



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

EFFECTO DE LA APLICACIÓN DE TRES LÁMINAS DE RIEGO EN UN CULTIVO DE PERA VARIEDAD TRIUNFO DE VIENA (*Pyrus Communis L.*)

MARIA JAQUELINE MOLINA OCHOA

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ingeniería
Departamento de Ingeniería Civil y Agrícola
Bogotá D.C., Colombia

2014

**EFFECTO DE LA APLICACIÓN DE TRES LÁMINAS DE RIEGO EN UN
CULTIVO DE PERA VARIEDAD TRIUNFO DE VIENA (*Pyrus Communis* L.)**

MARIA JAQUELINE MOLINA OCHOA

Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de:

Magister en Ingeniería- Ingeniería Agrícola

Director (a):

Ph.D. JAVIER ENRIQUE VÉLEZ SÁNCHEZ

Línea de Investigación:

Adecuación de Tierras

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ingeniería

Departamento de Ingeniería Civil y Agrícola

Bogotá D.C., Colombia

2014

Dedicado

*A mis padres que me dieron la herencia que
nadie puede quitarme, “la educación”.*

Agradecimientos

Al director, Doctor. Javier Enrique Vélez por su apoyo durante la realización de este trabajo, por su paciencia, guía y generosidad al compartir sus conocimientos.

A los Doctores, Pedro Rodríguez Hernández y Arturo Torrecillas Melendreras, Director del Departamento de Fisiología y Bioquímica Vegetal del Instituto Nacional De Ciencias Agrícolas de Cuba (INCA) e investigador del Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura (CEBAS) de España, respectivamente, por el apoyo y el haberme permitido compartir y enriquecer mis conocimientos en sus respectivas instituciones.

A la universidad Nacional de Colombia por permitir la realización de este trabajo y brindar los medios para desarrollar la experimentación y la formación para tal fin.

Resumen

Con el propósito de evaluar el efecto del déficit hídrico aplicado durante la etapa de crecimiento del fruto, en la producción y calidad en un cultivo de pera variedad *Triunfo de Viena*, se realizó un experimento en una parcela de 172 árboles, en el Municipio de Sesquilé, Cundinamarca del año 2011 al 2012. Los tratamientos consistieron en la aplicación de tres láminas de riego T1 (100% ETc), T2 (67% ETc) y T3 (55% ETc), equivalentes al 100, 67 y 55% de la evapotranspiración potencial del cultivo (ETc) en el periodo de rápido crecimiento del fruto. Se realizó un seguimiento al estado hídrico de la planta y del suelo, mediante la medición del potencial hídrico de la hoja, variaciones del diámetro del tronco y el potencial mátrico del agua en el suelo. Se midió el crecimiento de fruto y de brotes, así como la producción y calidad de los frutos.

Los resultados no mostraron diferencias significativas entre los tratamientos, lo que significa que en las condiciones evaluadas, la reducción de las láminas de riego en esta etapa del cultivo permiten conseguir ahorros considerables de agua equivalentes a un 30% en el periodo de máxima demanda evaporativa, sin afectar la producción ni las características físicas ni químicas de los frutos.

Palabras clave: Déficit, dendrómetro, irrigación, fruta, rendimiento, pera y crecimiento.

Abstract

In order to evaluate the effect of water stress applied during the growth stage of the fruit production and quality in pear variety cultivation Triumph of Vienna, an experiment was conducted in a plot of 172 trees in the Municipality of Sesquilé, Cundinamarca from 2011 to 2012. Treatments consisted of applying three irrigation levels T1 (100% ETc), T2 (75% ETc) and T3 (50% ETc), equivalent to 100, 75 and 50% of the potential crop evapotranspiration (ETc) in the period of rapid fruit growth. Monitor the water status of the plant and soil was performed by measuring the leaf water potential and matric potential of soil water. Fruit growth and sprouting was measured, and the production and quality of the fruit.

The results showed no significant differences between treatments, which means that the evaluated conditions, reducing irrigation sheets at this stage of cultivation allow considerable savings of water equivalent to 30% without affecting production and quality fruit.

Key Words: Deficit, irrigation, fruit, water, pear and growth

Contenido

	Pág.
1. Marco conceptual.....	5
1.1 El agua.....	5
1.2 El peral.....	6
1.2.1 Pera en Colombia.....	7
1.2.2 Análisis de Crecimiento y desarrollo.....	9
1.3 Riego en el Peral.....	10
1.3.1 Respuesta del peral al déficit hídrico.....	10
1.4 Requerimientos hídricos de los cultivos.....	12
1.4.1 Evapotranspiración.....	12
1.4.2 Programación del riego.....	14
1.4.3 Contenido hídrico del suelo.....	14
1.4.4 Contenido hídrico de la planta.....	14
2. Metodología.....	18
2.1 Generalidades.....	18
2.1.1 Localización.....	18
2.1.2 Material vegetal.....	18
2.1.3 Suelo.....	19
2.1.4 Clima.....	19
2.1.5 Riego.....	20
2.1.6 Diseño experimental.....	21
2.2 Prácticas culturales.....	23
2.3 Métodos y técnicas utilizadas.....	23
2.3.1 Requerimientos hídricos.....	23
2.3.2 Medida del estado hídrico del suelo.....	24
2.3.3 Medida del estado hídrico de la planta.....	26
2.3.4 Medidas de crecimiento.....	29
2.3.5 Variación del diámetro del tronco.....	30
2.3.6 Producción.....	31
2.3.7 Calidad de la fruta.....	32
2.3.8 Análisis estadístico.....	36
3. Resultados y discusión.....	37
3.1 Evapotranspiración.....	37
3.2 Volumen de agua aplicada.....	37
3.3 Relaciones hídricas.....	39
3.3.1 Potencial Hídrico del suelo (Ψ_s) medido con sensor Watermark.....	39
3.3.2 Humedad Volumétrica medida con sonda PR2.....	40
3.3.3 Potencial Hídrico de la planta o potencial al tallo (Ψ_t).....	41

3.4.	Crecimiento.....	43
3.4.1.	Crecimiento del fruto	43
3.4.2.	Crecimiento de brotes	48
3.1.1.	Tasa absoluta y relativa de crecimiento	51
3.2.	Producción y calidad Crecimiento	60
3.2.1.	Producción	60
3.2.2.	Calidad de la fruta	61
3.1.	Variación del diámetro del tronco.....	62
4.	Conclusiones y recomendaciones	67
4.1	Conclusiones	67
4.2	Recomendaciones.....	68

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1-1. Área cosechada, producción y rendimiento de peras en Colombia 1999-2012. FAOSTAT (2014).	8
Figura 1-2. Ejemplo de la evolución del diámetro del tronco en el tratamiento Control en el 2003 entre los días 219 a 226, MDT indica el diámetro máximo, MNDT es el diámetro mínimo, CD es el crecimiento diario y MCD es la máxima contracción diaria. (Vélez et al., 2007).	17
Figura 2-1. Plano de distribución del ensayo con las parcelas y los árboles seleccionados como unidades experimentales.	22
Figura 2-2. Esquema de un corte transversal de la cámara de presión.	26
Figura 3-1. Evapotranspiración potencial del cultivo (E_{To} , línea gruesa continua), temperatura media del aire (T_m , línea delgada continua), déficit de presión de vapor medio diario (DPV_m) (línea punteada) y precipitación diaria (barras verticales) durante el período experimental.	37
Figura 3-2. Balance hídrico del cultivo de Pera Variedad Triunfo de Viena, Sesquilé, (Cundinamarca).	38
Figura 3-3. Volumen acumulado de agua en Litros árbol ⁻¹ durante el periodo de restricción para los tratamientos Control T1, T2 y T3.	39
Figura 3-4. Evolución del potencial hídrico del suelo (Ψ_s) en los tratamientos Control T1, T2 y T3.	40
Figura 3-5. Evolución del potencial hídrico del tallo (Ψ_t) en los tratamientos Control T1, T2 y T3. Los valores corresponden a la media de dos y tres hojas por árbol en ocho arboles por tratamiento.	42
Figura 3-6. Correlación potencial al tallo (ψ_t) y déficit de presión de vapor (DPV), (*significativo al 5%, con 22 grados de libertad).	43
Figura 3-7. Curvas de crecimiento del diámetro ecuatorial de los frutos.	45
Figura 3-8. Curvas de crecimiento del diámetro longitudinal de los frutos.	46
Figura 3-9. Relación diámetro longitudinal/diámetro ecuatorial de fruto	47
Figura 3-10. Curva de crecimiento de la longitud de los brotes. *,**, indican diferencia significativa con $P \leq 0,05$, $P \leq 0,01$, con respecto al Control T1 de acuerdo a la prueba DMS.	48
Figura 3-11. Curva de crecimiento del diámetro de los brotes.	50
Figura 3-12. Tasa absoluta de crecimiento (TAC) del diámetro longitudinal del fruto.	52
Figura 3-13. Tasa absoluta del crecimiento (TAC) del diámetro ecuatorial del fruto.	53
Figura 3-14. Tasa de crecimiento relativo TCR diámetro ecuatorial del fruto.	54
Figura 3-15. Tasa de crecimiento relativo TCR altura de fruto.	55
Figura 3-16. Comportamiento de la tasa absoluta de crecimiento (TAC) de longitud de brotes.	56
Figura 3-17. Comportamiento de la tasa absoluta de crecimiento (TAC) de diámetro de brotes.	57
Figura 3-18. Tasa de crecimiento relativo (TCR), longitud de brotes.	58

<i>Figura 3-19. Tasa de crecimiento relativo (TCR), diámetro de brotes.</i>	<i>58</i>
<i>Figura 3-20. A) Evolución del diámetro del tronco en los tratamientos Control T1, T2 y T3 respecto a B) radiación.</i>	<i>64</i>
<i>Figura 3-21. Figura 3 6. Evolución del potencial hídrico de la planta y del suelo en los distintos tratamientos de riego A) Potencial del suelo (ψ_s) y B) Ψ_{tallo} los valores corresponden a las medias de dos y tres hojas por árbol en ocho arboles por tratamiento.</i>	<i>65</i>
<i>Figura 3-22. A) Evolución específica del diámetro del tronco en los tratamientos Control T1, T2 y T3 del día 111 al día 114 respecto a B) radiación.</i>	<i>66</i>

Lista de tablas

	<i>Pág.</i>
Tabla 1-1. Ecuaciones tasa de crecimiento, donde L=dimensión evaluada, $\delta L/\delta t$ =variación de la dimensión evaluada en función del tiempo	9
<i>Tabla 2-1. Valores mensuales de condiciones del clima años 2011 y 2012. Temperatura máxima (Máx.), mínima (Min) y media (Med); velocidad del viento (V. viento); humedad relativa media (Humedad Relativa); precipitación total (Pt); evapotranspiración potencial (ETo) y radiación solar.</i>	<i>20</i>
<i>Tabla 3-1. Humedad volumétrica a 30 cm.....</i>	<i>41</i>
<i>Tabla 3-2. Ecuaciones de crecimiento del diámetro ecuatorial de los frutos.....</i>	<i>44</i>
<i>Tabla 3-3. Ecuaciones de crecimiento de diámetro longitudinal de los frutos.....</i>	<i>46</i>
<i>Tabla 3-4. Ecuaciones crecimiento de longitud de los brotes</i>	<i>48</i>
<i>Tabla 3-5. Ecuaciones crecimiento de diámetro de los brotes</i>	<i>50</i>
<i>Tabla 3-6. Ecuaciones modelo TAC diámetro longitudinal de los frutos</i>	<i>51</i>
<i>Tabla 3-7. Ecuaciones modelo TAC diámetro ecuatorial de los frutos</i>	<i>52</i>
<i>Tabla 3-8. Ecuaciones modelo TCR diámetro longitudinal de frutos.....</i>	<i>53</i>
<i>Tabla 3-9. Ecuaciones modelo TCR diámetro ecuatorial de frutos.....</i>	<i>54</i>
<i>Tabla 3-10. Ecuaciones modelo TAC longitud de los brotes</i>	<i>57</i>
<i>Tabla 3-11. Ecuaciones modelo TAC diámetro de los brotes.....</i>	<i>57</i>
<i>Tabla 3-12. Ecuaciones modelo TCR longitud de brotes.....</i>	<i>59</i>
<i>Tabla 3-13. Ecuaciones modelo TCR diámetro de brotes</i>	<i>59</i>
<i>Tabla 3-14. Parámetros de producción de la fruta en los tratamientos Control T1, T2 y T3.</i>	<i>60</i>
<i>Tabla 3-15. Parámetros de calidad de la fruta.....</i>	<i>62</i>

