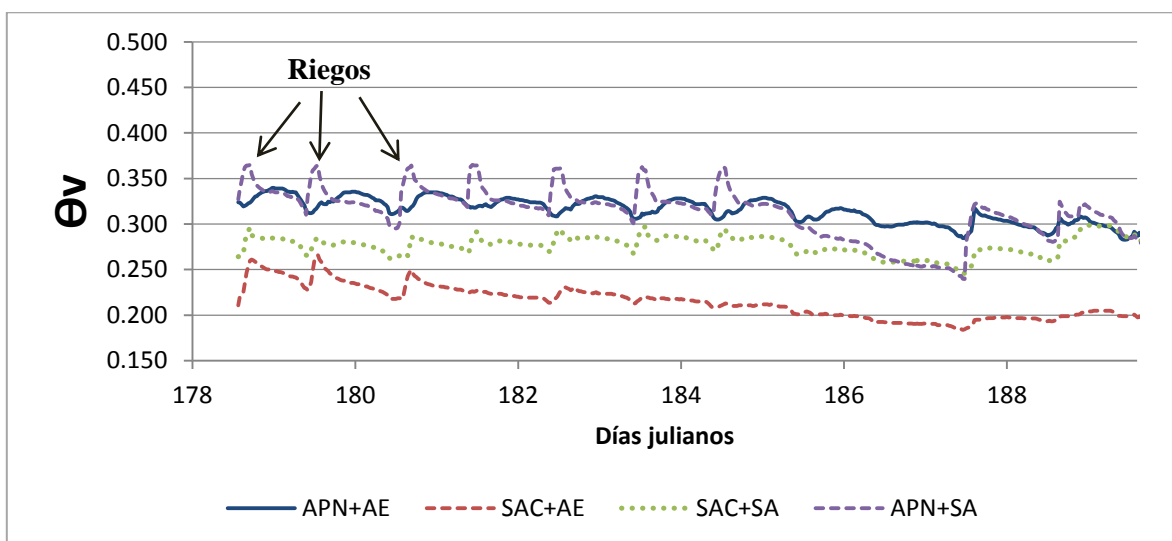


Figura 6. Comportamiento del contenido de humedad de suelo en el estrato de 0-30 cm de profundidad del Viñedo del día juliano 180 al 190 de 2013. Vinícola San Lorenzo. Parras, Coahuila, México.

El riego aplicado al cultivo de vid (figura 7) en el área experimental presenta variaciones en el transcurso del tiempo, esto es debido a que la superficie recibió el mismo manejo de riego, de acuerdo con las normas establecidas por la Vinícola San Lorenzo.

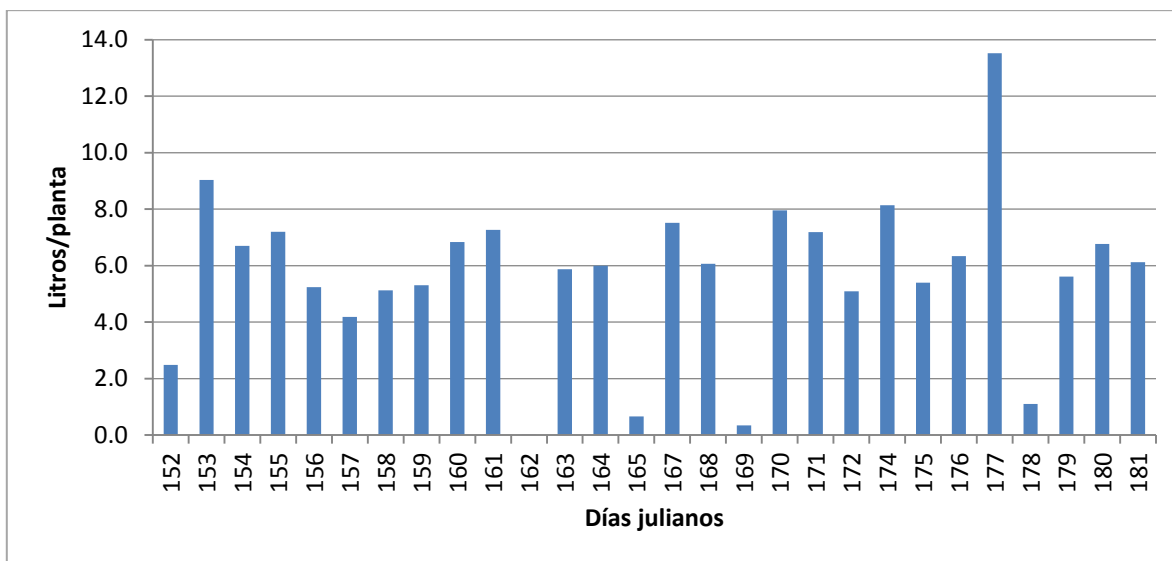


Figura 7. Comportamiento del riego aplicado al cultivo de vid del día juliano 152 al 181 de 2013. Vinícola San Lorenzo. Parras, Coahuila, México.

5.2.1 Lámina de consumo de agua en el cultivo de vid en un periodo del ciclo de cultivo 2013

De acuerdo a los valores obtenidos de contenido volumétrico del agua en el suelo del viñedo, se presentan en la figura 8 la lámina consumida para los tratamientos con APN+AE Y SAC+SA, donde se puede notar que durante el periodo de trece días quien presenta los valores más bajos de consumo es el tratamiento con acolchado y fertilización biológica, mientras que en suelo desnudo tratado el consumo fue mayor. Esto confirma la ventaja de utilizar acolchado de suelos, ya que mantiene la humedad en el mismo y contribuye al uso eficiente del agua.

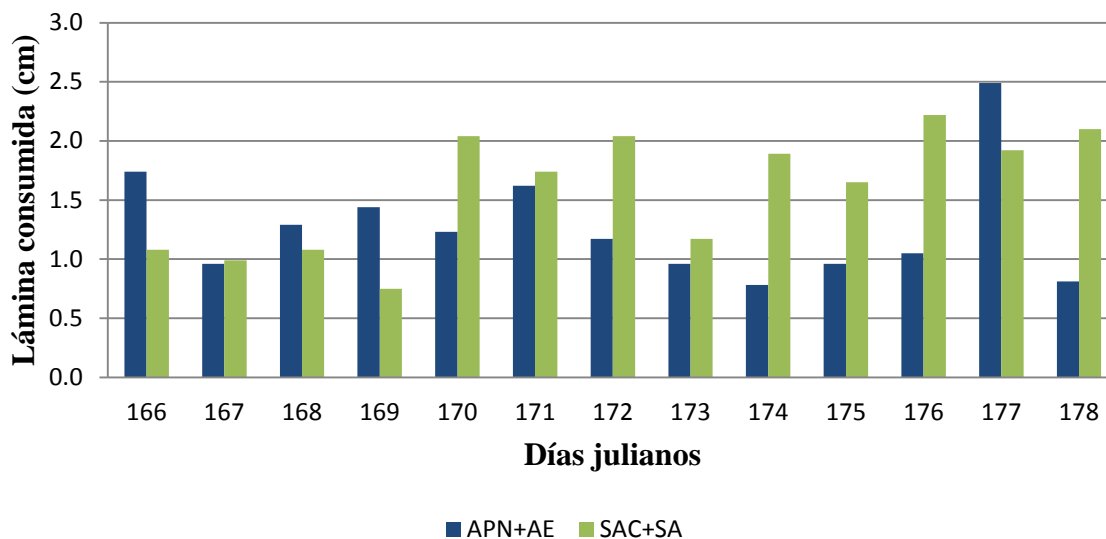


Figura 8. Consumo de agua (lámina consumida) por el cultivo de vid cv Shiraz en el periodo del día juliano 166 al 178 en el año 2013. Vinícola San Lorenzo. Parras, Coahuila, México.

5.3 Comportamiento de las variaciones del diámetro del tronco en vid y algunos parámetros derivados de VDT

En la figura 9, se puede observar la Evolución de las fluctuaciones diarias del diámetro del tronco durante dos días continuos (días julianos 172 y 173) Los dos días se utilizan para obtener los parámetros derivados. Lo que sucede durante el día, es un desequilibrio entre la demanda climática y la capacidad absorbente de las raíces, lo que reduce el potencial hídrico del xilema, favoreciendo el movimiento lateral desde el floema hacia el xilema y ocasionando la contracción del tronco, alcanzando los mínimos después del medio día (MNDT). Ahora bien, en el transcurso de la noche, la planta recupera su equilibrio hídrico y el movimiento del agua es en sentido contrario (del xilema hacia el floema), provocando así el inchamiento del tronco, alcanzando los valores máximos antes del alba (MXDT) (Molz y Klepper, 1972). Por tanto, las diferencias entre estos valores en dos días consecutivos constituyen la tasa de crecimiento del mínimo (CMNDT) y máximo (CMXDT) diámetro del tronco. Resultando también la máxima contracción diaria (MCD) para un determinado día, la cual se obtiene por diferencia entre el valor de MXDT y el MNDT.

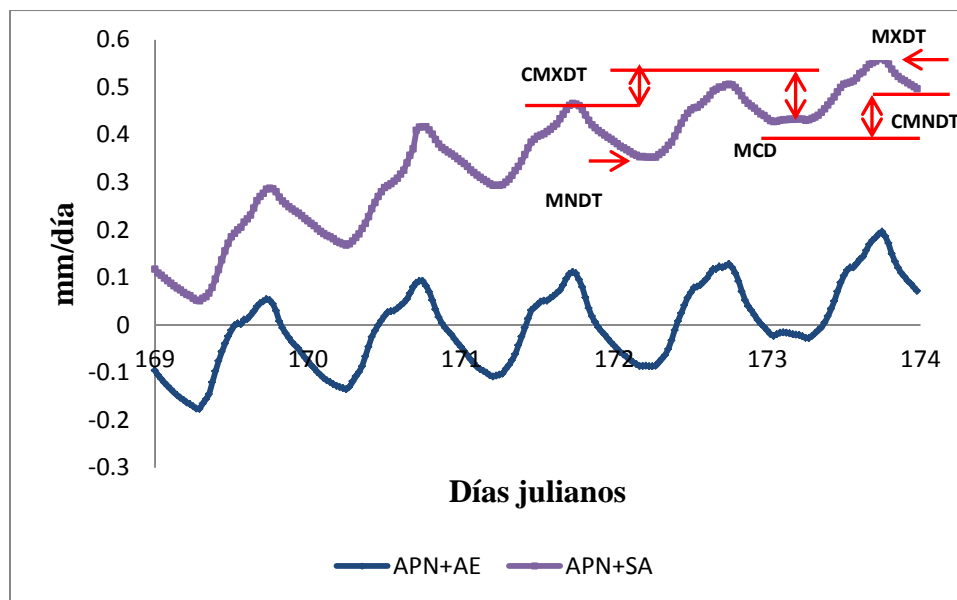


Figura 9. Evolución diaria del diámetro de tronco de vid cv Shiraz, vinícola San Lorenzo. Parras, Coahuila, México.

Uno de los índices derivados de los datos de VDT que se han utilizado para interpretar dichos resultados es la Tasa de Crecimiento Relativo (TCR), la cual se da durante la etapa de desarrollo e incluso hasta la madurez de la planta y este incremento en el crecimiento puede verse afectado por el estado hídrico en el que se encuentre la planta, ya que de no contar con las óptimas condiciones de agua disponible; paraliza su crecimiento e incluso puede iniciar el proceso de defoliación para adaptarse a las condiciones de escasez de agua.

El comportamiento de las TCR, tanto la TCR_{max} (Figura 10) como la TCR_{min} (Figura 11) muestran una tendencia congruente del desarrollo en el cultivo, esto se debe a que a partir del día juliano 160 el cultivo tenía un avanzado desarrollo vegetativo, después para el DJ 180 la TCR empieza a estabilizarse, esto puede ser debido al inicio de la pinta o envero (cambio de color o inicio de maduración); lo cual consiste en la acumulación de azúcares en las bayas y por tanto la savia elaborada se dirige solamente a los racimos, así mismo las reservas en sacarosa y almidón de la madera y sistema radicular también hacia el fruto. Así mismo, al estar próximo el periodo de cosecha y a la reducción del riego, las TCR de los máximos y mínimos tienden a disminuir; lo cual explica que hubo una disminución en el crecimiento del tronco. Esto se ve reflejado en árboles jóvenes

principalmente, lo que según Moriana y Fereres (2002), representa una señal del desarrollo hídrico de las plantas. En cambio, en arboles adultos, Chalmers y van den Ende (1974) mencionan que es común encontrar TCR menores que a las de árboles nuevos; ya que la aparición de frutos provoca que el aporte de materia seca vaya a los tejidos leñosos.

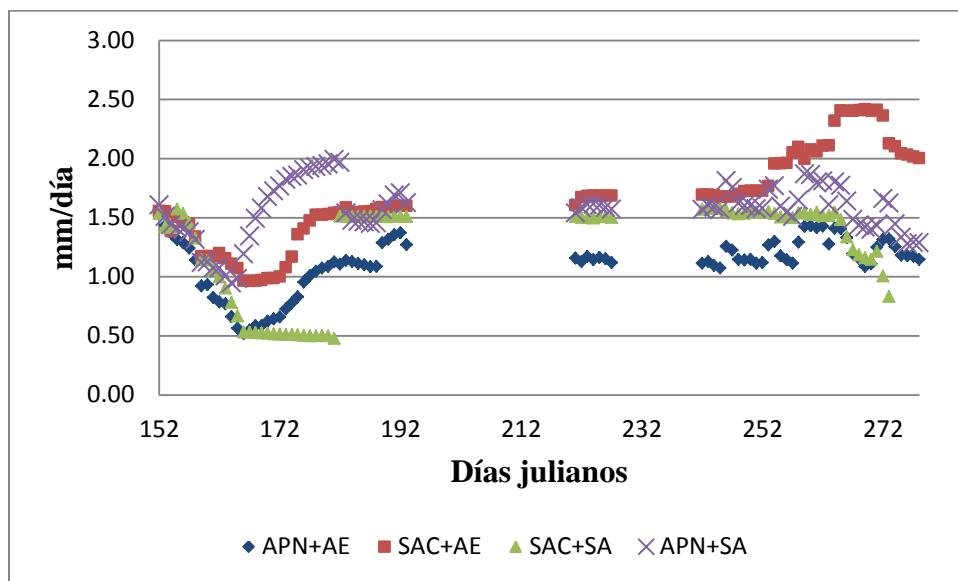


Figura 10. Tasa de crecimiento relativo (TCR_{max}) de los máximos, cada punto representa el crecimiento de un día.

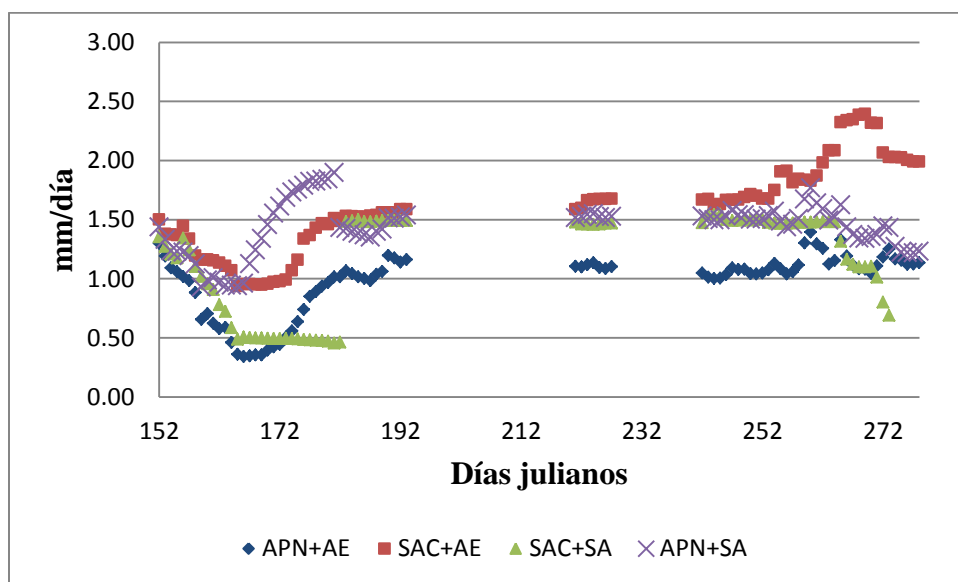


Figura 11. Tasa de crecimiento relativo (TCR_{min}) de los mínimos, cada punto representa el crecimiento de un día.

Entonces, la TCR se verá afectada no solo por el estado hídrico del árbol sino también por la edad, etapa fenológica y la formación de frutos; por ello se deberá considerar cada uno de estos factores para poder tomar la decisión de utilizar o no el crecimiento radial del tallo como un índice de estrés hídrico (Wardlaw, 1990).

Otro de los índices que pueden representar una interacción de las plantas con el suelo, el ambiente y su estado hídrico, es la MCD del tronco; la cual consiste en una contracción o expansión del tallo en función del requerimiento y el aporte de agua al mismo. La MCD (figura 12) es el resultado de la diferencia entre el Mínimo Diámetro del Tronco (MNDT) y el Máximo Diámetro del Tronco (MXDT).

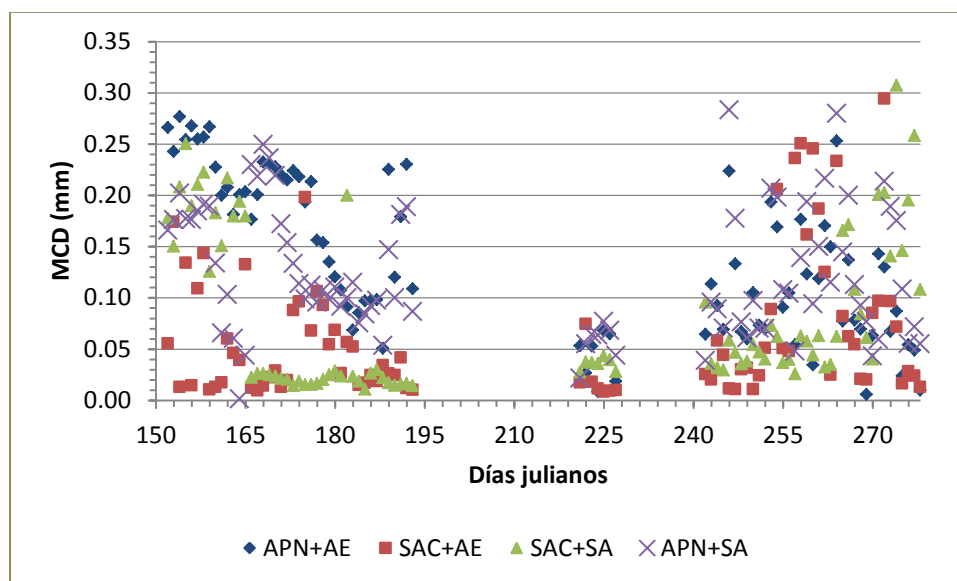


Figura 12. Valores de la máxima contracción diaria del tronco (MCD) en mm en Vid cv Shiraz, cada uno de los puntos representa el valor diario.

Como se observa en la figura 12 la MCD tiende a disminuir en el transcurso del ciclo de cultivo, teniendo valores máximos al inicio del mes de junio de 0.17 a 0.28 mm y después de 5 días de la etapa final (cosecha) los valores oscilaron entre 0.03 a 0.07 mm, esta decadencia en los valores de la MCD pudo haberse ocasionado por efecto de la cosecha y por el inicio de defoliación del cultivo, así mismo puede ser causado por una disminución

de la aplicación de riego; ya que una vez formado el fruto se requiere aplicar menos agua para lograr una óptima concentración de azúcares. Estos resultados son similares a los de Vélez *et al.*, (2007) donde al realizar un estudio en cítricos encontraron que el crecimiento del tronco se reduce de forma proporcional a la reducción del suministro hídrico. Por su parte, Intrigliolo y Castel (2005) encontraron que la MCD en arboles de ciruelo parece ser un indicador de estrés fiable. Resultados afines fueron encontrados por Fereres y Goldhamer (2003), Naor y Cohen (2003) en otras especies de frutales, donde fue notoria una inestabilidad de los valores de la MCD; por lo que es necesario llevar a cabo una considerable cantidad de medidas para determinar el estado hídrico del árbol con más precisión.

5.4 Parámetros de calidad en frutos de vid

Respecto de los parámetros de calidad considerados (cuadro 2), tanto para °Brix como para Acidez (pH) no hubo diferencia estadísticamente significativa entre tratamientos. Sin embargo, numéricamente los valores de °Brix más altos correspondieron a los tratamientos menos productivos (APN+AE y SAC+AE) con los valores de 26.13 y 26.03 respectivamente. Los tratamientos que mejor combinaron una aceptable pérdida de producción, con un mayor valor de °Brix, fueron los tratamientos SAC+SA y APN+SA. Estos resultados difieren a los presentados por Colapietra y Alexander (2005) quienes al aplicar extractos de algas marinas (*Ascophylum nodosum*) vía foliar, obtuvieron un incremento de 17°Brix en *Vitis vinífera* cv Italia. Así mismo, Khan *et al.*, (2012) obtuvieron un 28% de incremento en azúcares totales en Vid cv Perlette por efecto de la aplicación foliar de extractos de *A. nodosum*.

En el caso de la acidez (pH) se observa que, los tratamientos con acolchado plástico y fertilización biológica no tienen efecto alguno para esta variable, siendo que estadísticamente obtuvieron valores similares al testigo. Dichos valores se salen del rango utilizado para vinos tintos, ya que Sepúlveda (2009) menciona que el rango normal de pH debe fluctuar de 3.3 a 3.6. Valores muy altos corren el riesgo de que se desarrollen microorganismos no deseados.

Cuadro 2. Parámetros de calidad en frutos de Vid Var. Shiraz. Vinícola San Lorenzo. Parras, Coahuila, México.

Calidad		
Acolchado (A)	° Brix	Acidez (pH)
APN	25.8 a	3.9 a
SAC	25.7 a	3.8 a
Algaenzim (B)		
AE	26.0 a	3.9 a
SA	25.5 a	3.8 a
APN+AE	26.1 a	3.9 a
SAC+AE	26.0 a	3.9 a
SAC+SA	25.4 a	3.8 a
APN+SA	25.5 a	3.9 a
CV (%)	3.28	2.09
Tratamientos con la misma letra no difieren entre sí, DMS $P \leq 0.05$		

5.5 Rendimiento en el cultivo de vid

De acuerdo a los resultados de rendimiento en Vid (cuadro 3), no existieron diferencias significativas entre tratamientos, tanto para número total de racimos como para peso de racimos. Estos resultados reflejan que no hubo influencia alguna por parte del acolchado plástico ni de la fertilización biológica, ya que los tratamientos con APN+AE y SAC+AE tuvieron un comportamiento similar al testigo (SAC+SA). Estos resultados difieren a los encontrados por Godden y Hardie (1982), donde por efecto del acolchado se vio acelerado el desarrollo vegetativo de las viñas en los primeros años. Por tanto, el acolchado tiene un efecto positivo cuando se usa desde su reciente plantación, es decir, en los primeros años del viñedo. Además, los resultados obtenidos en el presente estudio son de un ciclo de producción del cultivo, por lo tanto se tendría que evaluar de 3 a 4 años para poder obtener resultados más precisos.

Cuadro 3. Número total de racimos y rendimiento del cultivo de Vid kg/m^2 en el año 2013. Vinícola San Lorenzo. Parras, Coahuila, México.

Rendimiento en Vid expresado en Kg/m^2		
Acolchado (A)	N° Total racimos	Peso de racimos
APN	12.8 a	1.2 a
SAC	12.3 a	1.3 a
Algaenzim (B)		
AE	12.0 a	1.1 a
SA	13.1 a	1.4 a
APN+AE	12 a	1.1 a
SAC+AE	11 a	1.1 a
SAC+SA	13 a	1.5 a
APN+SA	13 a	1.2 a
Tratamientos con la misma letra no difieren entre sí, DMS $P \leq 0.05$		

Como puede observarse, la figura 13 representa el rendimiento expresado en kg/m^2 obtenido en el cultivo de vid. La utilización de acolchado plástico y fertilización biológica no influyeron positivamente en el rendimiento del cultivo, ya que SAC+SA es quien presenta el mayor rendimiento de frutos, alcanzando 1.586 kg/m^2 , seguido por el APN+SA con 1.289 kg/m^2 , el SAC+AE con 1.168 kg/m^2 , y finalmente el APN+AE con un rendimiento de 1.116 kg/m^2 . Estos resultados difieren a los encontrados por Nakhalla F. y Ghali, M (1996), quienes emplearon acolchado plástico con riego localizado en el cultivo de naranjo y concluyen que el tratamiento con una cobertura del 75% de la superficie sombreada poseía un mayor volumen radicular en la zona entre 0 y 20 cm de profundidad y conseguía un aumento en la cosecha y en el tamaño del fruto.

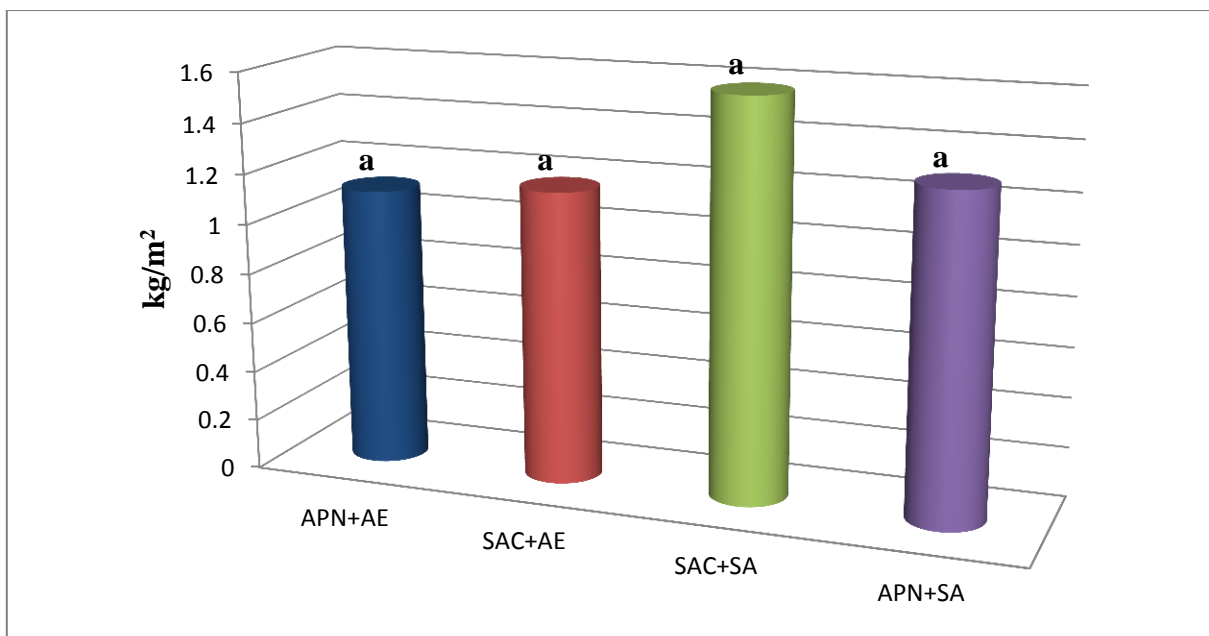


Figura 13. Rendimiento por tratamiento en el cultivo de Vid cv Shiraz. Vinícola San Lorenzo. Parras, Coahuila, México.