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

	Pág.
<i>Fotografía 2-1. Parcela experimental, cultivo de Pero variedad “Triunfo de Viena”.</i>	19
<i>Fotografía 2-2. Contador volumétrico marca Control Agua y válvula de compuerta de ½”.</i>	21
<i>Fotografía 2-3. Labores culturales realizadas en el cultivo, (A) poda y (B) fumigación</i>	23
<i>Fotografía 2-4. Datalogger HH2 con sonda PR2, en una parcela experimental.</i>	25
<i>Fotografía 2-5. Medidor Watermark y sensor de matriz granular (Watermark Mod. 200ss Irrrometer Co.)</i>	25
<i>Fotografía 2-6. Cámara de presión marca Soil Moisture Equip. Corp. Mod. 600</i>	27
<i>Fotografía 2-7. Hoja cubierta para medición del potencial al tallo (Ψ_t).</i>	28
<i>Fotografía 2-8. Medición de la altura del fruto con calibrador manual</i>	29
<i>Fotografía 2-9. Dendrómetro (LVDT), instalado en el tronco de Pero variedad “Triunfo de Viena”.</i>	31
<i>Fotografía 2-10. Categorías según diámetro del fruto.</i>	32
<i>Fotografía 2-11. Determinación de (A) altura, (B) volumen y (C) peso.</i>	32
<i>Fotografía 2-12. Determinación del color con Chromameter CR400 Konica Minolta</i>	33
<i>Fotografía 2-13. Medida de firmeza con el analizador de textura de Brookfield Engineering Labs, Inc.</i>	34
<i>Fotografía 2-14. Prueba de determinación de la acidez total titulable. (ATT)</i>	35
<i>Fotografía 2-15. Refractómetro digital DR201-95 Krüss optronic, Germany</i>	35

Lista de Símbolos y abreviaturas

Símbolos con letras latinas

Símbolo	Término	Unidad SI	Definición
<i>HR</i>	Humedad relativa	%	
<i>T</i>	Temperatura	°C	
<i>DPV</i>	Déficit de presión de vapor		
Ψ_t	Potencial al tallo	MPa	
<i>ET_o</i>	Evapotranspiración potencial cultivo de referencia	mm día ⁻¹	
<i>ET_c</i>	Evapotranspiración potencial del cultivo	mm día ⁻¹	
<i>K_c</i>	Coefficiente del cultivo	Adimensional	
Ψ_s	Potencial hídrico del suelo	KPa	
<i>TAC</i>	Tasa absoluta de crecimiento	cm día ⁻¹	
<i>TRC</i>	Tasa relativa de crecimiento	cm cm ⁻¹ día ⁻¹	

Introducción

El riego deficitario controlado (RDC) permite hallar valores umbrales para determinar láminas de riego, que mantengan la producción y calidad de los frutos con un ahorro de agua frente a los volúmenes aplicados tradicionalmente. Es necesario recolectar información confiable que lleve a encontrar un valor óptimo de lámina de riego, y su tiempo de aplicación de acuerdo a las características de la zona, el suelo y cultivo donde se quiera implementar esta técnica.

El término riego deficitario fue utilizado por primera vez a mediados de los años 70, por un grupo de investigadores dirigidos por el profesor *David Chalmers* en Australia, “lo utilizaban para describir la aplicación de estrategias de déficit de agua basado en la evapotranspiración del cultivo” (Kriedemann y Goodwin, 2003).

El riego deficitario también es útil en los casos en los que la demanda hídrica no puede ser satisfecha con los recursos disponibles (Girona, 1996), algunos investigadores (Behboudian *et al.*, 1994; Marsal *et al.*, 2002; Intrigliolo y Castel, 2006; Vélez *et al.*, 2012 y Ningbo *et al.*, 2009.) han trabajado sobre este tema en Olivar, Pera, Ciruela, Cítricos y otros frutales, para determinar condiciones favorables o desfavorables de su aplicación en los cultivos, estableciendo para cada uno de ellos los rangos en los que se obtienen mejores resultados.

La medida indirecta del contenido hídrico de la planta también puede realizarse mediante sondas o transductores de desplazamiento lineal (LVDT) que miden las variaciones de los órganos de la planta como frutos y tallos (Koslowski, 1967; Ginestar y Castel, 1996; Goldhamer y Fereres, 2004, Velez *et al.*, 2007), en tiempo real y continuo con una resolución de 0,01mm. Cuando la transpiración supera la capacidad de las raíces de proporcionar el agua necesaria para la planta, estas, toman el agua de su constitución contrayendo sus tejidos. Al disminuir la transpiración al finalizar el día, existe una recuperación del diámetro del tallo hasta alcanzar su hidratación máxima al amanecer. El crecimiento de los troncos a mediano y largo plazo se reducen de forma proporcional a la reducción del suministro

hídrico, reducciones por riego deficitario han sido reportadas por Bielorai (1982) en pomelo, Velez *et al.*, (2007) en mandarinos, Intrigliolo *et al.*, (2014) en ciruelo japonés y Conejero *et al.*, (2011) en durazno.

El propósito a desarrollar actualmente es “producir más alimentos por litro de agua” (FAO 2003), y como la base fundamental de la producción de alimentos es el sector agrícola en el cual, el consumo de agua es cerca de 70% del total de los recursos hídricos (FAO, 2010), se hace preciso trabajar en el desarrollo de técnicas que proporcionen usos más eficientes de agua.

Para disminuir el uso de agua se tienen diferentes alternativas entre las cuales esta mejorar la eficiencia de los sistemas, o realizar una programación de riego adecuada mediante la medición del estado hídrico de la planta y el suelo, lo que permite ahorros de agua entre un 20 a 30% (Vélez *et al.*, 2007).

En estudios realizados en china en pera *variedad Azufaifo* aplicando riego deficitario controlado, se obtuvo un ahorro de agua entre un 13 a 25%, sin disminución en el peso y volumen del fruto, pero con reducción del contenido de humedad de los mismos lo que disminuyó la presencia de fruta podrida durante la poscosecha, (Ningbo *et al.*, 2008), en la misma variedad aplicando en el periodo de apertura de brotes, un déficit moderado, se redujo el agua de riego y restringió el crecimiento vegetativo, aumentando ligeramente o manteniendo el rendimiento de fruta, logrando un incremento significativo en el uso eficiente del agua, (Ningbo *et al.*, 2009).

El déficit hídrico no solo reduce la actividad meristemática y el alargamiento radical, sino que aumenta la suberización de las raíces, con el consiguiente efecto negativo sobre la absorción de agua y nutrientes minerales. La capacidad de la planta para satisfacer la demanda evaporativa de la atmósfera depende de: el volumen de suelo explorado por las raíces, la distribución y densidad del sistema radical, la resistencia y movimiento del flujo de agua en el sistema radical y aéreo, el contenido y distribución de la humedad en el suelo, y las propiedades hidráulicas del mismo. La iniciación, así como la diferenciación de las estructuras vegetativas y reproductoras, y el alargamiento celular una vez diferenciadas las células, son muy sensibles al estrés hídrico, y al igual que los

procesos fisiológicos, no son afectados necesariamente con la misma intensidad. (Barlow *et al.*, 1980). El estrés ocasionado en el periodo de crecimiento o expansión celular de la pera reduce el potencial de alcanzar el tamaño comercial de frutas en la cosecha (Marsal *et al.*, 2010). Sin embargo Naor *et al.*, (2006) encontraron que la reducción del riego de forma moderada después de la cosecha en pera “Spadona” aumentó el rendimiento en la temporada siguiente, teniendo en cuenta que la respuesta se determina por el nivel del estrés aplicado, ya que cuando el estrés fue severo el rendimiento se redujo.

La producción mundial de pera para el 2012 fue de 23'580.845 toneladas, ocupa el segundo lugar en producción de fruta de árboles de hoja caduca, el primer lugar lo ocupa la manzana con 76'378.738 toneladas. Los principales productores de pera a nivel mundial para el año 2012 fueron China con 16'266.000 toneladas y Estados Unidos con 778.582 toneladas, los principales productores en sur América son Argentina y Chile con 700.000 toneladas y 191.000 toneladas, respectivamente. Colombia se encuentra en el puesto cuarenta y ocho con 15.436 toneladas FAOSTAT (2014), siendo el principal departamento productor Boyacá (Agronet, 2012), el cultivar más común en el área es el denominado Triunfo de Viena.

La presente investigación es la primera que tiene en cuenta el estudio de las relaciones hídricas bajo diferentes láminas de riego para el cultivo de Pera variedad Triunfo de Viena, en Colombia y una de las primeras en Sur América utilizando transductores de desplazamiento lineal (LVDT), para diferenciar el comportamiento de la planta frente a las láminas aplicadas. Este es el inicio de investigaciones en riego deficitario controlado (RDC) para la programación en base al estado hídrico del suelo y de la planta, utilizando sensores para medida en tiempo real y en continuo.

OBJETIVOS

OBJETIVOS GENERAL

Evaluación de la producción y calidad, en pera, Variedad Triunfo de Viena con la aplicación de tres láminas de riego en la etapa de crecimiento rápido del fruto, teniendo en cuenta las condiciones hídricas del suelo y de la planta.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

Determinar:

- El estado hídrico de la planta: potencial hídrico foliar y variación del diámetro del tronco
- Las condiciones hídricas del suelo
- El desarrollo y crecimiento de frutos, durante el ciclo de cultivo
- Las propiedades físicas y químicas de los frutos
- La lámina de riego que represente un ahorro de agua, sin que se afecte la producción y la calidad de la fruta.

1. Marco conceptual

1.1 El agua

El agua representa un papel esencial en las plantas como constituyente, disolvente y reactivo en varios procesos químicos y en el mantenimiento de la turgencia. La importancia fisiológica del agua se refleja en su importancia ecológica, pues la distribución de las plantas en la superficie de la tierra está dominada por la disponibilidad de agua, siempre que la temperatura permite el crecimiento (Kramer, 1983). Más del 80% del peso fresco de muchas plantas y 90% de algunas partes de la planta es agua. Incluso tallos leñosos y raíces contienen más de 40% de agua. Solo las semillas contienen poca agua un 20% o menos (Forbes y Watson, 1999).

El agua es utilizada en: la evaporación directa desde la superficie del suelo y de las plantas, en la transpiración a través de las hojas, en la asimilación en los frutos y vegetales, en el lavado de sales del suelo, en la refrigeración de los cultivos y la congelación de preservación. (Ali M.H, 2010).

Tres cuartas partes de la superficie de la tierra están cubiertas por agua, sin embargo la mayor parte de ésta (97.3 %) está en los océanos y mares; solo cerca de 2,75 % es agua dulce. Del total de agua disponible el consumo para la agricultura está alrededor del 69%; para la industria en 23% y para uso doméstico en el 8%. El incremento del consumo conlleva al incremento de la contaminación del recurso, por esto a nivel mundial se realizan proyectos de gestión de los recursos hídricos que promueven la conservación y el incremento de la eficiencia en el uso del agua, ya que es considerada vital para prolongar la permanencia de la existencia humana. (Khan, M.A., 2008).

1.2 El peral

Se cree que las peras tienen su origen en Asia central, evolucionaron en dos grupos generales de especies, orientales, nativas de Asia oriental y nororiental, y especies occidentales nativas de Europa y noroccidente de Asia. Hay más de dos docenas de especies de peras las cuales son nativas del viejo mundo del hemisferio norte. (Mitcham, E y Elkins R., 2007). Las peras asiáticas son originarias de Mongolia y son extensamente cultivadas en China y Japón. En el occidente deben ser cruzadas con variedades europeas para producir variedades resistentes a la sequía y al calor, prosperan en suelos arenosos y exhiben resistencia a la niebla del peral (Mitcham, E y Elkins R., 2007).