Experimento II – Cultivo: Tomate

A continuación se presentan los resultados y discusiones correspondientes a las variables evaluadas tanto para el estado hídrico del cultivo como algunos parámetros de rendimiento y calidad en tomate.

5.6 Potencial del agua en el xilema (Ψ_{wx}) del tomate

Como puede observarse en el cuadro 4 en la mayoría de los muestreos (excepto en el DJ 296) no hubo diferencia significativa entre los niveles del factor PD, mientras que para los niveles con PD+A hubo una notable variación, por lo que los DJ 337 y 41 difieren respecto de los demás, sin embargo numéricamente los tratamientos con pantalla dinámica obtuvieron los valores más negativos de potencial hídrico, esto explica el efecto de sombreo proporcionado por la pantalla aluminet; cuya función es reflejar la radiación y dar sombra al cultivo. Para el factor drenaje, en todos los muestreos (excepto el DJ 337) no hubo

diferencia significativa entre los niveles del 30% de drenaje, comparados con el nivel del 20%.

De acuerdo al análisis de varianza hubo diferencia significativa ($P \leq 0.05$) entre tratamientos, siendo los tratamientos PD+A30% y PD+A20% quienes presentaron los valores de potencial hídrico del xilema más negativo para el DJ 296 debido al efecto de la PD. Para el DJ 337 PD20% presenta los valores más negativos respecto de los demás tratamientos, mientras tanto para el DJ 351 no hubo diferencia significativa para los valores de potencial del xilema. Para el año 2014, en el DJ 41 PD30% y PD20% registraron los valores más negativos en comparación con PD+A30% y PD+A20%, mientras tanto en la última medición realizada para el DJ 71 la mayoría de los tratamientos presentaron los valores de potencial similares (excepto el PD+A30%). El tratamiento con el menor porcentaje de drenaje y únicamente con pantalla dinámica (PD20%) fue donde se registró el menor potencial hídrico. Estos resultados son similares a los reportados por Godoy *et al.* (2005) e Ismail (2010), quienes indicaron que a menor disponibilidad del agua en el suelo es menor también el potencial hídrico. En general, las pantallas como es el caso de Aluminet, proporcionan sombreado y reflejan la radiación, lo cual hasta cierto punto es un beneficio para el cultivo; ya que disminuyen el estrés por exceso de radiación (temperaturas altas) y por consiguiente reducen el estrés hídrico, aunque este último está en función del agua disponible para la planta en el suelo o sustrato; así como también de la estación del año.

Estos resultados nos indican que los niveles del factor drenaje son estadísticamente iguales (cuadro 4), por lo que no es necesario utilizar un 30% de drenaje para el cultivo de tomate híbrido Gabriela, ya que con un 20% de drenaje es suficiente para mantener en condiciones óptimas al cultivo, además de poder hacer un uso más eficiente del agua (cuadro 4).

Cuadro 4. Medias de potenciales del agua (Ψ_{wx}) en la planta de tomate híbrido Gabriela bajo condiciones de invernadero.

	Años					
	2013			2014		
	Día juliano					
	296	337	351	41	71	Prom.
Pantallas (A)						
	MPa					
PD	-0.17 b	-0.13 a	-0.15 a	-0.12 a	-0.11 a	-0.14
PD+A	-0.22 a	-0.12 b	-0.14 a	-0.10 b	-0.10 a	-0.14
Drenajes (B)						
Drenaje 30%	-0.19 a	-0.12 b	-0.15 a	-0.11 a	-0.10 a	-0.13
Drenaje 20%	-0.20 a	-0.12 a	-0.14 a	-0.11 a	-0.11 a	-0.14
PD+A30%	-0.22 a	-0.12 b	-0.15 a	-0.10 b	-0.10 b	-0.14
PD+A20%	-0.22 a	-0.12 b	-0.14 a	-0.10 b	-0.11 a	-0.14
PD30%	-0.17 b	-0.12 b	-0.15 a	-0.12 a	-0.11 a	-0.13
PD20%	-0.18 b	-0.13 a	-0.15 a	-0.13 a	-0.11 a	-0.14
CV (%)	7.3	2.5	3.7	4.3	5.9	
Tratamientos con la misma letra no difieren entre sí, DMS $P \leq 0.05$						

En la figura 14 se muestra el comportamiento del Ψ_{wx} en cinco mediciones realizadas durante el transcurso del experimento, los tratamientos PD30% y PD20% son los de mejor comportamiento, presentando valores al día del año 296 en torno a los -0.173 y -0.185 MPa respectivamente, sin embargo, los tratamientos PD+A30% y PD+A20% son los que presentan los valores más estresados, los cuales se esperaba que presentaran las plantas menos estresadas. Esto ocurre debido a que fue la primera fase en donde se iniciaba con el proceso de ajuste de los porcentajes de drenaje y por consiguiente hubo un margen de error +/- un 5% en los dos niveles (20 y 30 %). Cabe mencionar que a partir del día del año 337 se logró en la mayoría de las mediciones obtener los valores congruentes numéricamente, donde los tratamientos PD30% y PD20% fueron los que presentaron los potenciales más negativos. Ahora bien, los tratamientos con PD+A30% y PD+A20% fueron quienes presentaron plantas con un potencial menos negativo, dichos valores eran de esperarse.

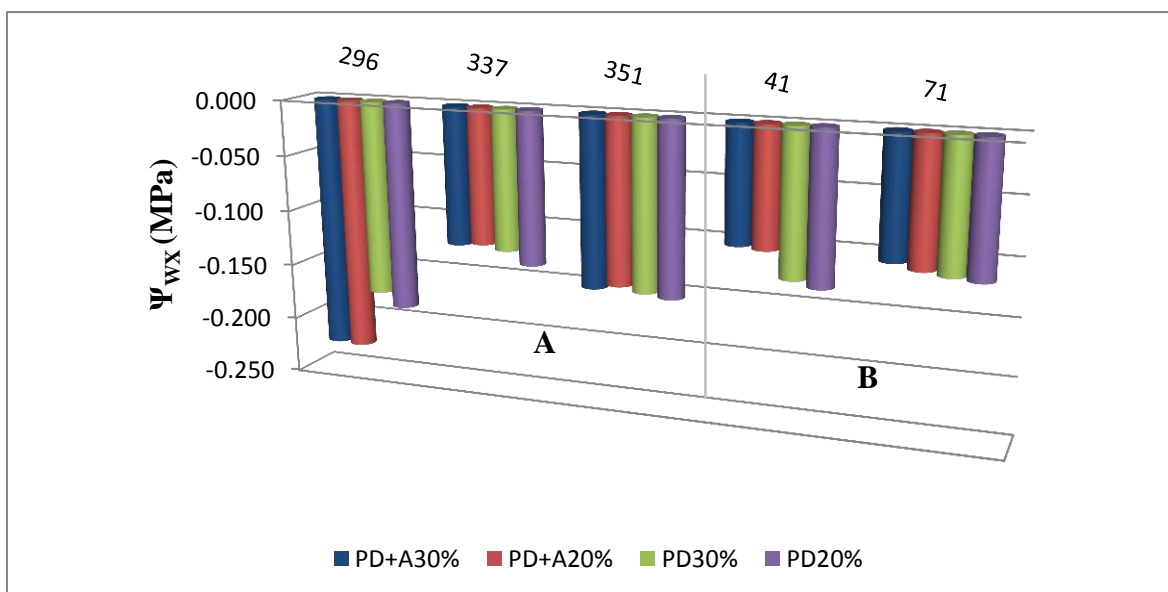


Figura 14. Comportamiento del potencial del agua en el xilema (Ψ_{wx}) del cultivo de tomate bajo condiciones de invernadero en 2013 (A) y 2014 (B).

5.7 Comportamiento del Riego, drenaje y consumo de agua en el cultivo de tomate en las estaciones verano-otoño y otoño-invierno (2013-2014)

Las figuras 15 y 16 presentan el comportamiento del riego, drenaje (30% y 20%) y consumo de agua durante el periodo verano-otoño y otoño-invierno en el cultivo de tomate híbrido Gabriela. El porcentaje de drenado tuvo un margen de error de $\pm 5\%$, tratándose de mantener en un 30% y un 20% durante todo el periodo del cultivo. Para el nivel donde se mantuvo un drenaje del 30% (Figura 15) el consumo total por planta fue de 87.01 litros.

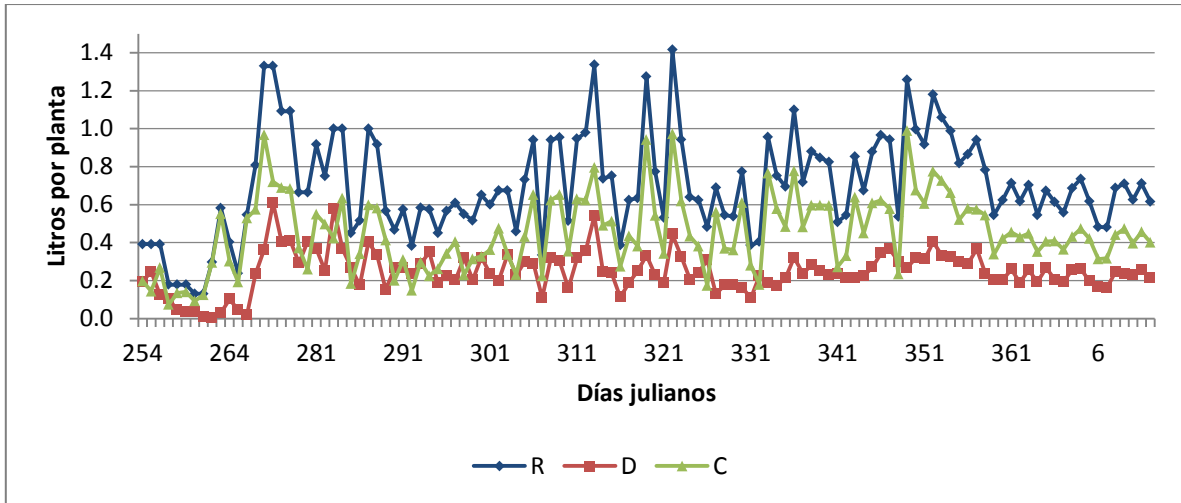


Figura 15. Comportamiento del riego, drenaje (30%) y consumo de agua en el cultivo de tomate híbrido Gabriela en un sistema hidropónico bajo condiciones de invernadero correspondiente al periodo comprendido de los 36 a los 159 ddt.

En la figura 16 se mantuvo un drenaje del 20% y de acuerdo a los datos obtenidos durante todo el experimento el consumo total por planta fue de 78.4 litros. Obteniendo un consumo promedio de 82.7 litros por planta, considerando ambos niveles de drenaje. Estos resultados son menores a los reportados por Flores *et al.*, (2007), donde al trabajar con tomate saladette cv Tequila, mencionan un consumo aproximado de 110 litros por planta.

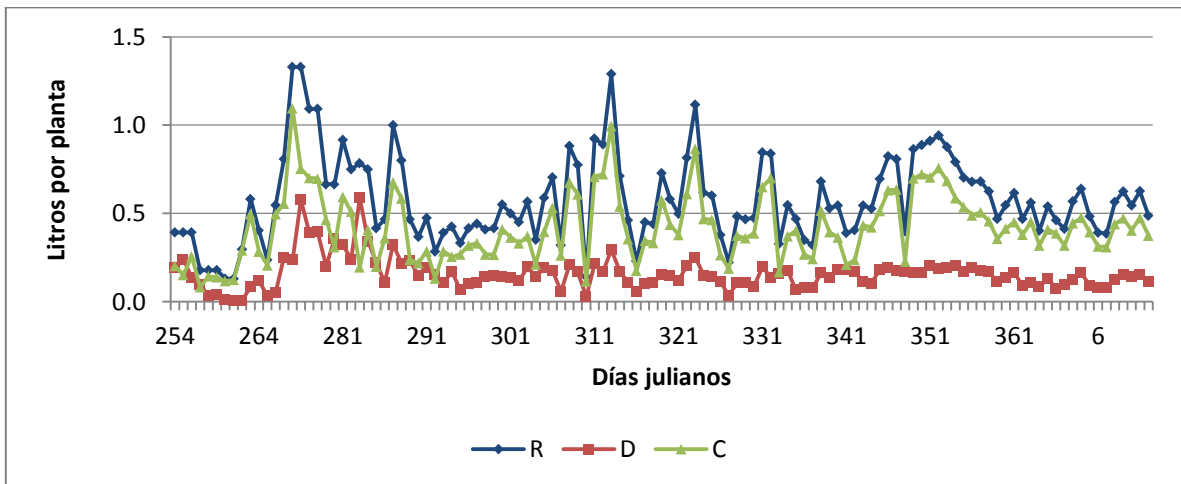


Figura 16. Comportamiento del riego, drenaje (20%) y consumo de agua en el cultivo de tomate híbrido Gabriela en un sistema hidropónico bajo condiciones de invernadero correspondiente al periodo comprendido de los 36 a los 159 ddt.