El peral corresponde a los caducifolios, familia Rosaceae, pertenece a la subfamilia pomoidea, las cuales tienen un número básico de cromosomas, 17 comparado con 7-9 para las otras familias de rosáceas (Jackson, J.E., 2003). Sus flores tienen pedúnculos largos y forman corimbos umbeliformes en la terminación de las ramillas; son de buen tamaño con ovario ínfero y de color blanco o blanco rosado. El cáliz está formado por cinco sépalos lanceolados, estrechados en el ápice. Los pétalos miden generalmente de 12 a 15 mm, y son obovados y libres. El fruto es un pomo estrechado en la base que puede ser redondeada o atenuada y prolongada en el pedúnculo, (Sitte, P.*et al.*, 2004) citado por Casierra, (2012). Comúnmente descrito como un núcleo con medula carnosa en su interior y una corteza carnosa fuera de la línea central (Jackson, J.E., 2003). Las características morfológicas del fruto de pera son muy variables con la genética y el ambiente, con tonalidades entre verde/amarillo o rojo/café, (Cárdenas y Fisher., 2013). Paganova (2003) describió la alta variabilidad en las formas de la pera: redonda, en forma de manzana y de ovada a oblonga en varios genotipos. Las hojas pecioladas presentan un arreglo alterno, son simples (de 2 a 12 cm de longitud), son de color verde brillante y pueden presentar vellosidad plateada muy densa. La forma de la hoja varía de ovalada a lanceolada, orbicular-ovada a elíptica o crenato-serrada (Paganova, 2003)

El peral adquiere una forma ahusada debido a que el crecimiento de cada temporada puede alcanzar longitudes superiores a 1 m y se dirige en sentido muy vertical. Esto hace que las ramas se vuelquen a favor del viento, cuando no pueden soportar más su peso y el de sus órganos accesorios (Casierra, 2012).

La pera cumple un papel importante en la nutrición humana, tiene un alto contenido de carbohidratos y pectina, la cual reduce el suero del colesterol evitando así el riesgo de enfermedades cardiovasculares, tiene propiedades laxantes, diuréticas y calmantes. El boro que contiene ayuda a evitar la pérdida de calcio en los huesos. En los hombres mayores de 40 años, disminuye los problemas de próstata (Campos, 2013).

1.2.1 Pera en Colombia

Las variedades comerciales existentes en el país, son de origen asiático y no tienen ningún tipo de clasificación, (Campos, 2013). La altura de estos árboles depende del vigor del porta-injerto, en las condiciones colombianas pueden lograr una altura de 1 a 2 m, sobre un porta-injerto de vigor mediano y hasta 20m sobre un porta-injerto franco (Casierra, 2012).

La especie predominante de frutales caducifolios en el país es duraznero con un 42%, seguido por el ciruelo con 27,5%, el manzano con 21,2%, y el peral con 9,3%. El 75% de la pera es de la variedad Triunfo de Viena y el 25% Perilla.

La variedad Triunfo de Viena, se caracteriza por ser tardía, de fruta grande, se utiliza en la industria, ya que su pulpa es dura, blanca cremosa y de textura arenosa, la pulpa es de color cremoso, crujiente, jugosa, dulce, ligeramente acida y de sabor muy agradable, su epidermis es amarilla verdosa y es muy prolífica (Ávila *et al.*, 2013). En la Figura 1-1 se muestra el área cosechada, producción y rendimiento en Colombia, entre los años 1999-2012, donde se observa que la producción ha aumentado desde 1999, llegando a sostenerse en valores superiores a 15000 toneladas desde 2009 (FAOSTAT, 2014).



Figura 1-1. Área cosechada, producción y rendimiento de peras en Colombia 1999-2012. FAOSTAT (2014).

Es un cultivo precoz para la zona templada, sin embargo es tardío en comparación con los perales asiáticos, presenta alto requerimiento de frío ($\leq 7.2^{\circ}\text{C}$), (superior a 500 horas) y fenología definida y uniforme, con una época de defoliación natural. En este cultivo no es posible la implantación de cosechas forzadas por la larga duración de sus estadios fenológicos, en comparación con los cultivos precoces de manzano. Adicionalmente el peral presenta un tiempo de floración a cosecha superior a 150 días, lo cual es bastante prolongado cuando se pretende conseguir de 1,5 a 2 cosechas por año (Casierra, 2012).

Requiere suelos profundos y fértiles de textura media con pH entre 6 y 6.8, materia orgánica entre 2.8 y 5% (Parra, 1997).

1.2.1.1 Plagas y enfermedades del peral

Las plagas con mayor incidencia son los ácaros (*Tetranychus* sp. y *P. ulmi*), los Áfidos (*Aphis citricola* Van der Goot) y las Cochinillas (*Protortonia* sp. (Hemiptera-Margaroridae)). Entre las enfermedades se tiene la Sarna (*Venturia pirina* (Cooke) Aderhold) que causa moteados de color verde oliva, de forma irregular, que posteriormente se tornan grisáceo-aterciopeladas en hojas, brotes y frutos (deformaciones y grietas) (Ávila *et al.*, 2013).

1.2.2 Análisis de Crecimiento y desarrollo

Evans, (1972), en su libro “the quantitative analysis of plant growth”, mediante técnicas cuantitativas logró comparar información del crecimiento en plantas bajo condiciones naturales, semi-naturales o artificiales. Estas técnicas requirieron simplemente de datos primarios y se ha conocido colectivamente como “análisis de crecimiento de la planta” (Hunt, 1990). Las curvas de crecimiento en los vegetales son un reflejo del comportamiento de una planta en el ecosistema particular con respecto al tiempo. Su elaboración es indispensable para la aplicación racional de las labores culturales en el momento adecuado, y para garantizar una respuesta óptima del vegetal de acuerdo con nuestras necesidades y exigencias (Casierra *et al.*, 2003).

Las tasas de crecimiento más comúnmente utilizadas para el análisis son la tasa absoluta de crecimiento (TAC) que indica cambio de tamaño por unidad de tiempo y la tasa relativa de crecimiento (TRC) que indica la variación de tamaño por unidad de tamaño inicial (Hunt, 1990). Las expresiones que representan estas tasas de crecimiento se muestran en la tabla 1-1.

Tabla 1-1. Ecuaciones tasa de crecimiento, donde L =dimensión evaluada, $\delta L/\delta t$ =variación de la dimensión evaluada en función del tiempo

Descripción	Expresión matemática
Tasa absoluta de crecimiento-TAC	$(\delta L/\delta t)$
Tasa relativa de crecimiento-TRC	$(1/L)(\delta L/\delta t)$

A pesar de que la duración e intensidad de las fases de crecimiento y desarrollo del fruto dependen ampliamente del genotipo, existe una estrecha relación de la temperatura ambiente, la humedad relativa y el estado hídrico de la planta, con el desarrollo del fruto (Casierra, 2012).

- **Crecimiento sigmoide simple**

El fruto de pera crece, igualmente como en la manzana, en forma sigmoideal simple (Jackson, J.E., 2003). En frutales de pepita, Casierra *et al.*, (2003) definieron tres fases para el crecimiento y desarrollo de frutos: (1) periodo de multiplicación celular, que dura de cuatro

a cinco semanas, (2) periodo de crecimiento acelerado por elongación celular, el cual puede durar de cinco a diez semanas y (3) periodo de maduración, el cual comienza realmente antes de la culminación del periodo anterior, estas mismas fases son las expuestas por Fisher *et al.*, (2012), para la curva de crecimiento sigmoide simple.

1.3 Riego en el Peral

En frutales caducifolios es necesario tener agua disponible pero no en exceso, ya que los frutos tienden a ser más frágiles con relación al contenido de agua. Para inducir la floración es recomendable mantener los arboles con suficiente agua y nitrógeno durante la fase de crecimiento activo (Ávila *et al.*, 2013).

Para durazno el sistema de riego por goteo ha mostrado los mejores resultados por proporcionar una humedad más uniforme que los sistemas de riego por gravedad y aspersión (Bryla *et al.*, 2005).

Bajas láminas de riego en pera puede reducir el rendimiento y el tamaño de los frutos. Un exceso de riego puede causar enfermedades en la raíz, un exceso de vigor, poda adicional, y pérdida de agua y energía. Hay muchas formas de determinar un calendario de riego y muchos cultivadores utilizan combinaciones de técnicas de programación de riego para lograr los resultados que desean. Los métodos de programación de riego tienen en cuenta: el clima, el suelo y la planta. La mayoría de la investigación moderna de riego se ha basado en el supuesto de que la producción de fruta será maximizada si el agua utilizada por árbol se suministra totalmente por el riego de manera regular (Mitcham, E y Elkins R., 2007).

La utilización de sistemas de riego localizado en frutales, con aplicaciones de dosis aproximadas a las requeridas, conlleva una mayor eficiencia en la utilización del agua y los fertilizantes por las plantas (Vélez y Álvarez, 2012).

1.3.1 Respuesta del peral al déficit hídrico

El desarrollo vegetativo, es muy sensible al déficit hídrico, la disminución de la superficie foliar, como consecuencia de un menor crecimiento, es un mecanismo adoptado

por la planta para reducir la pérdida de agua por transpiración (El-Sharkawi y Cock, 1987; Tudela y Primo-Millo, 1992).

De Santa Olalla y De Juan Valero (1993) señalan que el déficit hídrico no solo reduce la actividad meristemática y el alargamiento radical, sino que aumenta la suberización de las raíces, con el consiguiente efecto negativo sobre la absorción de agua y nutrientes minerales, citado por Laynez-Garsaball *et al.*, (2007). La capacidad de la planta para satisfacer la demanda evaporativa depende de: el tipo de suelo explorado por las raíces, distribución y la densidad del sistema radical, la resistencia al flujo de agua en el sistema radical y al movimiento en el sistema aéreo, el contenido y distribución de humedad en el suelo, las propiedades del suelo, la localización geográfica y las condiciones del clima.

Se considera que el crecimiento y la productividad de los cultivos es proporcional al uso eficiente del agua y un déficit hídrico severo reduce normalmente la producción final, por el contrario, en algunos casos un estrés hídrico moderado puede llegar a mejorar la calidad de los productos (Vélez *et al.*, 2007).

La restricción de agua reduce el crecimiento del tronco. En árboles jóvenes, en melocotonero, cambios estacionales inducen importantes variaciones sobre los valores de la máxima contracción diaria del tronco (MCD) (Marsal *et al.*, 2002). Un déficit hídrico en árboles adultos de pera, durante la etapa de división celular, que corresponde al periodo de crecimiento vegetativo, puede restringir el crecimiento de los tallos sin mostrar diferencia en el tamaño de la fruta (Yang Wu *et al.*, 2013). Ningbo *et al.*, 2008, en Pera Jujube, aplicando tres láminas diferentes de riego deficitario (severo, moderado y bajo) en las etapas de: brote de yemas, floración hasta cuajado, crecimiento de fruto y maduración, obtuvo efectos significativos sobre el rendimiento y calidad de la fruta.

La iniciación, así como la diferenciación de las estructuras vegetativas y reproductoras, y el alargamiento celular una vez diferenciadas las células, son muy sensibles al estrés hídrico, y al igual que los procesos fisiológicos, no son afectados necesariamente con la misma intensidad (Barlow *et al.*, 1980).

El estrés ocasionado en el periodo de crecimiento o expansión celular de la pera reduce el potencial de alcanzar el tamaño comercial de frutas en la cosecha (Marsal *et al.*, 2010). Sin embargo Naor *et al.*, (2006) encontraron que la reducción del riego de forma moderada después de la cosecha en pera “Spadona” aumento el rendimiento en la temporada siguiente, teniendo en cuenta que la respuesta se determina por el nivel del estrés aplicado, ya que cuando el estrés fue severo el rendimiento se redujo.

En frutales caducifolios en condiciones de clima del área mediterránea la falta de agua constituye un factor limitante del crecimiento del fruto (Goldschmidt y Monselise, 1977), y en general de la producción (Levy *et al.*, 1979). Un periodo crítico es la fase inicial de crecimiento del fruto, donde aumenta la caída y provoca la disminución de la tasa de crecimiento, determinando el tamaño final del mismo (Shalhevet *et al.*, 1979).

El control del estado hídrico del suelo induce en los árboles una precocidad en la maduración de los frutos. Déficit hídricos moderados durante el llenado y maduración pueden ser convenientes para realizar cambios internos en la calidad de la fruta, principalmente aumentando el contenido de sólidos solubles y ácidos (Martín de Santa *et al.*, 1993; Peng y Rave, 1998).

1.4 Requerimientos hídricos de los cultivos

1.4.1 Evapotranspiración

El conocimiento de la evapotranspiración del cultivo (ETc) durante el ciclo fenológico es importante para la programación del riego. Se estimada en la mayoría de los casos en función de las condiciones ambientales. Doorenbos y Pruitt, (1976) sugieren varios métodos empíricos para el cálculo.