5.7.1 Comportamiento del riego, drenaje y consumo de agua en el cultivo de tomate durante todo un día de otoño en 2013

Las figuras 17 y 18 demuestran el comportamiento del R, D y C de agua en un día de otoño, donde la temperatura media máxima y mínima fluctuaron entre los 9 °C y los 23°C respectivamente. En general, el mayor consumo de agua se dio entre las 12:00 y las 15:00 horas, momento en el cual se incrementaba el volumen de riego para lograr mantener un promedio del 20 y 30 por ciento de drenaje. Al final del día se estimó un consumo total por planta de 0.711 litros para la sección del 20% y de 0.898 litros en la sección del 30%.

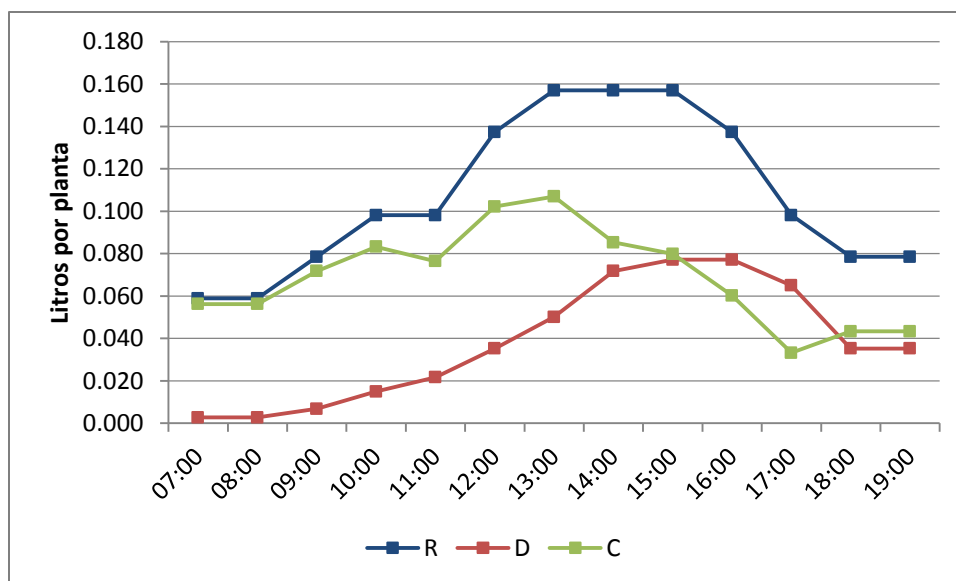


Figura 17. Comportamiento del riego, drenaje (30%) y consumo de agua en el cultivo de tomate “híbrido Gabriela” en un sistema hidropónico bajo condiciones de invernadero correspondiente al día juliano 331.

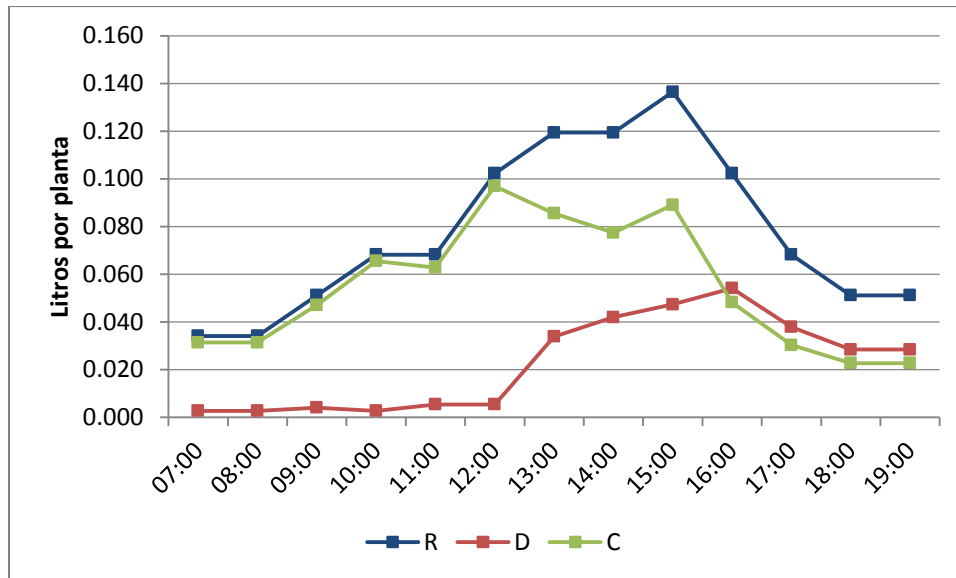


Figura 18. Comportamiento del riego, drenaje (20%) y consumo de agua en el cultivo de tomate “híbrido Gabriela” en un sistema hidropónico bajo condiciones de invernadero correspondiente al día juliano 331.

5.7.2 Lámina aplicada y de consumo de agua en el cultivo de tomate en las estaciones verano-otoño y otoño-invierno (2013-2014)

La figura 19 muestra la lámina aplicada y de consumo de agua en el cultivo de tomate durante ocho meses de producción en los niveles del 20% y 30% de drenaje. La lámina de riego aplicada para ambos niveles fue diferente, siendo que se aplicaron 347.18 mm (nivel 20%) y 429.20 mm (nivel 30%), respectivamente. Nótese que en la sección del 20%, la lámina consumida fue de 258.84 mm, en comparación a la consumida en donde se mantuvo un 30% de drenaje; la cual fue de 287.14 mm. Cabe mencionar que estos resultados se obtuvieron en una superficie de 432 m², es decir, cada sección fue de 216 m².

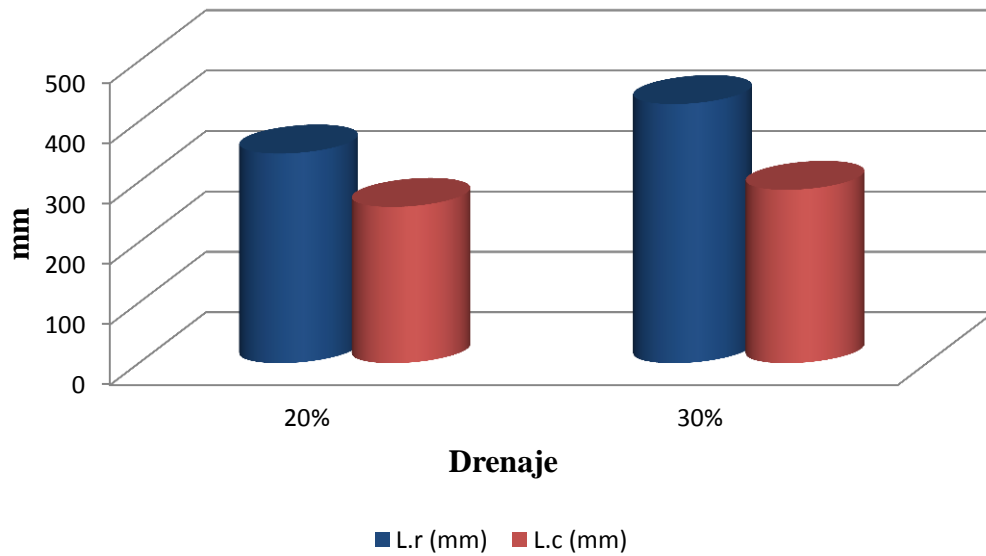


Figura 19. Lámina de riego (L.r) y consumo (L.c) de agua por el cultivo de tomate híbrido “Gabriela” bajo condiciones de invernadero en el periodo 2013-2014.

5.8 Comportamiento de las variaciones del diámetro del tallo en tomate y algunos parámetros derivados de las VDT

Evolución de las fluctuaciones diarias del diámetro de tallo (figura 20) durante dos días consecutivos.

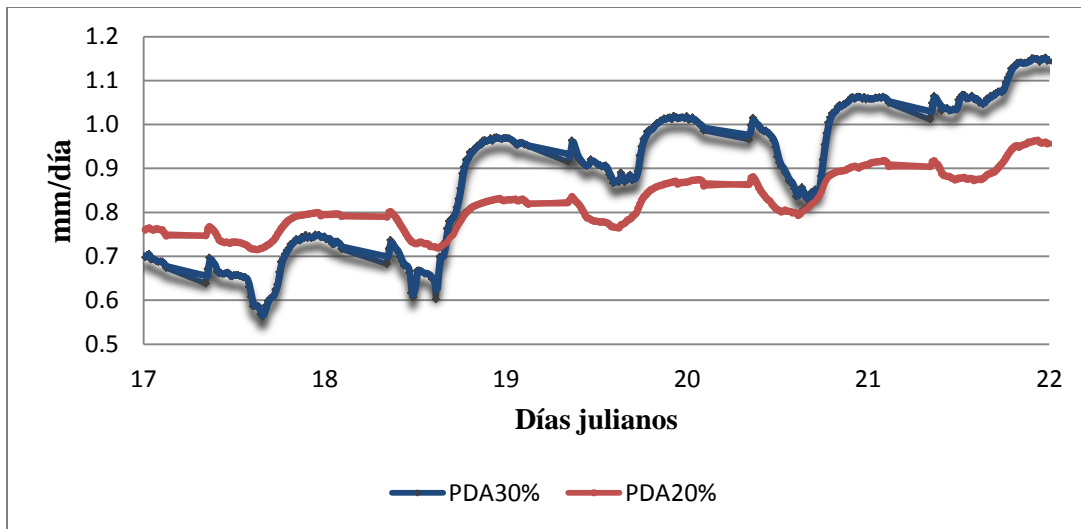


Figura 20. Evolución diaria del diámetro de tallo de tomate híbrido Gabriela bajo invernadero en el año 2014.

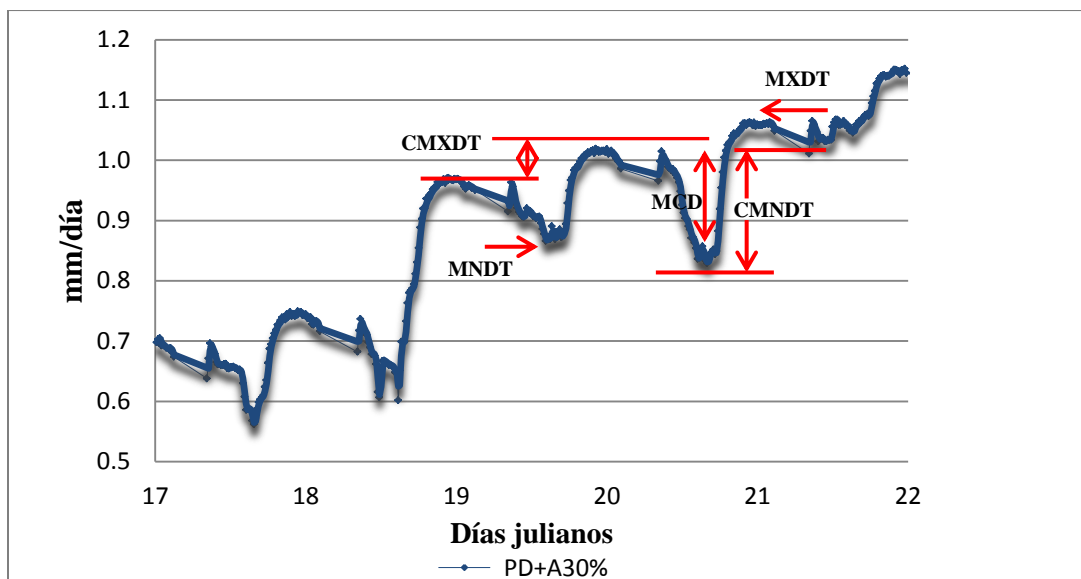


Figura 21. Evoluciones diarias de diámetro del tallo en tomate híbrido Gabriela, en 2014 y parámetros derivados: Máximo (MXDT) y mínimo (MNDT) diámetro del tallo, tasa de crecimiento del mínimo (CMNDT) y máximo (CMXDT) diámetro del tallo y la máxima contracción diaria (MCD).

Uno de los índices derivados de los datos de VDT que se han utilizado para interpretar dichos resultados es, la Tasa de Crecimiento Relativo (TCR), la cual se da durante la etapa de desarrollo e incluso hasta la madurez de la planta y este incremento en el crecimiento puede verse afectado por el estado hídrico en el que se encuentre la planta, ya que de no contar con las óptimas condiciones de agua disponible; paraliza su crecimiento e incluso puede detener su desarrollo vegetativo para adaptarse a las condiciones de escasez de agua.

El índice de la respuesta en la planta respecto a su estado hídrico está representado por la TCR, nótese en la figura 22 que PD+A30% mantuvo un crecimiento directamente proporcional al paso de los días, presentando un comportamiento similar al tratamiento PD+A20%, mientras que para PD20% y PD30% solo presentaron un mayor crecimiento en el transcurso de los primeros 37 días y a partir de ese momento su crecimiento radial del tallo fue lineal, es decir no hubo incremento alguno en el diámetro del tallo, esto es debido

a que ningún tratamiento tuvo limitaciones de riego y además coincidió con el periodo de invierno donde la producción es menguada. Por otro lado, en PD30% se presenta el menor crecimiento al paso de los días, sin embargo, es el tratamiento que mostró el mayor rendimiento; posiblemente esto es debido a una redistribución de los fotoasimilados, por la presencia de los frutos como fuertes sumideros. Este comportamiento fue un tanto similar al reportado por Hernando *et al.*, (2008), quienes al evaluar el crecimiento diario del tronco en vides de Cabernet Sauvignon, notaron una reducción en la curva del crecimiento del tronco y lo atribuyeron al comienzo del envero; ya que en esa atapa los racimos son los sumideros principales.

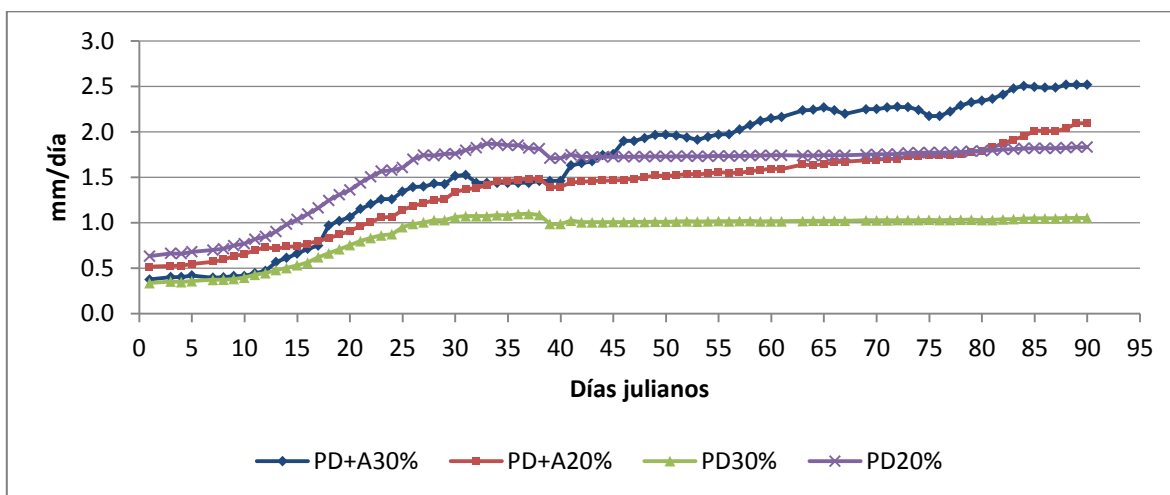


Figura 22. Tasa de crecimiento relativo (TCR) de los máximos en tomate “híbrido Gabriela” en 2014, cada punto representa el crecimiento de un día.

Tanto los valores de la TCR de los máximos como de los mínimos tienen una tendencia similar, esto se puede apreciar en la figura 23 (TCR Mínimos). Por tanto, los datos de la TCR máximos y mínimos, además de permitir observar el comportamiento del crecimiento radial del tallo; también se pueden utilizar para determinar las contracciones del diámetro de tallo que se presentan en la planta durante todo un día, ya que las mediciones o valores son continuos durante el tiempo que se determine para el monitoreo en campo.

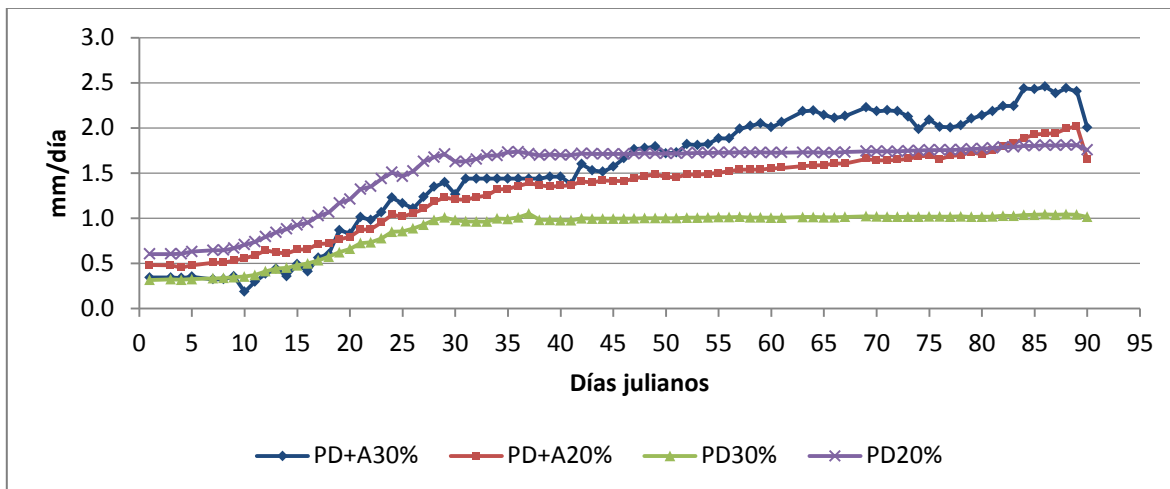


Figura 23. Tasa de crecimiento relativo (TCR) de los mínimos en tomate “híbrido Gabriela” en 2014, cada punto representa el crecimiento de un día.

La máxima contracción diaria es un indicador de la disponibilidad hídrica, por tanto cuando existe agua disponible para la planta, el tallo o tronco tiende a contraerse y a recuperarse; es por ello que un tratamiento sin limitaciones hídricas poseerá mayor MCD. Lo anterior se puede observar en la figura 24, la cual demuestra que generalmente los tratamientos PD+A30% y PD+A20% son los que presentan las máximas contracciones diarias, esto se debe al efecto proporcionado por la pantalla dinámica+aluminet; lo que provoca una reducción de la temperatura del invernadero y además puede causar una disminución en el rendimiento (Cockshull et al., 1992).

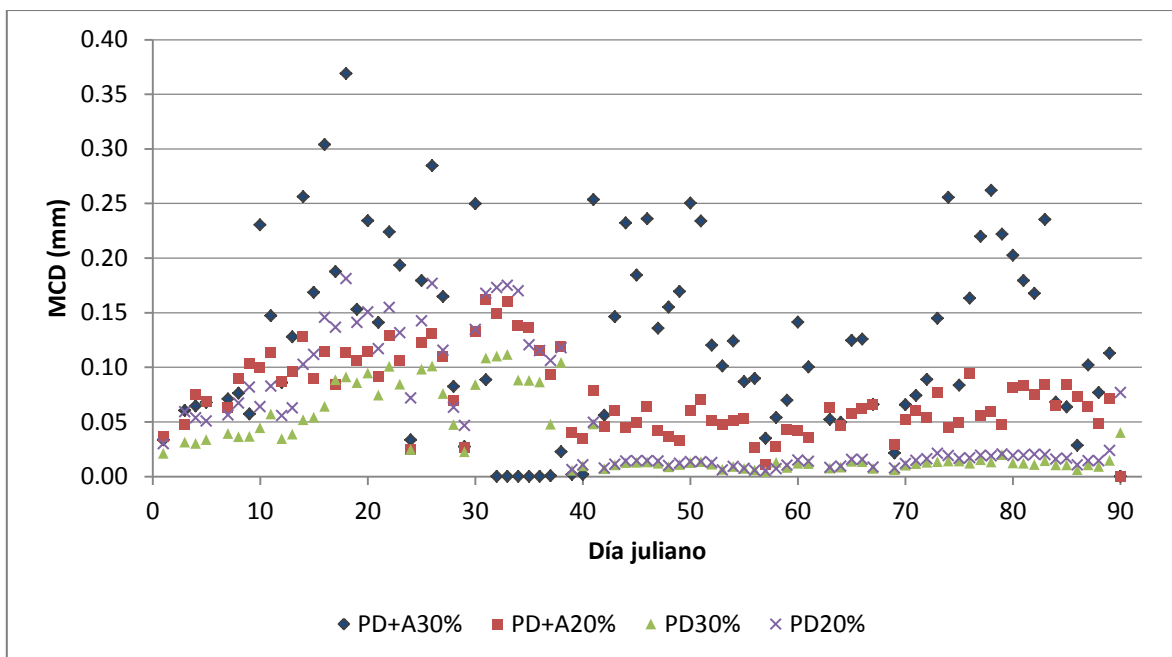


Figura 24. Valores de la máxima contracción diaria del tronco (MCD) en mm en tomate híbrido Gabriela, en 2014; cada uno de los puntos representa el valor diario.

5.9 Parámetros de calidad en frutos de tomate

En el cuadro 5 se presentan los resultados correspondientes a °Brix de los frutos de tomate, donde se puede observar que no hubo influencia alguna por efecto del factor pantallas, ya que en la mayoría de los periodos de muestreo (excepto periodo 1) no hubo diferencias significativas entre los niveles PD y PD+A. Algo similar ocurrió en el factor drenaje, en el cual casi todos los periodos donde se realizó el muestreo no presentan diferencias significativas, ni para el nivel 30% y tampoco para el 20%.

Cuadro 5. Parámetros de calidad en frutos de tomate híbrido “Gabriela” bajo condiciones de invernadero.

°Brix por periodo							
	Periodo 1	Periodo 2	Periodo 3	Periodo 4	Periodo 5	Periodo 6	Periodo 7
Pantallas							
(A)							
PD	3.3 a	3.5 a	4.2 a	3.8 a	3.5 a	4.3 a	4.3 a
PD+A	2.9 b	3.3 a	4.0 a	4.0 a	3.7 a	4.5 a	4.4 a
Drenajes							
(B)							
30%	3.1 a	3.4 a	4.0 a	3.9 a	3.6 a	4.2 b	4.2 b
20%	3.2 a	3.4 a	4.1 a	3.9 a	3.7 a	4.6 a	4.6 a
PD+A30%	2.8 b	3.3 a	3.8 b	4.1 a	3.7 a	4.2 b	4.2 b
PD+A20%	3.1 a	3.4 a	4.1 a	4.0 a	3.8 a	4.7 a	4.7 a
PD30%	3.4 a	3.6 a	4.3 a	3.8 a	3.5 a	4.2 b	4.2 b
PD20%	3.3 a	3.4 a	4.2 a	3.8 a	3.6 a	4.4 a	4.4 a
CV (%)	7.8	5.6	7.4	7.3	6.0	4.3	2.88

Tratamientos con la misma letra no difieren entre sí, DMS $P \leq 0.05$

5.10 Evaporación (Ev) en el interior del invernadero durante el experimento del cultivo de tomate

Durante el transcurso del experimento se midió la evaporación (figura 25) en el interior del invernadero y los datos obtenidos reflejan claramente que en el periodo a finales del verano la evaporación fue mayor y conforme se acercaba el otoño-invierno hubo un descenso. Esta información nos da las condiciones de la demanda evaporativa en el interior del invernadero. De acuerdo a las mediciones obtenidas, en el mes de Agosto se presentó una Ev promedio de 3.68 mm en el interior del invernadero, lo cual es muy contrastante respecto a los valores reportados por García (1987), donde menciona que en Saltillo la Ev promedio mensual es de 178 mm. Por lo tanto, la evaporación registrada para el mes de agosto corresponde al 2.06 % de la media mensual reportada.

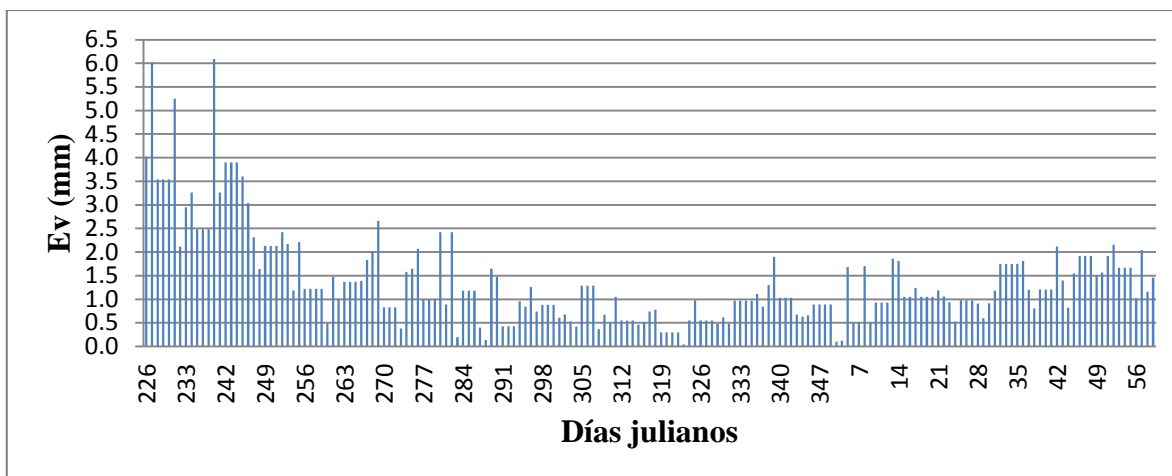


Figura 25. Comportamiento de la evaporación (mm) en el interior del invernadero durante los periodos verano-otoño y otoño-invierno de 2013 y 2014 respectivamente.

5.11 Actividad fotosintética de la planta de tomate bajo condiciones de invernadero

En la figura 26 se muestra la actividad fotosintética máxima, la cual se da entre las 13:00 y 15:00 horas del día. Se observa que en general la fotosíntesis fue en promedio mayor en el sector donde se tenían los tratamientos con PD30% Y PD20% respectivamente, ya que en el sector donde se tenía PD+A20% y PD+A30% se obtuvieron valores un tanto más bajos; esto explica que existe un efecto por el nivel PD+A. Siendo la pantalla aluminet la que refleja la radiación y por tanto disminuye la tasa fotosintética en la planta.