La ETc, corresponde a la evaporación directa de la superficie del suelo (E), más la transpirada por la planta. La cantidad de agua evaporada de una superficie depende, del

suministro de energía para vaporizarla, del gradiente de concentración de vapor de agua y de la resistencia al transporte. La radiación solar proporciona la energía necesaria para la evaporación. La mayoría del agua sale de los estomas y una menor cantidad a través de la de la epidermis de ramas, tallos y frutos. Para evaporar 1 g de agua se requieren 570 calorías (cal). Así, en un día de verano con una radiación típica 320 a 380 cal cm⁻², la máxima evaporación diaria será aproximadamente de 6 mm. La transpiración es la pérdida de agua en forma de vapor, a través de las distintas partes de la planta pero fundamentalmente por las hojas. Es el mecanismo que controla la absorción y ascenso de la savia, origina la tensión en el xilema y causa el déficit de agua en las hojas. La evaporación del agua consume una considerable cantidad de energía, debido al elevado calor latente de vaporización, contribuyendo al balance térmico de la hoja. Una planta pierde rápidamente agua transpirando en un día soleado, las células de tejidos jóvenes pierden turgencia, los estomas se cierran y se reduce la fotosíntesis. Los factores que afectan la transpiración son: intensidad de la luz, gradiente de concentración de vapor entre la hoja y el aire, temperatura, viento, abastecimiento de agua en el suelo, área de la hoja, exposición de la hoja, estructura del follaje, apertura estomática y eficiencia de absorción de la raíz.

- **Métodos de medición y estimación de la ETc**

Los métodos indirectos más utilizados para el cálculo y estimación de la ETc se encuentran en los estudios de la FAO N° 24. Requerimiento de los cultivos (Doorembos y Puitt, 1977) y N° 56 Evapotranspiración de los cultivos (Allen *et al.*, 1998).

Entre los métodos directo, podríamos mencionar el balance hídrico entre entradas y salidas de agua en un volumen de suelo y un tiempo determinado. El lisímetro de pesada, que es el método más preciso y directo para medir la ETc, basado en la ecuación de balance hídrico, que nos permite calcular el coeficiente de cultivo Kc mediante la relación entre ETc/ ETo. Los métodos térmicos, midiendo el flujo de savia, en especies frutales, basados en la interacción entre la circulación de la savia y el transporte de calor, usando el calor como trazador y aprovechando la capacidad calorífica de la savia en comparación al aire y la madera húmeda. Cohen *et al.* (1996) resume los principales métodos y características destacables: pulso de calor, radial de calor constante y balance de calor.

1.4.2 Programación del riego

Conocer el estado hídrico de la planta permite manejar racionalmente el riego actuando de forma oportuna para evitar severas carencias de agua. En caso de contar con volúmenes deficitarios de agua es importante para la programación del riego conocer los efectos de la supresión o déficit hídrico en las etapas correspondientes al ciclo fisiológico del cultivo, para decidir sobre la duración de la supresión y los volúmenes de agua que se deben aportar, pues dependiendo del momento, la duración y severidad de la supresión, se tendrán respuestas diferentes en cuanto al desarrollo vegetativo, producción y calidad de las cosechas. Hasta la fecha no se conoce exactamente en qué momento se puede hacer la supresión en el cultivo de pera sin afectar la producción y calidad de la fruta (Marsal *et al.*, 2012).

1.4.3 Contenido hídrico del suelo

El método gravimétrico, es un método directo y habitualmente de referencia para determinar el contenido de humedad del suelo. Existen métodos indirectos como: la dispersión y atenuación de neutrones, la conductancia térmica o reflectometría del dominio en el tiempo (TDR), que se usan generalmente en investigación y permiten medidas rápidas y periódicas. Adicionalmente, el contenido de agua puede deducirse del potencial de agua del suelo, que se puede medir por medio de tensiómetros y sensores de resistencia eléctrica, watermark.

1.4.4 Contenido hídrico de la planta

La utilización de árboles bien regados situados en la misma parcela para la obtención de valores de referencia del estado hídrico de las planta ha servido como parámetro para la programación del riego (Goldhamer y Fereres, 2001). En los últimos años, los avances de la electrónica y manejo de la información han permitido abaratar la utilización de sensores para hacer un seguimiento constante el estado de la planta (Cohen *et al.*, 2001; Leib *et al.*,

2003 y Vélez *et al.*, 2012). Los indicadores que se midieron en este trabajo son: potencial hídrico foliar Ψ_t , crecimiento del tronco y crecimiento de brotes y frutos.

La utilización de Ψ_t se impuso con el desarrollo de la cámara de presión o de Scholander (Scholander *et al.*, 1965). Hoy en día es el parámetro más utilizado para cuantificar el estado hídrico de las plantas y varía en el transcurso del ciclo diario en condiciones naturales. Su determinación implica mediciones manuales que son laboriosas y de difícil automatización. En suelos bien regados, la planta durante la noche tiende a equilibrar su Ψ_t con el del suelo. La hidratación de los tejidos está en evolución continua, ajustándose a la demanda instantánea y al potencial de agua en el suelo. Cuando la sequía es intensa o prolongada y el Ψ disminuye por debajo de un cierto límite, la planta es incapaz de rebajar el suyo y detiene la extracción del suelo. El valor de $\Psi_{\text{crítico}}$ depende de la edad de hoja, de las condiciones ambientales y de los procesos de aclimatación (Syvertsen, 1982).

▪ Evolución del diámetro del fruto

Las mediciones del diámetro del fruto como indicador del momento en que debe aplicarse el riego, fueron recomendadas ya desde tiempo antiguo. Aplicando el riego cuando el crecimiento del fruto disminuye o se detiene, se consigue que el tamaño del árbol y la tasa de crecimiento del fruto sea menor, de tal forma que en la etapa de crecimiento rápido, luego de aplicar el riego, los frutos se recuperan sin afectar la producción, que resulta igual a la de árboles bien regados durante todo el crecimiento. Ebel *et al.*, (1995) recomendaron terminar el RDC en manzano antes de que el crecimiento del fruto fuera inferior al de la curva estándar de crecimiento obtenida en condiciones sin restricción de agua, para de esta forma disminuir el crecimiento vegetativo sin que se afectara la producción ni el tamaño de los frutos. El inconveniente para utilizar el crecimiento del fruto como indicador en la programación del riego, es la alta variabilidad entre frutos y el que no haya siempre frutos tampoco permite utilizar este parámetro para programar el riego.

▪ **Microvariaciones de órganos de las plantas**

La medida indirecta del contenido hídrico de la planta se ha realizado mediante diversas técnicas. Por medio de microvariaciones del espesor de las hojas y de los diámetros de ramas, tallos y frutos (Kozłowski y Winguet, 1964; Kosłowski, 1967; Klepper *et al.*, 1971; Huguet, 1985; Intrigliolo y Castel, 2006). La micromorfometría consiste en seguir las variaciones de los diámetros con una gran resolución 0,01 mm, constantemente y almacenando la información con una determinada frecuencia indicando el estado hídrico de la planta (Huguet, 1985). Durante el día, cuando la transpiración supera la capacidad de las raíces de proporcionar agua a la planta, los tejidos se deshidratan y el tallo se encoge, durante la noche al cesar la transpiración se produce un gradual aumento del diámetro del tallo hasta que se alcanza un grado de hidratación máximo al amanecer.

Los parámetros más frecuentemente utilizados como indicadores de déficit hídrico en árboles son: máxima contracción diaria del tronco (MCD), tasa de crecimiento del tronco (TCT), máximo diámetro del tronco (MDT) que se alcanza al final de la noche cuando la hidratación de los órganos es máxima, mínimo diámetro del tronco (MNMT) normalmente observado al atardecer. MCD es igual a la diferencia entre MDT y MNMT del día (Garnier y Berger, 1986; Huguet *et al.*, 1992). Para el cálculo de la TCT se considera la diferencia de MDT entre uno o varios días consecutivos (Goldhamer *et al.*, 1999; Goldhamer y Fereres 2001; Moriana y Fereres, 2002 y Vélez *et al.*, 2007) (Figura 1-2).

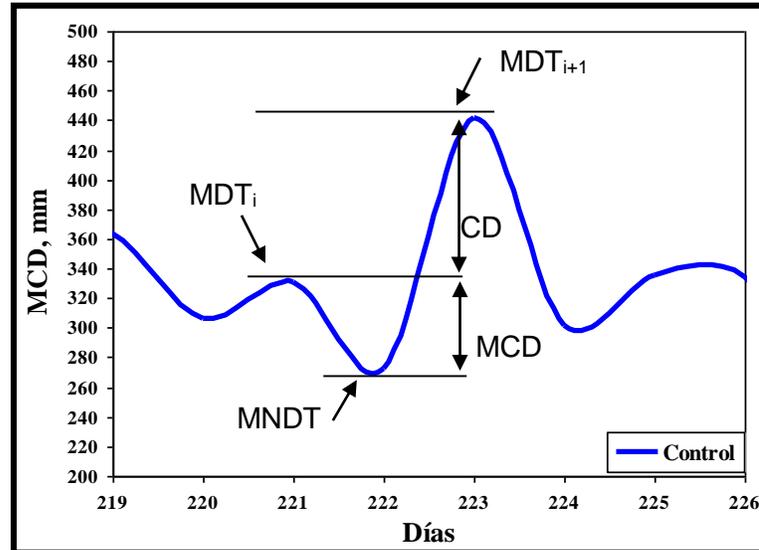


Figura 1-2. Ejemplo de la evolución del diámetro del tronco en el tratamiento Control en el 2003 entre los días 219 a 226, MDT indica el diámetro máximo, MNDT es el diámetro mínimo, CD es el crecimiento diario y MCD es la máxima contracción diaria. (Vélez et al., 2007)

El estrés de la planta puede ser originado por la excesiva transpiración, por la baja absorción o por combinación de las dos (Kramer, 1962). La MCD puede utilizarse como medida del grado de deshidratación de la planta, porque está muy relacionada con el potencial hídrico (So et al., 1979). Kozłowski (1967) fue uno de los primeros investigadores en observar las fluctuaciones del diámetro del tronco a lo largo del día, sin embargo fueron Garnier y Berger (1986) los que se interesaron por la automatización de la programación del riego a partir de los datos generados por dichas oscilaciones. El crecimiento del tronco a medio o largo plazo se reduce de forma proporcional a la reducción del suministro hídrico (Hilgeman y Sharp, 1970). Reducciones en el crecimiento del tronco por riego deficitario han sido reportadas por Vélez et al., 2007 en Clementina de Nules; Intrigliolo y Castel (2008) en Ciruelo; Conejero et al., 2007 en melocotón. Cuando el déficit hídrico es ligero el crecimiento del tronco no siempre se ve afectado (Domingo, 1994).

2. Metodología

2.1 Generalidades

2.1.1 Localización

El experimento se realizó durante los años 2011 y 2012, en la Hacienda San Benito, vereda Boitivá, municipio de Sesquile, Departamento de Cundinamarca, a 42 kilómetros de Bogotá, Latitud 5°02'53,65"N y Longitud 73°48'12,78"W, a 2595 msnm, con temperatura media de 14°C. Limita al norte con los municipios de Choconta y Suesca, al este con el municipio de Macheta, al sur con el municipio de Guatavita y al oeste con el municipio de Gachancipa.

La parcela experimental tiene una superficie aproximada de 0.32 ha, con 22 filas de 6 a 9 árboles cada una.

2.1.2 Material vegetal

Se utilizaron árboles de Pero variedad "Triunfo de Viena" (Fotografía 2-1.), 172 árboles, que se plantaron en 1998 a 4m x 4m.



Fotografía 2-1. Parcela experimental, cultivo de Pero variedad “Triunfo de Viena”.

2.1.3 Suelo

En Sesquile predominan los suelos Histosoles de textura franco arcillosa y relieve montañoso (IGAC 2005), en la vereda Boitivá se encuentran suelos Alfisoles que se caracterizan por ser suelos planos delgados con un horizonte arcilloso negro.

La capacidad de campo y el punto de marchitez permanente son de 26.9 y 15.3% respectivamente. El pH es 4.6, valor medio de potasio (78.2 mg Kg^{-1}), materia orgánica (5.06%) y fósforo (23.9 mg Kg^{-1}).