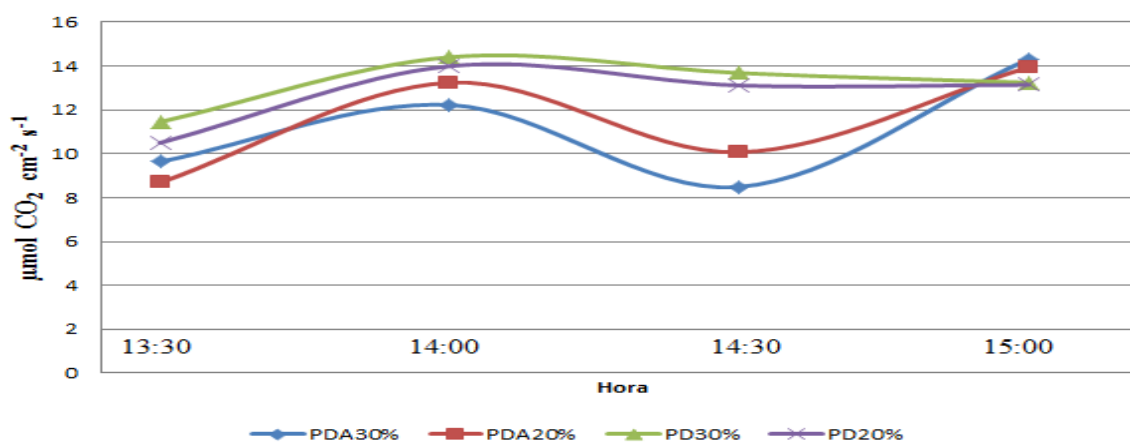


Figura 26. Comportamiento de la actividad fotosintética en la planta de tomate bajo invernadero en un periodo del día juliano 41 en el año 2014.

5.12 Rendimiento en el cultivo de tomate

El cuadro 6 demuestra que los tratamientos con PD30% y PD20% tuvieron significativamente mayor rendimiento en comparación con los tratamientos PD+A20% Y PD+A30% (excepto en los periodos 2 y 4), siendo superados por 8.86 t ha⁻¹ en promedio. Estos resultados ponen de manifiesto a lo encontrado por diferentes autores donde se comprueba que el uso de pantallas de sombreo se encuentra asociado a reducciones en el rendimiento, por ejemplo en berenjena (Wolff y Coltman, 1990) en rosas (Chandler y Watson 1954; Coker y Hanan, 1988) y en el cultivo de tomate (Cockshull *et al.*, 1992), donde el rendimiento máximo fue obtenido en el Testigo sin malla y a medida que aumentaba la intensidad de sombreo también disminuía la producción.

Por otra parte, Callejón-Ferre *et al.*, (2009) en el cultivo de tomate al haber sometido al cultivo bajo un sistema con diferentes porcentajes de sombreo y un sistema de encalado artificial, encontraron que el tratamiento con encalado es el que proporciona el mayor rendimiento.

Cuadro 6. Rendimiento por periodos de tres cortes en el cultivo de tomate bajo condiciones de invernadero.

Rendimiento por periodo y total expresado en Kg·m⁻²								
	Periodo 1	Periodo 2	Periodo 3	Periodo 4	Periodo 5	Periodo 6	Periodo 7	Rendimiento Total
Pantallas								
(A)								
PD	6.6 a	2.1 a	3.8 a	2.8 a	2.5 a	2.1 a	2.2 a	23.2 a
PD+A	2.3 b	2.0 a	2.5 b	3.1 a	1.9 b	1.2 b	1.1 b	14.4 b
Drenajes								
(B)								
30%	5.0 a	2.2 a	3.2 a	2.9 a	2.1 a	1.7 a	1.7 a	19.8 a
20%	3.9 a	2.0 a	3.1 a	2.9 a	2.3 a	1.6 a	1.5 a	17.8 a
PD+A30%	0.8 c	2.2 a	2.3 b	3.0 a	1.8 b	1.4 b	0.9 bc	12.6 c
PD+A20%	3.7 b	1.8 a	2.6 b	3.1 a	2.0 b	1.1 b	1.2 b	16.2 bc
PD30%	9.2 a	2.2 a	4.0 a	2.9 a	2.4 a	2.0 a	2.6 a	27.0 a
PD20%	4.0 b	2.1 a	3.7 a	2.8 a	2.7 a	2.2 a	1.8 a	19.4 b
CV (%)	35.6	12.7	6.7	7.3	11.5	29	15.1	4.8

Tratamientos con la misma letra no difieren entre sí, DMS $P \leq 0.05$

De acuerdo al análisis de varianza los tratamientos PD30% y PD20% son los que presentaron mejores rendimientos en la mayoría de los periodos (excepto en los periodos 2 y 4). Siendo PD30% el que obtuvo el mayor rendimiento total, con una producción de 27.09 Kg·m⁻² seguido por PD20% con 19.48 Kg·m⁻², el PD+A20% con 16.24 Kg·m⁻² y el PD+A30%) 12.60 Kg·m⁻² siendo superado este último por todos los tratamientos evaluados en el experimento. En este estudio únicamente existió efecto por el uso de las pantallas, mientras tanto, los niveles de drenaje no provocaron efecto alguno para las variables en estudio.

La figura 27 expresa el rendimiento total obtenido en el cultivo de tomate bajo condiciones de invernadero. El manejo de dos diferentes niveles de drenaje combinados con PD y PD+PA influyeron en el rendimiento del cultivo, siendo PD30% quien presenta el mayor rendimiento de frutos, obteniéndose $27.09 \text{ Kg}\cdot\text{m}^{-2}$, seguido por el PD20% con $19.48 \text{ Kg}\cdot\text{m}^{-2}$, el PD+A20% con $16.24 \text{ Kg}\cdot\text{m}^{-2}$ y quedando PD+A30% con el rendimiento más bajo; alcanzando los $12.60 \text{ Kg}\cdot\text{m}^{-2}$.

Probablemente el uso de PD+PA influyo de manera negativa en términos de rendimiento, ya que el porcentaje de sombreo aumentó. Estos resultados son similares a los obtenidos por Russo (1993), quien realizó un experimento durante tres meses a inicios de verano y sus rendimientos obtenidos bajo condiciones de sombreo con malla no fueron sobresalientes.

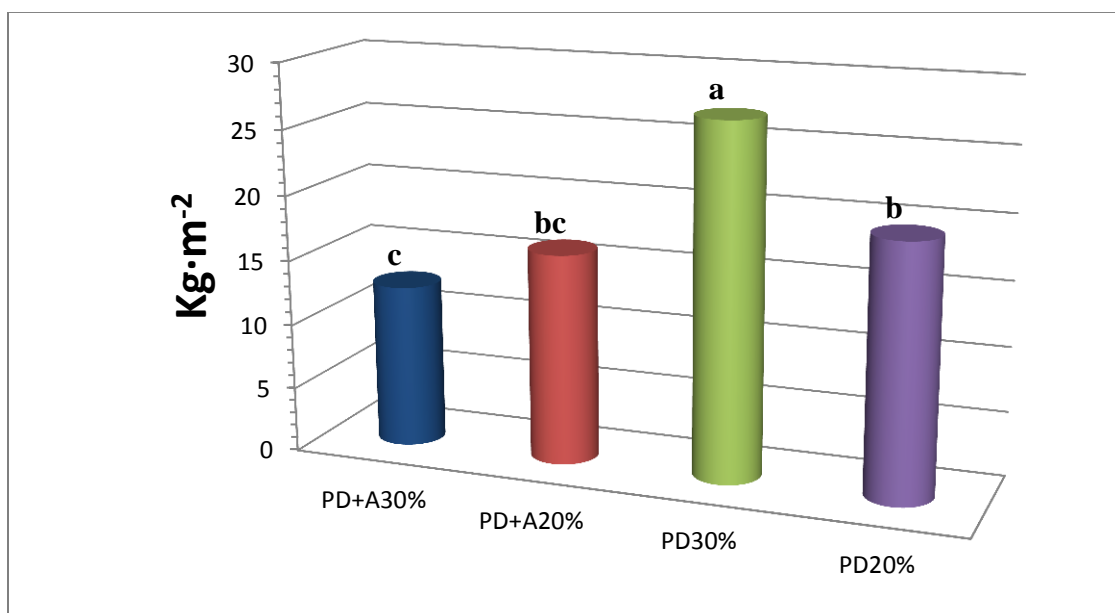


Figura 27. Rendimiento por tratamiento en el cultivo de tomate híbrido “Gabriela” bajo condiciones de invernadero.

VI. CONCLUSIONES

La estimación de las variaciones de diámetro de tronco o tallo mediante sensores LVDT (dendrómetros) aportan información valiosa del estado hídrico de las plantas, ya que los datos generados son el resultado de un monitoreo continuo de lo sucedido en la planta.

La máxima contracción diaria es un parámetro muy sensible que puede brindar información valiosa para ser utilizada para la programación del riego y por ser un buen indicador de las variaciones del estado hídrico de la planta a través del tiempo y en función de las condiciones a las que un cultivo esté sometido.

De la misma manera la TCR es un indicador del estado hídrico de la planta, pero también depende de la edad, etapa fenológica y la formación de fruto; por lo que se deberá tener mayor atención a cada uno de estos factores por los que se ve influenciada y de esta manera poder definir si es necesario o no utilizar el crecimiento radial del tallo como un índice del estrés por falta de agua.

Las variaciones del diámetro del tallo obtenidas mediante la dendrometría aportan información útil del estado hídrico de la planta, lo cual no sucede al emplear las mediciones de potencial del agua en el xilema, esto se debe a que las mediciones son puntuales y para obtener valores continuos se requiere de una alta demanda de mano de obra, así como la destrucción de una parte de la planta.

Ahora bien, al tratarse de dos cultivos totalmente diferentes, habrá que tomar especial cuidado y monitoreo constante, sobre todo en el cultivo de tomate u otras hortalizas, ya que a comparación de un frutal como lo es la vid, el tomate es de un ciclo corto que va de 8 meses hasta un año de producción por lo que la TCR, la MCD ocurren en cortos periodos de tiempo y se deberán valorar para su posible uso en la programación de riegos.

VII. LITERATURA CITADA

- Ajayi, A. E. y Olofayo, A. A. 2004. Evaluation of two temperature stress indices to estimate grain sorghum yield and evapotranspiration. *Agron. J.*, Vol. 96, p. 1282-1287.
- Alarcón, J.J., Domingo, R., Green, S.R., Sánchez-Blanco, M.J., Rodríguez, P. y Torrecillas, A. 2000. Sap flow as an indicator of transpiration and the water status of young apricot trees. *Plant and Soil*, 227 (1-2): 77-85.
- Almanza, P. 2011. Determinación del crecimiento y desarrollo del fruto de vid (*Vitis vinifera* L.) bajo condiciones de clima frío tropical. Tesis de Doctorado. Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. 148 p.
- Ameglio, T., Minguéau, M., Archer, P. y Pons, B. 1992. Water relations in Halzenut: Sap flow, predawn water potential and micromorphometric variations of stem diameter. *III International Congress on Halzelnut*. Alba. Italy.
- Amerine, M.A. y Ough, C.S. 1976. Análisis de vinos y mostos. Editorial Acribia, Zaragoza. España. 158 pp.
- Aung, L.H. 1976. Effects of photoperiod and temperature on vegetative responses of *Licopersicon esculentum*, Mill. *J. Ame. Soc. Hort. Sci.* 101: 358-360.
- Benacchio, S. S. 1982. Algunas exigencias agroecológicas en 58 especies de cultivo con potencial de producción en el trópico americano. Ministerio de Agricultura y Cría. FONAIAP-Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Maracay, Venezuela. 202 p.
- Blunden, G. 1991. Agricultural uses of seaweeds and seaweed extracts. Seaweed resources in Europe: Uses and potencial. M.D. Guiry and G. Blunden. John Wiley and Sons. Pp.65-81. Chichester.

- Boyer, J.S. 1968. Relationships of water potential to growth of leaves. *Plant Physiology*, 43: 1056-1062.
- Branas, J., Bernon, G. y Levandoux, L. 1946. *Elements de viticulture generale*. Ed. Delmas, Bordeaux. pp. 4147.
- Caffi, T., Legler, S. E., Rossi, V., and Bugiani, R., 2012. Evaluation of warming system for early-season control of grapevine powdery mildew. *Plant Disease*. Vol. 26 No. 1.
- Calvert, A. 1966. Temperature requirement of the young tomato plant. *Acta Horticulturae*, 4: 12-17.
- Calvert, A. 1973. Environmental responses. In: *The United Kingdom Tomato Manual*. Growers Books. London, England. Pp. 19-34.
- Callejón-Ferre, A.J., F. Manzano-Agugliaro, M. Díaz-Pérez, A. Carreño-Ortega, and J. Pérez-Alonso. 2009. Effect of shading with aluminized screens on fruit production and quality in tomato (*Solanum lycopersicum* L.) under greenhouse conditions. *Span. J. Agric. Res.* 7(1), 41-49.
- Campbell, G. S., and Campbell M. D. 1982. Irrigation scheduling using soil moisture measurements: theory and practice. In: Hillel, D. (ed). *Advances in Irrigation*. Vol. 1: 25-41.
- Carroll, J. E., and Wilcox, W. F., 2003. Effects of humidity on the development of grapevine powdery mildew. *The American Phytopathological Society*. Vol. 93. No. 9.
- Chalmers, O., van den Ende, B., 1974. Productivity of peach trees: factors affecting dry-weight distribution during tree growth. *Ann. Bot.* 41, 707–714.
- Chandler, E.L. and D.P. Watson. 1954. Contributions of various light intensities to the growth and yield of greenhouse roses. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 64:441–447.

- Cook, P. L. M., and others. 2006. Quantification of denitrification in permeable sediments: Insights from a two dimensional simulation analysis and experimental data. *Limnol. Oceanogr. Methods* 4: 294–307.
- Coker, F.A. and J.J. Hanan, 1988. The effect of shading on 'Samantha' roses. *Colorado State Research Bulletin* 455: 1-5.
- Cockshull, K.E., C.J. Graves and C.R.J. Cave, 1992. The influence of shading on yield of glasshouse tomatoes. *Journal of Horticultural Science* 67: 11-24.
- Colapietra, M., and A. Alexander. 2005. Effect of foliar fertilization on yield and quality of table grapes. *V International symposium on mineral nutrition of fruit plants* 721(1): 213-218.
- Conejero, W. 2008. Programación del riego en melocotonero mediante el uso de sensores del diámetro del tronco. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Cartagena. 149 pp.
- Cohen, Y. 1991. Determination of orchard water requirement by a combined trunk sap flow and meteorological approach. *Irrigation Science*, 12: 93–98.
- Domingo, R., Norest, P.A., Egea, G., Torres, R. y Perez Pastor, A. 2005. Utilización de sensores en planta para la programación del riego y uso eficiente del agua en la agricultura. *Vida Rural*, 217: 42-46.
- Egea, G. 2008. Caracterización y modelización de la respuesta agronómica y fisiológica del almendro al riego deficitario. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Cartagena. 309 pp.
- Egea, G., Pagán, E., Baille, A., Domingo, R., Nortes, P.A. y Pérez-Pastor, A. 2009. Usefulness of establishing trunk diameter based reference lines for irrigation scheduling in almond trees. *Irrigation Science*, 27: 431–441.

- Elfving, D.C., M.R. Kaufmann, and A.E. Hall. 1972. Interpreting leaf water potential with a model of the soil–plant–atmosphere continuum. *Physiol. Plant.* 27:161-168.
- Erulan, V., G. Thirumaran, P. Soundarapandian, and G. Ananthan. 2009. Studies on the effect of *Sargassum polycystum* (C. agardh, 1824) extract on the growth and biochemical composition of *Cajanus Cajan* (L.) Mill sp. *American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci.* 6(4): 392-399.
- Esquinas-Alcázar, J. y Nuez, V. F. 1995. Anatomía y fisiología de la planta. En: El cultivo Del tomate. F. Nuez ed. Mundi-Prensa. 793 p.
- Fabeiro C, Martín De Santa Olalla F, De Juan JA (2002) La producción de melón (*Cucumis melo* L.) bajo riego deficitario controlado en un clima semi-árido. *Agua Agric Administrar* 54:93-105.
- Fereres, E. y Goldhamer, D.A. 2003. Suitability of stem diameter variations and water potential as indicators for irrigation scheduling of almond trees. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology* (78):139-144.
- Flores, J.; Ojeda-Bustamante, W.; López, I; Rojano, A.; Salazar, I. 2007. Requerimientos de riego para tomate de invernadero. *Terra Latinoam.* 25:127-134.
- FIRA (Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura). 2010. Oportunidades de negocio en agricultura protegida. Boletín informativo. Nueva época. Núm. 7. 100 p.
- Gallardo M, RB Thompson, L.C. Valdez, Pérez C. 2004. Respuesta del diámetro del tronco a estrés hídrico en los cultivos hortícolas de invernadero. *ActaHortic* 664:253-260.
- Gallardo M, RB Thompson, LC Valdez y M.D. Fernández. 2005. Use of stem diameter variations to detect plant water stress in tomato. *Irrig Sci* 24: 241-255.
- Galston, A. W.; Davies P. J. and Satter, R. L. 1980. The life of the green plant. 3rd ed. Prentice-Hall. New Jersey. USA. p. 153.

- García, A. V. (1979). Men and events. México. *Plasticulture*. No. 41 Marzo. pp 62 -67. París, Francia.
- García, M. E. 1987. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Enriqueta García (Ed.) 4ta. Edición. México. 219p.
- Granier, A. 1985. Une nouvelle méthode pour la mesure du flux de seve brute dans le tronc des arbres. *Annales des Sciences Forestieres*, 42: 193–200.
- Garnier E, Berger A. 1985. Efecto del estrés hídrico en los cambios de diámetro de tallo de árboles de durazno que crecen en el campo. *J Appl. Ecol.* 23:193-209.
- Genard, M., S.Fishman, G. Vecambre, J. Huguet, and C. Bussi, J. 2001. A biophysical analysis of stem and root diameter variation in woody plants. *Plant. Physiol.* 126:188-202.
- Gil, M.; Gutiérrez, I. y Yuste, J. 2003. Efecto del riego moderado en el desarrollo foliar, el rendimiento y la maduración de la variedad Tempranillo cultivada en espaldera en el Valle del Duero. *Vit. Enol. Prof.*, 87: 5-18.
- Gil, M. y Yuste, J. 2004. Maturation phénolique des raisins rouges du cépage Tempranillo conduit en gobelet dans différentes conditions édapho-climatiques de la Vallée du Douro. *J. Int. Sci. Vigne Vin*, 38(1), 81-88.
- Ginestar C., Castel J.R. 1996. Utilización de dendrómetros como indicadores de estrés hídrico en mandarinos jóvenes regados por goteo. *Riegos y Drenajes XXI*, 89, 40-46.
- Godden, G. D. and W. J. Hardie. 1982. Comparison between grapevine response to polyethylene mulch and herbicide control of weeds. *Hort. Abst.* 52: 352.
- Godoy A C, Z Xopiyaxtle J, I Reyes J y C A Torres E. 2005. Comportamiento hídrico de hojas y frutos de nogal pacanero y su relación con la calidad y germinación de frutos. *Terra Latinoam.* 23:505-513.

- Goode, J.E. and K.H. Higgs.1973. Water, osmotic and pressure potential relationships in apple leaves. *J. Hort. Sci.* 48:203-215.
- Goldhamer, D.A., Fereres, E., 2001. Irrigation scheduling protocols using continuously recorded trunk diameter measurements. *Irrig. Sci.* 20: 115–125.
- Goldhamer D.A., Fereres E., Salinas M. 2003. Can almond trees directly dictate their irrigation needs? *Calif. Agric.*, 57, 138-144.
- Goldhamer DA, Fereres E. 2004. La programación del riego de los árboles de almendras con sensores de diámetro del tronco. *Irrig. Sci.* 23:11-19.
- Goldhamer DA, Fereres E, M Mata, Girona J, Cohen M. 1999. Sensibilidad de la planta continua y discreta vigilancia del suelo y calidad del agua de los árboles de melocotón sometidos al riego deficitario. *J Am Soc. Hort. Sci.* 124:437-444.
- González M., A. y B. A. Hernández L. 2000. Estimación de las necesidades hídricas del tomate. *Terra* 18: 45-50.
- Guariento, N. 1983. *La Pacciamatura della Vite*. Centro de Tecnologie Agrarie Montedison. Mantova, Italy. pp: 31-35.
- Guerra, H.O.C. 2000. *Física dos solos*. 1 ed. Campina Grande, PB: UFPB, 173 pp.
- He, Y. Q., J. Yang, C. G. Xu, Z. G. Zhang and Q. Zhang. 1999. Genetic bases of instability of male-sterility and fertility reversibility in photoperiod-sensitive genic male-sterile rice. *Theor.Appl. Gen.* 99: 683–693.
- Hernando, C., Sánchez, P., Lissarrague, J. C. y Baeza, P. 2008. Validación de los dendrómetros como señal de alarma del estrés hídrico. Ensayo realizado en cepas de Cabernet sauvignon en la localidad Madrileña de Morata de Tajuña. *Dossier-Agricultura se precisión. Vida Rural*. pp. 37-43.

- Hidalgo, L. 1993. Tratado de viticultura general. 1ª Edición. Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España, 984 p.
- Hidalgo, L. 1999. Tratado de viticultura general. 2ª Edición. Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España, pp. 96-102.
- Hsiao, T. C. y Bradford K. J. 1983. Physiological consequences of cellular water deficits. pp. 227-265. In: H. M. Taylor, W. R. Jordan y T. R. Sinclair (Eds.). Limitation to efficient water use in crop production. American Society of Agronomy. Madison, WI, USA.
- Huguet, JG, 1985. Assessment of the water status of a plant from micrometric variations in the size of the fruit or stems over. *Agron. J.*, 5 (8), 733-741.
- Huguet JG, Li SH, Lorendeau JY, Pelloux G. 1992. Reacciones específicas micromorfológicas de árboles frutales frente al estrés hídrico y la automatización de la programación del riego. *Hort J Sci* 67:631-640.
- Intrigliolo, D.S., Castel, J.R., 2004. Continuous measurement of plant and soil water status for irrigation scheduling in plum. *Irrig. Sci.* 23: 93–102.
- Intrigliolo, D.S.; Castel, J.R. 2005. Effects of regulated deficit irrigation on growth and yield of young Japanese plum trees. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology.* 80:177-182.
- Intrigliolo, D.S. y Castel, J.R. 2006. Performance of various water stress indicators for prediction of fruit size response to deficit irrigation in plum. *Agricultural Water Management*, 83 (1-2): 173–180.
- Intrigliolo, D.S. and Castel, J.R. 2007. Crop load affects maximum diurnal trunk shrinkage in plum trees. *Tree Physiology* 27:89-96.
- Ismail, S.M. 2010. Influence of deficit irrigation on water use efficiency and bird pepper production (*Capsicum annum L.*). *Meteor. Environ. Arid Land Agric. Sci.* 21:29-43.

- Jordan, W.R. 1970. Growth of cotton seedlings in relation to maximum daily plant water potential. *Agronomy Journal*, 62: 699-701.
- Jones, H.G. 1983. Estimation of an effective soil water potential at the root surface of transpiring plants. *Plant Cell Environ.* 6: 671-674.
- Jones HG.1990. Physiological aspects of the control of water status in horticultural crops. *Hort Science*25, 19–26.
- Jones, H.G. 2004. Irrigation scheduling: advantages and pitfalls of plant based methods. *Journal of Experimental Botany* 55: 2427-2496.
- Khan, A. S., B. Ahmad, M. J. Jaskani, R. Ahmad, and A. U. Malik. 2012. Foliar application of mixture of amino acids and seaweed (*Ascophylum nodosum*) extract improve growth and physicochemical properties of grapes. *International Journal of Agriculture and Biology* 14(3): 383-388.
- Kasperbauer, M. J. 2000. Strawberry yield over red versus black plastic mulch. *Crop Science*, 40 (1): 171-174.
- Katerji N, PG Schoch, P Rimgoto, L'Hôtel JC. 1990. Diagnostic des périodes de contrainte hydrique chez des Plantes d'berenjena cultivées baño Serre, aumo y en microvariaciones des destiges. *Agronomie* 10:541-549.
- Katerji N, Hamdy A, Raad A, Mastrorilli M. 1991. Consecuencia d'une contrainte hydrique appliquée a différents estadios phénologiques sur le rendement des plantes de poivron. *Agronomie* 11:679-687.
- Kinet JM, Peet MM. 1997. Tomate. La fisiología de los cultivos vegetales. En: Wien HC (Ed) CAB International, Wallingford, pp 207-258.
- Klepper, B. 1968. Diurnal pattern of water potential in woody plants. *Plant Physiology* 43: 1931-1934.

- Klepper B, HM Taylor, MG Huck, Fiscus EL. 1973. Relaciones hídricas y el crecimiento del algodón en el secado del suelo. *Agron. J* 65:307-310.
- Kozlowski TT. 1976. En: Kozlowski TT (Ed) El déficit hídrico y crecimiento de las plantas, contracción y expansión del tejido de la planta. vol. 3. Académico, Nueva York, pp. 1-64.
- Lament, W. J. 1993. Plastic mulches for the production of vegetable crops. *Hort Technology*, 3(1): 35-39.
- Lazcano-Ferrat, I. y C.J. Lovatt. 1999. Relationship between relative water content, nitrogen pools and growth of *Phaseolus vulgaris* L. and *P. acutifolius* A. Gray during water deficit. *Crop Sci.* 39: 467-475.
- L'vovich, M.I., G.F. White con la colaboración de A.V. Belyaev, J. Kindler, N.I. Koronkevic, T. R. Lee y G.V. Voropaev 1995. "Use and Transformation of Terrestrial Water Systems". En: B.L. Turner II (Ed.). *The Earth As Transformed by Human Action*. Cambridge University Press. Cap. 14.
- Maroto B., 1983. *Horticultura Herbácea Especial*. Ed. Mundi-Prensa, Castello, 37. Madrid, España.
- Marshall, D.C. 1958. Measurement of sap flow in conifers by heat transport. *Plant Physiology*, 33: 385–396.
- Marsal, J., Gelly, M., Mata, M., Arbonés, A.J Rufat y Girona, J. 2002. Phenology and drought affects the relationship between daily trunk shrinkage and midday stem water potential of peach trees. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology*, 77: 411–417.
- McCutchan, H. y Shackel, K.A. 1992. Stem water potential as a sensitive indicator of water stress in prune trees. *Journal of the American Societ for Horticultural Science* (117):607-611.