El agua de riego utilizada presento un pH de 5.9 y una C.E. de 2 dS m^{-1} (a 20° C).

2.1.4 Clima

La información de clima se obtuvo de la estación meteorológica portátil WS-GP1 (AT delta-T Devices Ltda, Reino Unido.) instalada en la parcela en Octubre de 2011.

El clima es templado húmedo con lluvias de moderada intensidad todo el año. Precipitación anual entre 890 y 1500 mm, concentrada en los meses de abril, mayo, octubre y noviembre. La ETo fue calculada mediante la ecuación de Penman – Monteith (Allen *et al.*, 1998). La Tabla 2-1 muestra los valores mensuales de las condiciones de clima.

Tabla 2-1. Valores mensuales de condiciones del clima años 2011 y 2012. Temperatura máxima (Máx.), mínima (Mín) y media (Med); velocidad del viento (V. viento); humedad relativa media (Humedad Relativa); precipitación total (Pt); evapotranspiración potencial (ETo) y radiación solar.

2011									
Mes	Temperatura °C			V. viento (m s ⁻¹)	Humedad Relativa %	Pt, mm		Eto (mm día ⁻¹)	Radiación solar (W m ⁻²)
	Máx.	Mín.	Med.			Total	Días		
Nov.	22,5	4,4	13,0	0,86	82,12	222,4	24	2,479	144,31
Dic.	20,4	6,5	12,9	1,1	78,2	67,6	9	2,581	159,9
2012									
Enero	25,7	4,5	12,7	1	76,2	38,4	8	2,843	175,5
Feb.	24,6	4	12,7	1,2	71,5	15,4	6	3,169	192,7
Marzo	20,6	6,6	12,9	1,1	78,2	76	19	2,437	135,1
Abril	22,2	7,3	12,8	0,9	83,1	283	21	2,236	124,1

2.1.5 Riego

Cada hilera de plantas cuenta con dos líneas de goteo y cada árbol tiene 3 emisores por línea, turbo line de 8 litros por hora (l h⁻¹). El equipo de riego está conformado por:

- 1 filtro de discos de 2"
- 12 válvulas de compuerta de 1"
- 12 contadores volumétricos de velocidad de ½"
- Tubería principal en PVC de 1" y ¾"
- Tubería de polietileno de 16 mm.

El agua aplicada se midió con contadores volumétricos instalados a la salida de cada válvula por parcela experimental (Fotografía 2-2). El volumen de cada tratamiento se controló mediante el tiempo de riego, manteniendo igual la frecuencia, que osciló entre 2 y 4 días por semana.



Fotografía 2-2. Contador volumétrico marca Control Agua y válvula de compuerta de ½”.

2.1.6 Diseño experimental

El diseño experimental fue de bloques completamente al azar teniendo en cuenta la pendiente del terreno y la distribución de los árboles en las parcelas, con tres tratamientos y cuatro repeticiones por tratamiento (12 parcelas), se eligieron dos árboles como unidades experimentales, eliminando el efecto de borde en cada repetición, en los cuales se midió el crecimiento vegetativo y el potencial hídrico foliar. (Figura 2-1).

La determinación de la lámina de riego se hizo con base en la evapotranspiración del cultivo (ETc), desde el 28 de diciembre de 2011 hasta 29 de febrero de 2012 y se aplicaron los siguientes tratamientos:

- **Tratamiento control T1:** Regado al 100% de ETc.
- **Tratamiento T2:** Regado al 67% de ETc.
- **Tratamiento T3:** Regado al 55% de Etc.

En el tratamiento Control T1, se intentó mantener el valor del potencial hídrico del suelo (Ψ_s) entre -30 y -40 KPa.

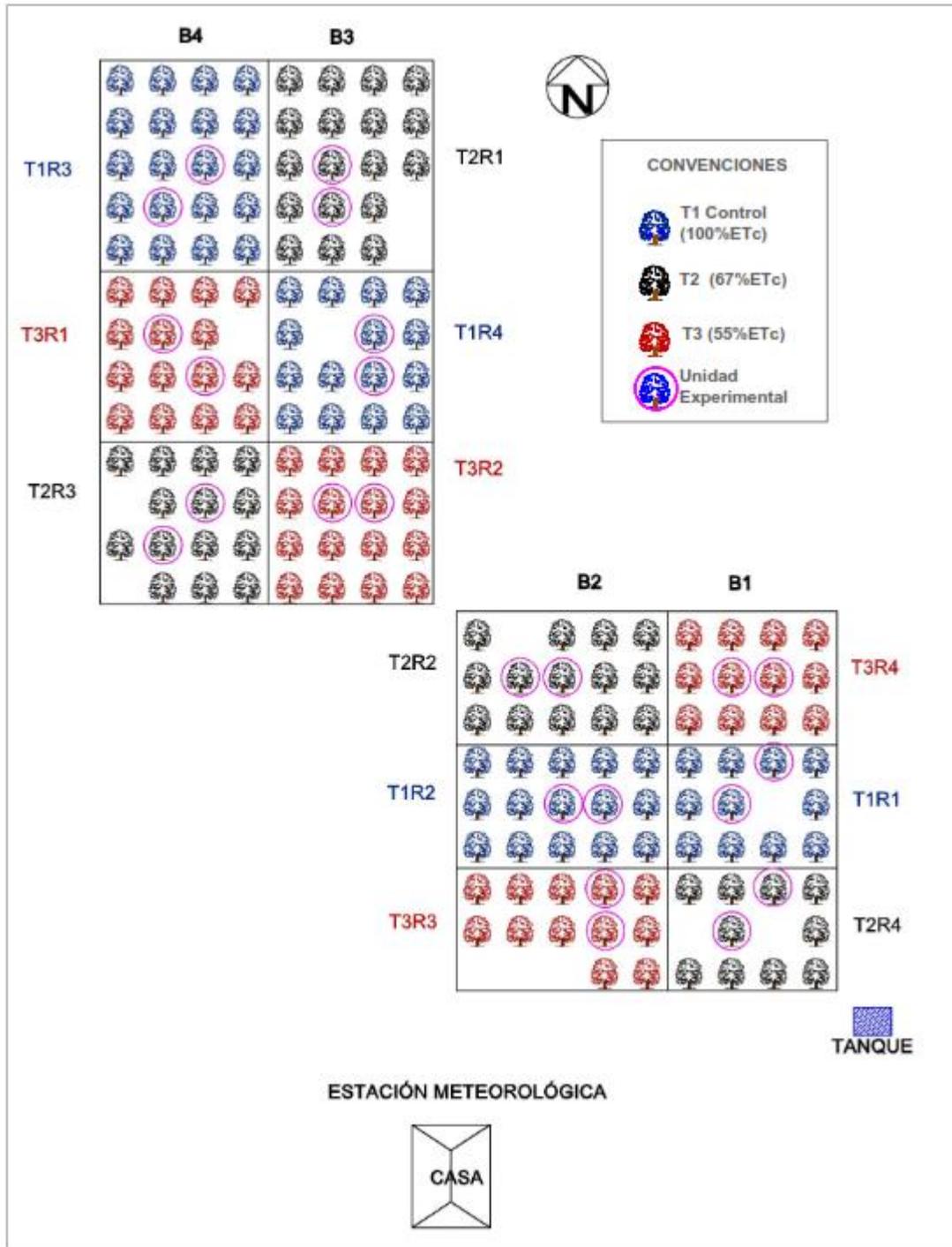


Figura 2-1. Plano de distribución del ensayo con las parcelas y los árboles seleccionados como unidades experimentales.

2.2 Prácticas culturales

En agosto de 2011 cuando el cultivo estaba en la etapa de reposo vegetativo, con una defoliación del 80%, se hizo una aplicación foliar con oxiclورو de cobre y sulfato de Zinc. Veinte días después se aplicó Caldo Bordelex. Un mes después se hizo la poda de fructificación (Fotografía 2-3.). El control de malezas se realizó mecánicamente entre surcos y de forma manual en el plateo. Se aplicó fertilización edáfica tres veces en el año y a través del riego cada quince días. Se realizaron aplicaciones foliares para suplementar el aporte de Fósforo, Potasio y Boro, así, como el control de plagas y enfermedades, con fumigaciones cada quince a veinte días.



Fotografía 2-3. Labores culturales realizadas en el cultivo, (A) poda y (B) fumigación

2.3 Métodos y técnicas utilizadas

2.3.1 Requerimientos hídricos

El uso consuntivo se calculó a partir de la ecuación 2-1.

$$U_c = \frac{ET_o * K_c * \%A}{\eta_r} \quad (2-1)$$

Donde:

Uc: Uso consuntivo

ET_o : Evapotranspiración potencial mm día⁻¹

Kc: Coeficiente del cultivo (1)

%A: Porcentaje área sombreada de la planta

η : Eficiencia de riego

El uso consuntivo se calculó teniendo en cuenta un 43% de área foliar y una eficiencia de riego del 80%.

El tiempo de riego se calculó mediante la ecuación 2-2:

$$t_r = \frac{V_{aa}}{V_a} \quad (2-2)$$

Donde:

t_r : Tiempo de riego, horas

V_{aa} : Volumen de agua a aplicar, l

V_a : Volumen de agua aplicada, l (con seis goteros por planta de 8 l h⁻¹)

2.3.2 Medida del estado hídrico del suelo

■ Medida de la humedad del suelo

La humedad volumétrica del suelo (θ_g) se determinó cada dos días con un datalogger HH2, utilizando una sonda de perfil PR2 (PR2/6, Delta-T Devices Ltda., Cambridge, UK), a seis profundidades fijas (0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.6, y 1.0 m). El equipo consta de una varilla de policarbonato de 25 mm de diámetro, con sensores electrónicos dispuestos a intervalos fijos. El PR2 utiliza señales electromagnéticas para medir la permitividad del suelo, que está dominada por el agua (Delta-T, 2004). Cada parcela experimental tenía un tubo de acceso para medida (Fotografía 2-4.).



Fotografía 2-4. Datalogger HH2 con sonda PR2, en una parcela experimental.

- **Medida del potencial matricial del agua en el suelo**

El potencial matricial de agua en el suelo Ψ_s , fue determinado cada dos días con medidor Watermark, con 10, 13 y 13 sensores de matriz granular (Watermark modelo 200ss) en los tratamientos Control T1, T2 y T3 respectivamente (Fotografía 2-5.), instalados a 30 cm de profundidad y separados 25 cm de la línea de goteo.



Fotografía 2-5. Medidor Watermark y sensor de matriz granular (Watermark Mod. 200ss Irrrometer Co.)

2.3.3 Medida del estado hídrico de la planta

El método para determinar el potencial hídrico foliar fue la cámara de presión (Figura 2-2) que da una medida de la presión hidrostática negativa que se produce en el xilema de una planta intacta debido a la evaporación de agua desde el tejido por transpiración y a las resistencias al movimiento del agua desde el suelo hasta el tejido (Scholander *et al.*, 1965).

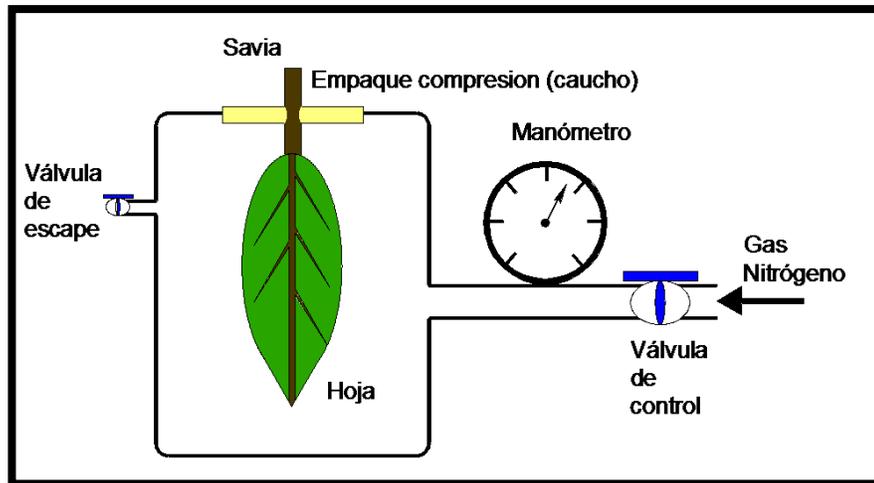
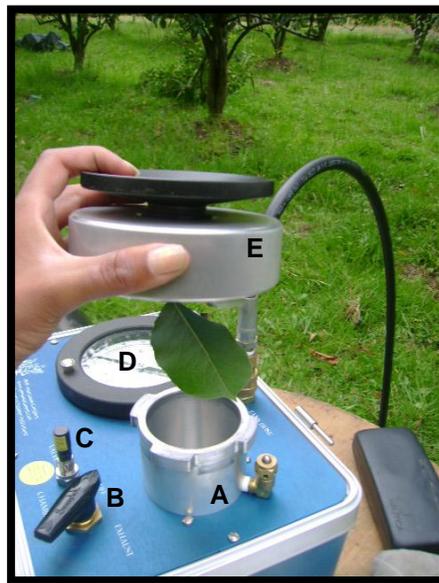


Figura 2-2. Esquema de un corte transversal de la cámara de presión.