- Meyer, W.S.; Reicosky, D.C. 1985. Enclosing leaves for water potential measurement and its effect on interpreting soil induced water stress. *Agricultural and Forest Meteorology*, v.35, p.187-192.
- Mitchell, J. P.; Shennan, C.; Grattan, S. R.; MAY, D. M. 1991. Tomato fruit yield and quality under water deficit and salinity. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 116: 215–221.
- Molz FJ, Klepper B. 1972. Radial propagation of water potential in stems. *Agron J* 64:469–473.
- Moreno, F., Fernández, J.E., Clothier, B.E. y Green, S. R. 1996. Transpiration and root water uptake by olive trees. *Plant and Soil*, 184: 85–96.
- Moriana, A., and Fereres, E. 2002. Plant indicators for scheduling irrigation of young olive trees. *Irrig. Science*, 21: 83-90.
- Moriana, A. and Fereres, E. 2004. Establishing reference values of trunk diameter fluctuations and stem water potential for irrigation scheduling of olive trees. *ActaHortic.* 664:407–412.
- Moreno, F., Conejero, W., Martín-Palomo, M.J., Girón, I.F. y Torrecillas, A. 2006. Maximum daily trunk shrinkage reference values for irrigation scheduling in olive trees. *Agricultural Water Management*, 84: 290–294.
- Mullins, M., A. Bouquet y L.E. Williams. 1992. The structure of the grapevine: vegetative and reproductive anatomy. In: *Biology of the grapevine*. Cambridge University Press Cambridge. 239 p.
- Nakhalla, F.G., Ghali, M.N. 1996. Evaluation of perforated polyethylene mulch on loamy sand soli under drip irrigated orange trees. 2. Soil thermal regime and moisture, root distribution and tree productivity. *Annals of Agricultural Sciencie. Egypt*, 1099-1116.

- Naor, A. 2000. Midday stem water potential as a plant water stress indicator for irrigation scheduling in fruit trees. *Acta Hort.* 537: 447–454.
- Naor, A., and S. Cohen. 2003. Sensitivity and variability of maximum trunk shrinkage, midday stem water potential, and transpiration rate in response to withholding irrigation from field – grown apple trees. *HortScience.* 38: 547 – 551.
- Nortes, P.A., Perez-Pastor, A., Egea, G., Conejero, W., Domingo, R., 2005. Comparison of changes in stem diameter and water potential in young almond trees. *Agric. Water Manage.* 77, 296–307.
- Ortuño, M.F., García-Orellana, Y., Conejero, W., Ruiz-Sánchez, M.C., Alarcón, J.J., y Torrecillas, A. 2006a. Stem and leaf water potentials, gas exchange, sap flow, and trunk diameter fluctuations for detecting water stress in lemon trees. *Tree*, 20: 1–8.
- Ortuño, M.F., García-Orellana Y., Conejero W., Ruiz-Sánchez M.C., Mounzer O., Alarcón J.J. y Torrecillas A. 2006b. Relationships between climatic variables and sap flow stem water potential and maximum daily trunk shrinkage in lemon trees. *Plant Soil* 279: 229–242.
- Ortuño, M.F., Brito, J.J., Conejero, W., García-Orellana y Torrecillas, A. 2008. Using continuously recorded trunk diameter fluctuations for estimating wáter requirements of lemon tres. *Irrigation Science*, 27: 271-276.
- Ortuño, M.F., Brito, J.J., García-Orellana, Y., Conejero, W. y Torrecillas, A. 2009a. Maximum daily trunk shrinkage and stem water potential baselines for irrigation scheduling of lemon trees. *Irrigation Science*, 27: 121–127.
- Ortuño, M.F., Conejero, W., Moreno, F., Moriana, A., Intrigliolo, D.S., Biel, C., Mellisho, C.D., Pérez-Pastor, A., Domingo, R., Ruiz-Sánchez, M.C., Casadesus, J., Bonany, J. y Torrecillas, A. 2010. Could trunk diameter sensors be used in woody crops for irrigation scheduling? A review of current knowledge and future perspectives. *Agricultural Water Management*, 97: 1–11.

- Parlange, J.-Y., Turner N.C and Waggoner P.E. 1975. Water uptake, diameter change, and nonlinear diffusion in tree stems. *Plant Physiol.* 55:247-250.
- Pérez-Pastor, A., Domingo, R., Torrecillas, A., Ruiz-Sánchez, M.C. 2009^a. Response of apricot trees to deficit irrigation strategies. *Irrigation Science*, 27: 231-242.
- Prenger, JJ y PP Ling. 2000. "Control de Condensación de efecto invernadero." Fact Sheet (Serie) AEX-800. Extensión de la Universidad del Estado de Ohio, Columbus, OH.
- Quitral, V., C. Morales, M. Sepúlveda, y M. Schwartz. 2012. Propiedades nutritivas y saludables de algas marinas y su potencialidad como ingrediente funcional. *Revista chilena de nutrición* 39(4): 196-202.
- Ramakrishna, A., Tam, H.M., Wani, S.P., Long, T.D. 2006. Effect of mulch on soil temperature, moisture, weed infestation and yield of groundnut in northern Vietnam. *Field Crops Res.*, 95, 115–125.
- Remorini D., Massai R. 2003. Comparison of water status indicators for young peach trees. *Irrig. Sci.*, 22, 39-46.
- Reynier, A. 1995. Manual de Viticultura. Mundi-Prensa, España.
- Robinson D, 1988. Mulches and herbicides in ornamental plantings. *HortScience*, 23: 547-552.
- Russo V.M 1993. Shading of tomato plants inconsistently affects fruit yield. *HortScience* 28(11):1133.
- Ruiz-Sánchez M.C., Domingo R., Pérez-Pastor A., 2007. Daily variations in water relations of apricot trees under different irrigation regimes. *Biol. Plant* 51, 735-740.
- Ruiz-Sánchez, M.C., Torrecillas, A., Perez-Pastor, A., Domingo, R. 2000. Regulated deficit irrigation in apricot trees. *Acta Horticulturae*, 537:759-766.

- Sam, O.; Núñez, M.; Ruiz-Sánchez, M. C.; Dell'Amico, J.; Falcón, V.; Rosa, M. C. de la y Seoane, J. 2001. Effect of brassinosteroid analogue and high temperature stress on leaf ultrastructure of *Lycopersicon esculentum*. *Biología Plantarum*, vol. 44, no. 2, p. 213-218.
- Sathya, B., H. Indu, R. Seenivasan, and S. Geetha. 2010. Influence of seaweed liquid fertilizer on the growth and biochemical composition of legum crop, *Cajanus cajan* (L.) mill sp. *Journal of Phytology* 2(5): 50–63.
- Schoffl, F.; Panikulangara, T. J.; Eggers-Schumacher, G.; Wunderlich, M. y Stransky, H. 2004. Galactinol synthase 1, a novel HSF-target gene responsible for heat-induced synthesis of raffinose family oligosaccharides in arabidopsis. *Plant Physiol.*, vol. 136, no, 2.
- Scholander, P.F.; Hammel, H.T.; Bradstreet, E.D.; Hemmingsen, E.A. 1965 Sap pressure in vascular plants. *Science*, v.148, p.339-346.
- Sella, J. y Espinàs, E. 2001. Comportamiento de diferentes tipos de conducción de la viña. Reunión del Grupo de Trabajo de Experimentación en Viticultura y Enología. La Alberca (Murcia) 2001.
- Senn, T.L. 1987. Clemson University.U.S.A. Seaweed and plant growth. T.L. (Tee) Senn.
- Sepúlveda, Á. 2009. Características de vinos tintos Pinot Noir, producidos con cepas autóctonas de *Saccharomyces cerevisiae* aisladas del Valle del Maule. Memoria para optar al título de Ingeniero en Alimentos. Universidad de Chile. 65 pp.
- Shackel, K.A.; Ahmadi, H.; Biasi, W.; Buchner, R.; Goldhamer, D.; Gurusinghe, S.; Hasey, J.; Kester, D.; Krueger, B.; Lampinen, B.; McGourty, G.; Micke, W.; Mitcham, E.; Olson, B.; Pelletrau, K.; Philips, H.; Ramos, D.; Schwankl, L.; Sibbett, S.; Snyder, R.; Southwick, S.; Stevenson, M.; Thorpe, M.; Weinbaum, S.; Yeager, J. 1997. Plant water status as an index of irrigation need in deciduous fruit trees. *Hort Technology*, v.7, p.23-29.

- Simonovic S., P. 2000. "Tools for Water Management One View of the Future". *Water International* Vol. 25(1): 76-88.
- Singh, K. N.; Chatrath, R. 2001. Breeding for adaptation to environmental factors. Chapter 8. Salinity Tolerance. 170 p.
- Sinsawat, V.; Lepner, J.; Stamp, P. y Fracheboud, Y. 2004. Effect of heat stress on the photosynthetic apparatus in maize (*Zea mays* L) grown at control or high temperature. *J. Environ. And Exp. Botany*, vol. 521, no. 2.
- Slatyer, R. O. 1967. *Plant-Water relationships*. Academic Press. London, England. 366 p.
- Smertenko, A.; Drábek, P.; Viklický, V. y Opatrná, Z. 1997. Heat stress affects the organization of microtubules and cell division in *Nicotiana tabacum* cells. *Plant Cell Envir.*, vol. 20, p. 1534-1542.
- Tanwar, B. S. 2003. *Saline water management for irrigation*. International Commission on irrigation and drainage. New Delhi, India. 140 p.
- Tijerina C., L. 2000. Requerimientos hídricos de cultivos bajo sistemas de fertirrigación. *Terra.*, vol. 17, p. 237-245.
- Turney J y Menge J, 1994. *Root health: Mulching to control root disease in avocado and citrus*. Riverside, California Avocado Society, Inc. California Avocado Commission and Citrus Research Board. 8 p.
- USDA. 2008. *The U. S and World Tomato Situation*. USDA. Foreign Agricultural Service Horticultural & Tropical Products Division July 2008.
- Universidad Politécnica de Madrid. 1997. *II curso sobre reutilización de aguas residuales y salinas en regadíos: aplicación de tecnologías avanzadas*. UPM, Madrid.
- Valancogne, C. y Nasr, Z. 1989. Measuring sap flow in the stem of small trees by a heat balance method. *Hort Science*, 24: 383–385.

- Vélez, J.E., Intrigliolo, D.S. y Castel, J.R. 2007. Scheduling deficit irrigation of citrus trees with maximum daily trunk shrinkage. *Agricultural Water Management* (90):197-204.
- Verkerk, K.; Abdelhafeez, A.T.; Harssema, H. 1975. Effects of air temperature, soil temperature and soil moisture on growth and development of tomato itself and grafted on its own and egg-plant rootstock, *Scientia Horticulturae*, Volume 3. Pag. 65-73.
- Wardlaw, I.F., 1990. The control of carbon partitioning in plants. *New Phytol.* 116, 341–381.
- Went, F.W. 1944. Plant growth under controlled conditions. II. Thermoperiodicity in growth and fruiting of tomato. *Amer. J. Bot.* 31:135–150.
- Went, F. W. 1957. The experimental control of plant growth. Waltham, Mass. : Chronica Botanica Co. v. 17.
- Wolff, X.Y. and R.R. Coltman. 1990. Productivity of eight leafy vegetable crops grown under shade in Hawaii. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 115:182–188.
- Yang, Y.M., X.J. Liu, W.Q. Li and C.Z. Li, 2006. Effect of different mulch materials on winter wheat production in desalinized soil in Heilongjiang region of North China. *J. Zhejiang Univ-Sc.*, 7(11): 858-867.
- Zermeño, G. H. 2003. Abonos orgánicos y plasticultura. Edit. Enrique Salazar Sosa. Palacio, México, Facultad de Agricultura y Zootecnia de la UJED, Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, COCYTED. 233 p.

Páginas de internet consultadas

Agricultura protegida. Importancia de la agricultura protegida.

<http://www.sagarpa.gob.mx/agricultura/Paginas/Agricultura-Protegida2012.aspx>.

Consultado: Abril, 2013.

El vino en México.

<http://eleconomista.com.mx/entretenimiento/2013/06/03/vino-mexico>

Consultado: Agosto, 2013.

FAO (Food and Agricultural Organization of United Nations). Factores ambientales. Efectos de la temperatura. 2001.

<http://www.fao.org/docrep/006/x8234s/x8234s08.htm#bm08.1>

Consultado: Mayo, 2013.

FAO (Food and Agricultural Organization of United Nations). 2011. Statistical Data base:

<http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>.

Consultado: Mayo, 2013.

Producción de tomates en invernadero en México.

<http://www.hortalizas.com/horticultura-protegida/produccion-de-tomates-en-invernadero-en-mexico/>

Consultado: Mayo, 2013.

Reflectometría de dominio temporal (TDR) Sensores

<http://www.soilsensor.com/soilsensors.aspx>

Consultado: Agosto, 2013.

Regiones Vinícolas del Mundo.

http://www.clubplaneta.com.mx/bar/regiones_vinícolas_del_mundo.htm

Consultado: Agosto, 2014.

SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). 2012.

<http://www.sagarpa.gob.mx/saladeprensa/boletines2/Paginas/2012B113.aspx>.

Consultado: Mayo, 2013.

SE (Secretaría de Economía). 2011. Estadísticas de Comercio Internacional: Sistema de Información Arancelaria Vía Internet (SIAVI, 3).

<http://www.economia-snci.gob.mx:8080/siaviant/siaviMain.jsp>.

Consultado: Mayo, 2013.

Sensores Watermark.

<http://www.irrometer.com/sensorssp.html>

Consultado: Agosto, 2013.

SIACON-SAGARPA (Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta-Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). 2009. SIACON 1980-2009. http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=286:siacon&catid=62:portada&Itemid=428.

Consultado: Mayo, 2013.

SIAP-SAGARPA (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). 2012. http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=304.

Consultado: Mayo, 2013.

Uva. Origen y producción.

<http://www.frutas-hortalizas.com/Frutas/Origen-produccion-Uva.html>

Consultado: Agosto, 2014.