El potencial hídrico foliar se midió con una cámara marca Soil Moisture Equip. Corp. mod. 600 (Fotografía 2-6.), de acuerdo al procedimiento descrito por Scholander *et al.* (1965) y siguiendo las precauciones descritas por Turner (1981):

- Se debe prevenir pérdidas de agua entre la toma de la muestra y la medida.
- Evitar la presencia de gotas de agua en la hoja por condensación, antes de la medición, ya que esto puede afectar la medida de potencial.
- Más de un corte en el pecíolo puede provocar errores en la medida.
- La exposición del pecíolo al ambiente debe ser mínima.
- La presurización de la cámara debe ser lenta, para obtener medidas exactas.
- El punto correcto de potencial hídrico ocurre cuando la savia del xilema retorna a la superficie cortada.
- Las fugas de gas a través del tejido de la planta deben ser mínimas, ya que en algunas especies el gas atraviesa los tejidos de la hoja y el pecíolo y dan una lectura errónea.

La cámara de presión tiene un compartimiento (A) en Aluminio endurecido para una máxima presión de operación de 40 Bar; una válvula de control (B) para abrir, cerrar y liberar el gas; válvula reguladora (C) en acero que permite aumentar o disminuir la velocidad de entrada del gas a la cámara y mantenerlo constante durante la medida; manómetro (D) con escalas en Bar y Psi y empaque de compresión en la tapa (E) compuesta por dos elementos que permiten el perfecto ajuste del pecíolo evitando fugas de gas.



Fotografía 2-6. Cámara de presión marca Soil Moisture Equip. Corp. Mod. 600

Las medidas de potencial hídrico foliar (Ψ_t) se realizaron al medio día, en hojas en las que se impidió la transpiración, cubriéndolas dos a tres horas antes de la medida con bolsas de plástico de cierre hermético recubiertas de papel de aluminio (Marsal *et al.*, 2002) (Fotografía 2-7.). Se utilizaron tres hojas maduras por árbol, en ocho árboles por tratamiento, situadas en el tercio inferior de la cara norte del árbol. Las medidas se realizaron al comienzo de las restricciones de agua y posteriormente cada 15 días.



Fotografía 2-7. Hoja cubierta para medición del potencial al tallo (Ψ_t).

Se calculó la integral de estrés (S_ψ) para cada uno de los tratamientos, que es un índice que expresa conjuntamente la intensidad y la duración del estrés, según la ecuación 2-3: (Myers, 1988),

$$S_\psi = \sum_{i=0}^{i=1} (\Psi_{i,i+1} - c)n \quad (2-3)$$

Dónde:

S_ψ : Integral de estrés, MPa día

$\Psi_{i,i+1}$: Media del potencial hídrico foliar en el intervalo de medida $i, i+1$ en MPa

c : Potencial hídrico máximo medido durante el ensayo (-1,1 MPa)

n : Número de días del intervalo.

Durante la medición del (Ψ_t), también se midió la temperatura y humedad relativa con un Datalogger EL-USB 2.0., para el cálculo de la presión de vapor de saturación (PV_{sat}), presión de vapor de aire (PV_{aire}) y el déficit de presión de vapor (DPV), mediante las ecuaciones 2-4, 2-5 y 2-6.

$$PV_{sat} = 0.6108 * e^{\left[\frac{17.27 * T}{237.3 + T}\right]} \quad (2-4)$$

$$PV_{aire} = \left(\frac{HR}{100}\right) + PV_{sat} \quad (2-5)$$

$$DPV = PV_{sat} - PV_{aire} \quad (2-6)$$

Dónde:

PV_{sat} : Presión de vapor de saturación, KPa

PV_{aire} : Presión de vapor de aire, KPa

DPV: déficit de presión de vapor, KPa

HR: Humedad relativa, %

T: Temperatura, °C

2.3.4 Medidas de crecimiento

- **Crecimiento del fruto y vegetativo**

Se seleccionaron 48 frutos por tratamiento, 24 en la dirección Norte y 24 en la dirección Sur, y se midió el diámetro ecuatorial y diámetro longitudinal, con un calibrador manual (precisión 0,01 mm) cada 15 días desde el 8 de enero de 2012 hasta la cosecha en abril de 2012, (Fotografía 2-8.).



Fotografía 2-8. Medición de la altura del fruto con calibrador manual

Las curvas de crecimiento de diámetro ecuatorial y diámetro longitudinal, fueron ajustadas a una ecuación logística de tres parámetros.

En noviembre de 2011 se seleccionaron 12 brotes con una longitud media de 10cm, en cada unidad experimental de cada repetición para un total de 48 por tratamiento. Se midió la

longitud y el diámetro de la base cada 15 días con un flexómetro y calibrador manual (precisión 0,01 mm), respectivamente. Las curvas crecimiento de la longitud y el diámetro de brotes, fueron ajustadas a una ecuación sigmoidea de tres parámetros.

▪ **Tasa absoluta y relativa de crecimiento**

La tasa absoluta de crecimiento TAC representa un cambio de tamaño por unidad de tiempo, correspondiendo a la primera derivada del crecimiento con respecto al tiempo (Hunt, 2003), ecuación 2-7.

$$TAC = \frac{\delta L}{\delta t} \quad (2-7)$$

Dónde:

dL/dt: derivada de la dimensión evaluada con respecto al tiempo

La tasa de crecimiento relativo TCR, fue originalmente llamada “índice de eficiencia” porque esta expresa el crecimiento en términos de tasa de incremento en tamaño por unidad de tamaño (Hunt, 2003), es calculada de la ecuación 2-8.

$$TCR = \left(\frac{1}{L}\right)\left(\frac{\delta L}{\delta t}\right) \quad (2-8)$$

Dónde:

L: dimensión evaluada

dL/dt: derivada de la dimensión evaluada con respecto al tiempo

2.3.5 Variación del diámetro del tronco

En diciembre de 2011, se instalaron 9 sensores de desplazamiento lineal (LVDT “Linear Variable Differential Transformer”, Schlumberger Mod. DF-2.5 con recorrido máximo de ± 2.5 mm), en la cara norte de tres árboles por tratamiento (Fotografía 2-9.), para medir en continuo y tiempo real las variaciones del diámetro del tronco cada 30 segundos y almacenar el promedio de las medidas cada 30 minutos, con un datalogger Campell Scientific CR10X con Multiplexor AM16/32, alimentado por corriente alterna regulada, batería de 12V., y panel solar.

Los coeficientes de calibración de los sensores proporcionado por el fabricante son:(1) 73.673; (2) 73,711; (3) 73.678; (4) 74.284; (5) 73.777; (6) 73.821; (7) 74.204; (8) 74.027 y (9) 73.897 mmV mm⁻¹ V⁻¹

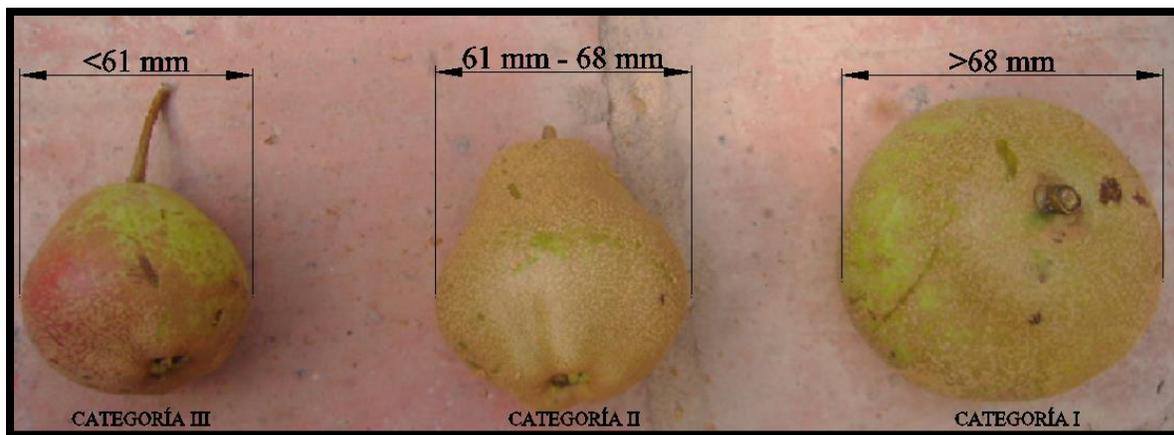


Fotografía 2-9. Dendrómetro (LVDT), instalado en el tronco de Pero variedad “Triunfo de Viena”.

A partir de las variaciones del diámetro del tronco se calcularon, el máximo diámetro diario del tronco (MXTD), la tasa de crecimiento del tronco (TCR) como la diferencia entre el MXTD de 2 días consecutivos y la máxima contracción diaria (MDS), obtenida como la diferencia entre el máximo diámetro y el mínimo diario (Intrigliolo y Castel, 2006).

2.3.6 Producción

Se realizaron dos cosechas en el mes de abril, separando la producción por tratamiento y clasificando la fruta en tres categorías (Fotografía 2-10) según su diámetro, (categoría I diámetro mayor a 68mm, categoría II diámetro entre 62mm y 68mm y categoría III diámetro menor a 61mm). La producción se pesó y cuantificó, por tratamiento y categoría.



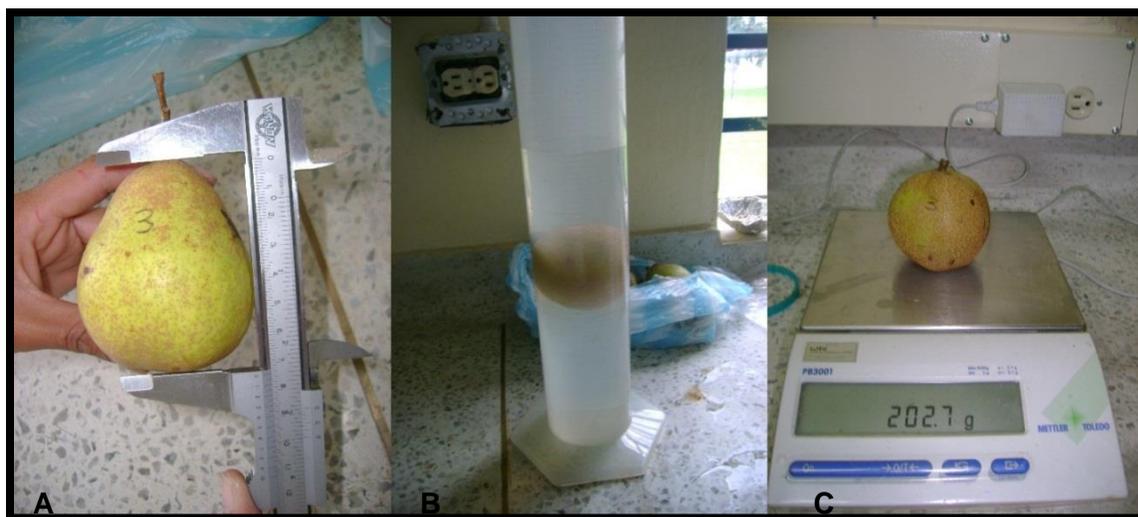
Fotografía 2-10. Categorías según diámetro del fruto.

2.3.7 Calidad de la fruta

Se seleccionaron 20 frutos por tratamiento, y se determinaron los parámetros de calidad como volumen, peso, diámetro ecuatorial, diámetro longitudinal, acidez total titulable, sólidos solubles totales, color, firmeza de endocarpio y mesocarpio.

▪ Dimensiones

Se determinó diámetro ecuatorial y diámetro longitudinal con calibrador manual (precisión 0,01 mm), peso fresco con balanza electrónica PB3001 (precisión 0.1g) y volumen de la fruta, sumergiéndola en una probeta con 1000 ml con agua, determinando el volumen desplazado (Fotografía 2-11).



Fotografía 2-11. Determinación de (A) altura, (B) volumen y (C) peso.

Se determinó la esfericidad con la ecuación 2-9 propuesta por (Curry, 1951) citada por Mohsenin (1986).

$$\text{Esfericidad} = \frac{d_e}{d_c} \quad (2-9)$$

Dónde:

d_e : Diámetro de una esfera del mismo volumen del fruto, cm

d_c : Diámetro del fruto, cm

▪ Color

El color se determinó en tres partes del fruto por reflexión, utilizando el sistema de espacio de color CIE 1976 ($L^*a^*b^*$) o CIELAB. El eje L^* es el de luminosidad (lightness) y va de 0 (negro) a 100 (blanco). Los otros dos ejes de coordenadas son a^* y b^* , y representan variación entre rojizo-verdoso, y amarillento-azulado, respectivamente. Aquellos casos en los que $a^*=b^*=0$ son acromáticos; por esa razón el eje L^* representa la escala acromática de grises que va de blanco al negro. Se utilizó el equipo Chromameter CR400 Konica Minolta (Fotografía 2-12).



Fotografía 2-12. Determinación del color con Chromameter CR400 Konica Minolta

▪ Firmeza

La firmeza fue medida en la parte ecuatorial del fruto en dos puntos, con el equipo analizador de textura de Brookfield Engineering Labs, Inc. con el software TexturePro CT V1.2 Build 9, a una velocidad de prueba de $1,5 \text{ mms}^{-1}$, con una punta de 2 mm. De la curva obtenida se determinaron tres intervalos para hallar la firmeza del endocarpio como: valor máximo en la prueba, firmeza media y firmeza de la pulpa (Fotografía 2-13).



Fotografía 2-13. Medida de firmeza con el analizador de textura de Brookfield Engineering Labs, Inc.

▪ Acidez total titulable (ATT)

Se realizó mediante titulación con NaOH, en 5 g de jugo de frutos agregando 3 gotas de fenolftaleína, usando la ecuación 2-10, (Fotografía 2-14).

$$\% ATT = \frac{V(\text{NaOH}) * N * C}{Pm} * 100 \quad (2-10)$$

Dónde:

V = Volumen de NaOH gastado, ml

N = Normalidad del NaOH ($0,097 \text{ meq ml}^{-1}$)

C = peso equivalente expresado en g de ácido predominante en el fruto (ácido málico 0,067 g meq⁻¹)

Pm = peso en gramos de la muestra utilizada (5g).



Fotografía 2-14. Prueba de determinación de la acidez total titulable. (ATT)

- **Sólidos solubles totales**

Los azúcares totales se determinaron mediante un refractómetro digital portátil (modelo DR201-95, Krüss optronic, Germany), con un rango de medida de 0 - 95% y una precisión de $\pm 0.2\%$ (Fotografía 2-15).



Fotografía 2-15. Refractómetro digital DR201-95 Krüss optronic, Germany

- **Índice de madurez**

El índice de madurez (IM) se determinó como 10 veces el cociente entre la cantidad de azúcares totales (°Brix) y los ácidos (A) expresados como g l⁻¹ de ácido málico. Ecuación 2-11.

$$IM = 10 \frac{^{\circ}Brix}{A} \quad (2-11)$$

2.3.8 Análisis estadístico

El análisis de los datos obtenidos se realizó mediante el programa IBM SPSS statistics 20 (IBM Corporation, 2011), mediante análisis de varianza (ANOVA) y prueba de comparación múltiple DMS, con un nivel de significancia del 5%

3. Resultados y discusión

3.1. Evapotranspiración

Los valores mayores de ETo diaria durante la experimentación se presentaron en los meses de enero y febrero coincidiendo con las mayores temperaturas, DPV y las menores precipitaciones (Figura 3-1).

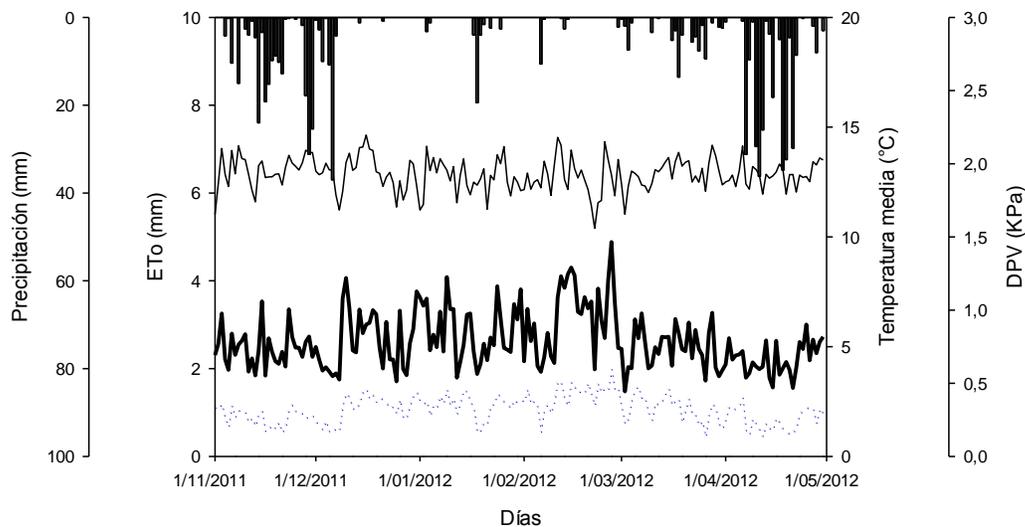


Figura 3-1. Evapotranspiración potencial del cultivo (ETo, línea gruesa continua), temperatura media del aire (Tm, línea delgada continua), déficit de presión de vapor medio diario (DPVm) (línea punteada) y precipitación diaria (barras verticales) durante el período experimental.

3.2. Volumen de agua aplicada

La Figura 3-2 muestra el balance hídrico durante los meses de experimentación, se observa un déficit hídrico en los meses de enero y febrero de 2012, en los demás un exceso debido

a las lluvias, la mayor precipitación se presenta en el mes de abril con 283 mm y la menor en febrero con 15.4 mm.

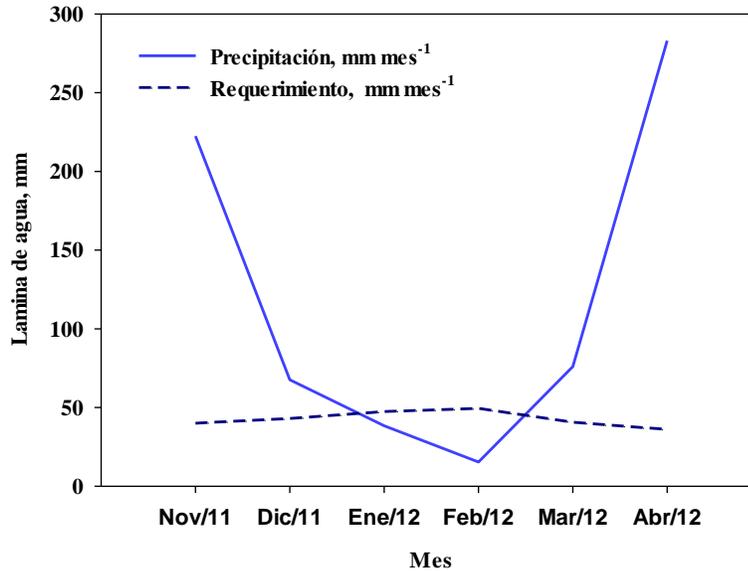


Figura 3-2. Balance hídrico del cultivo de Pera Variedad Triunfo de Viena, Sesquilé, (Cundinamarca).

En el periodo de restricción (50 DDF a 110 DDF) el agua aplicada mediante el riego fue 683 (42,4mm), 460 (28,9mm) y 377 litros árbol⁻¹ (23,6mm) para los tratamientos Control T1, T2 y T3 respectivamente, teniendo en cuenta un Kc igual a 1 para la etapa de crecimiento del fruto, un porcentaje de área sombreada del 43% y una precipitación de 53.8 mm (Figura 3-3). Estos aportes de agua correspondieron a 11.4, 7.7 y 6.28 litros árbol⁻¹ día, para los tratamientos Control T1, T2 y T3 respectivamente, lo que equivale a un ahorro de agua en los tratamientos deficitarios de 32.65 y 44.80%, respectivamente.

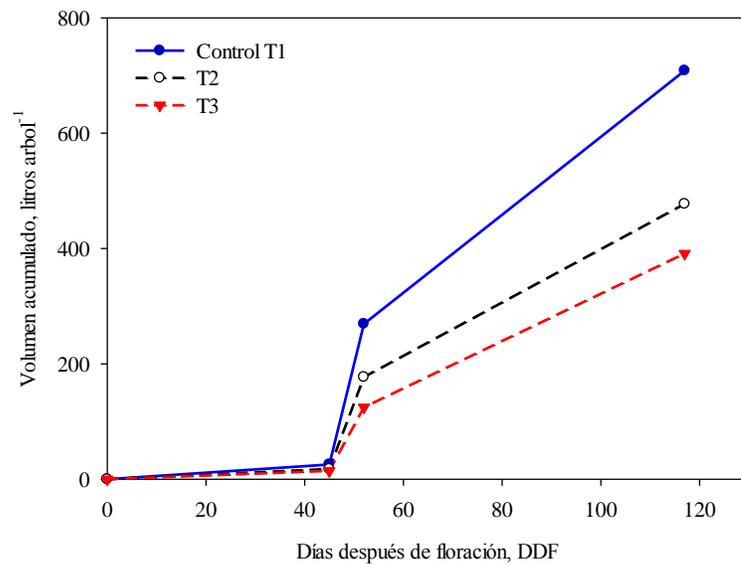


Figura 3-3. Volumen acumulado de agua en Litros árbol⁻¹ durante el periodo de restricción para los tratamientos Control T1, T2 y T3.

3.3. Relaciones hídricas

3.3.1. Potencial Hídrico del suelo (Ψ_s) medido con sensor Watermark

El potencial hídrico del suelo Ψ_s presentó un comportamiento acorde a las aplicaciones de las láminas de agua para cada uno de los tratamientos. El Ψ_s del tratamiento Control T1 se mantuvo durante el periodo de restricción entre -60 y -20 KPa, menor que el de T2 y T3, siendo menor a mayor restricción y se igualan cuando se presentan las lluvias (Figura 3-4). El tratamiento T3 alcanza el potencial más alto (-101KPa) el DDF 92, con una recuperación lenta al final de los tratamientos. La evolución del (Ψ_s) refleja las variaciones de la humedad del suelo producidas por el efecto del riego y las lluvias, es así, como en los días 66, 111 y 126, cuando la precipitación fue de 19.4, 7.4 y 13.6mm respectivamente, el Ψ_s de todos los tratamientos se recupera, mostrando que para este tipo de suelo los sensores watermark responden rápidamente a los cambios de humedad durante los ciclos de secado y humedecimiento, similar a lo encontrado por Arenas *et al.*, (2012) en el mismo suelo y contrario a lo reportado por Vélez *et al.*, (2011), para un suelo de textura franco arcillo arenoso.

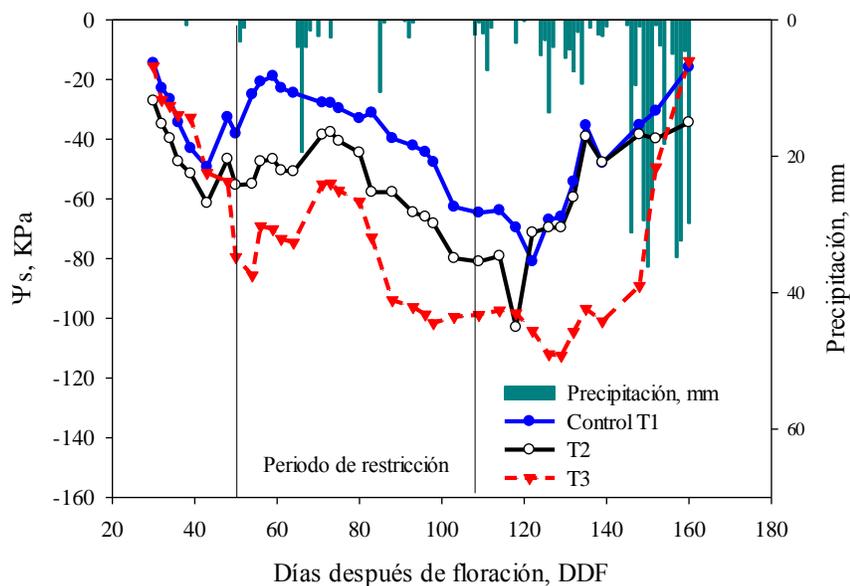


Figura 3-4. Evolución del potencial hídrico del suelo (Ψ_s) en los tratamientos Control T1, T2 y T3.

3.3.2. Humedad Volumétrica medida con sonda PR2

La humedad volumétrica (θ_v) presentó un comportamiento acorde a las aplicaciones de las láminas de agua para cada uno de los tratamientos durante el periodo de restricción y no mostró diferencia significativa ($p > 0,05$) entre los mismos, debido posiblemente a la alta frecuencia de riego y a las precipitaciones esporádicas que se presentaron, lo que permitió mantener más o menos una humedad constante (Tabla 3-1). Durante el periodo de restricciones hídricas del día 50 al 109, la humedad volumétrica media fue del 42.9, 38.7 y 33.5% para los tratamientos Control T1, T2 y T3 respectivamente, superiores a la capacidad de campo 26.9%.

Tabla 3-1. Humedad volumétrica a 30 cm

DDF	T100	T75	T50
48	13,9	18,2	15,0
50	18,3	17,2	11,4
54	23,1	18,7	11,4
56	26,1	24,8	13,4
59	65,2	58,4	55,9
64	45,5	39,9	28,9
71	36,1	33,5	28,1
73	37,6	35,1	33,3
75	35,0	45,7	30,1
80	48,4	43,6	32,2
83	39,4	38,5	37,4
88	47,8	46,1	45,5
93	67,7	50,0	51,3
95	54,3	34,6	29,3
98	48,8	46,1	47,6
109	50,8	48,5	46,7
111	28,8	25,3	21,4
114	11,2	15,0	10,1
118	6,7	8,6	8,9

3.3.3. Potencial Hídrico del tallo (Ψ_t)

Al igual que el potencial hídrico del suelo Ψ_s y la humedad volumétrica (θ_v), el potencial hídrico de la planta (Ψ_t) presentó un comportamiento directamente proporcional a las aplicaciones de las láminas de agua para cada uno de los tratamientos. En el periodo de restricción Figura 3-5, se observa que el (Ψ_t) en el tratamiento deficitario T3 es mayor al Control T1 y T2, sin diferencia significativa ($p > 0,05$), alcanzando un valor de $-0,65$ MPa después de 33 días de iniciar la restricción de agua, valor que se ajusta a lo que define De Swaef *et al.*, 2009 para la mayoría de los frutales (entre $-0,5$ y $1,5$ Mpa), y muy superior a los encontrados por Marsal *et al.* (2012), ($-1,2$ MPa, en pera variedad “Conferencia”) y Naor *et al.*, (2006) ($-2,2$ MPa, en pera variedad “Spadona”), sin afectar el rendimiento. La evolución del (Ψ_t) refleja las variaciones de la humedad del suelo producidas por el efecto del riego y las lluvias, es así, como en los días 66, 85, 111 y 126, cuando la precipitación fue de 19.4, 10.6, 7,4 y 13.6mm, respectivamente, el Ψ_t de todos los

tratamientos se igualan, mostrando la rápida rehidratación de los árboles tras las lluvias, (Vélez *et al.*, 2007), lo que puede causar en muchas especies que los frutos experimenten un crecimiento compensatorio al reanudar el riego tras un déficit hídrico (Sánchez-Banco y Torrecillas. 1995). Debido a las condiciones del clima el 160 DDF se presentó una alta temperatura durante la toma de medidas, lo que ocasiono los altos potenciales al tallo, por esto es importante la medición del potencial al alba para evitar el efecto de las condiciones climáticas (Velez *et al.*, 2012).

La evolución del potencial hídrico bajo condiciones adecuadas de riego depende de la demanda evaporativa, por lo que existe una correlación significativa al 5%, entre el déficit de presión de vapor (DPV) y el Ψ_t , como se aprecia en la Figura 3-6, en donde a medida que aumenta el DPV, disminuye el Ψ_t , igual a lo encontrado en olivo (Goldhamer y Fereres, 2001), ciruelo (Intrigliolo y Castel, 2004 y 2006), almendros (Nortes *et al.*, 2005) y en clementinas (Vélez *et al.*, 2007).

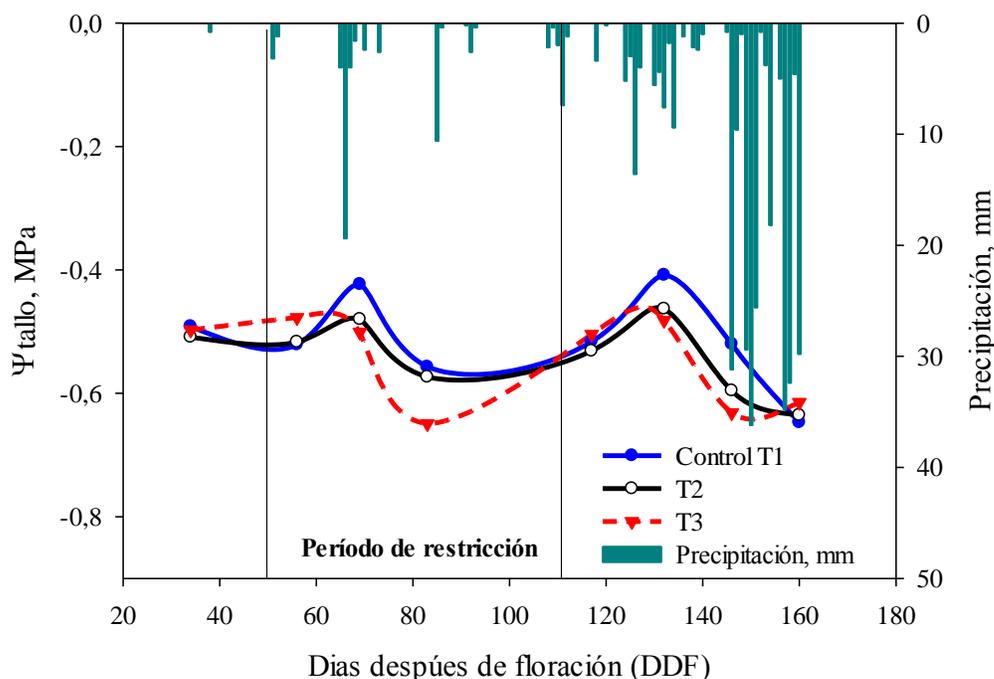


Figura 3-5. Evolución del potencial hídrico del tallo (Ψ_t) en los tratamientos Control T1, T2 y T3. Los valores corresponden a la media de dos y tres hojas por árbol en ocho árboles por tratamiento.

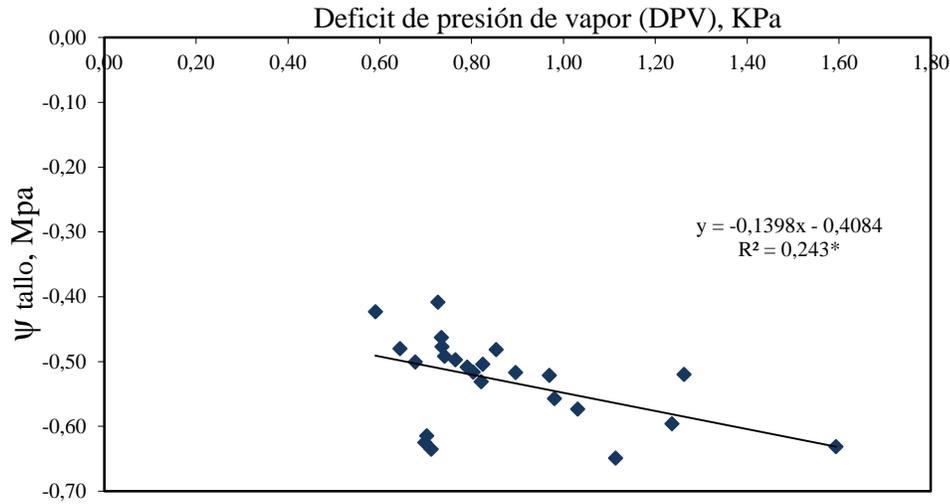


Figura 3-6. Correlación potencial al tallo (ψ_t) y déficit de presión de vapor (DPV), (*significativo al 5%, con 22 grados de libertad).

3.4. Crecimiento

3.4.1. Crecimiento del fruto

El crecimiento del fruto durante el experimento sigue una curva sigmoide simple, en la cual se pueden distinguir tres fases como las descritas por Fisher *et al.*, (2012). La fase uno caracterizada por la división celular desde la floración hasta 49 DDF, la fase dos en la que se presenta alargamiento celular desde 50 DDF hasta 110 DDF y la fase tres en la que madura el fruto y hay poco crecimiento desde 111 DDF hasta la cosecha. Durante el crecimiento no se presentó diferencia significativa ($p > 0,05$) en el diámetro longitudinal y en el diámetro ecuatorial del fruto, Figura 3-7 y Figura 3-8.

El crecimiento del diámetro ecuatorial del fruto presentó su mejor ajuste a una ecuación logística de tres parámetros, con coeficientes de determinación mayores a 0,97.

$$y = \frac{a}{1 + e^{-b(x-c)}} \quad 3-1$$

En la Tabla 3-3 se presenta las ecuaciones de regresión, en donde: y , es la dimensión del fruto; a , la máxima dimensión final del fruto; b , es la tasa absoluta de crecimiento en el punto de inflexión y c , es el día en que se presenta la mayor tasa absoluta de crecimiento.

El parámetro **a** no presentó diferencias significativas entre tratamientos (7.4, 7.3 y 7.3 cm para Control T1, T2 y T3 respectivamente), contrario a lo encontrado en peral (*Abbé Fénel*) por Morandi *et al.*, (2014) quienes al aplicar tratamientos de 100% ETc y 25% ETc, encontraron en este último reducción del crecimiento del fruto de 50% comparado con el promedio en la cosecha.

Los días 81 a 82 se presenta la mayor tasa absoluta de crecimiento (primero en el tratamiento T3 (81,65) seguida del T2 (81,69) y un día después en el Control T1 (82,47)). El parámetro **b** corresponde a la tasa absoluta de crecimiento en los puntos de inflexión donde comienza y termina la fase II de crecimiento del fruto, las tasas correspondientes no se diferencian significativamente (0,0252, 0,0255 y 0,0262 para Control T1, T2 y T3 respectivamente) lo que permite suponer que la fase de crecimiento rápido de fruto fue más prolongada en el Control T1, seguida de T2 y T3 lo que explica por qué el día de máxima tasa de crecimiento se presenta primero en T3.

Tabla 3-2. Ecuaciones de crecimiento del diámetro ecuatorial de los frutos

Tratamiento	Modelo
T1 Control	$y = \frac{7,446}{1 + e^{-0,0252(x-82,47)}}$
T2	$y = \frac{7,372}{1 + e^{-0,0255(x-81,6962)}}$
T3	$y = \frac{7,310}{1 + e^{-0,0262(x-81,655)}}$

Con base en los modelos obtenidos, la fase uno finaliza con un diámetro ecuatorial de fruto de 1.20, 1.19 y 1.19cm para el tratamiento Control T1, T2 y T3, respectivamente. La fase dos termina con diámetros ecuatoriales de 6.24, 6.17 y 6.11 cm para Control T1, T2 y T3 respectivamente.

Con el 167 DDF, fecha de la cosecha, el modelo da un diámetro ecuatorial de 6.65, 6.61 y 6.60 cm para el Control T1, T2 y T3 respectivamente, similares a los medidos 7.07, 6.93 y 6.83 cm y a los estimados por Kappel *et al.*, (1995) en *Pyrus Communis* L, como diámetro preferido por los consumidores entre 6.0 y 7.5 cm y mayores a lo encontrado en esta misma parcela por Arenas *et al.*, (2013) correspondiente a 6.1cm y 6.3cm a los 151 DDF.

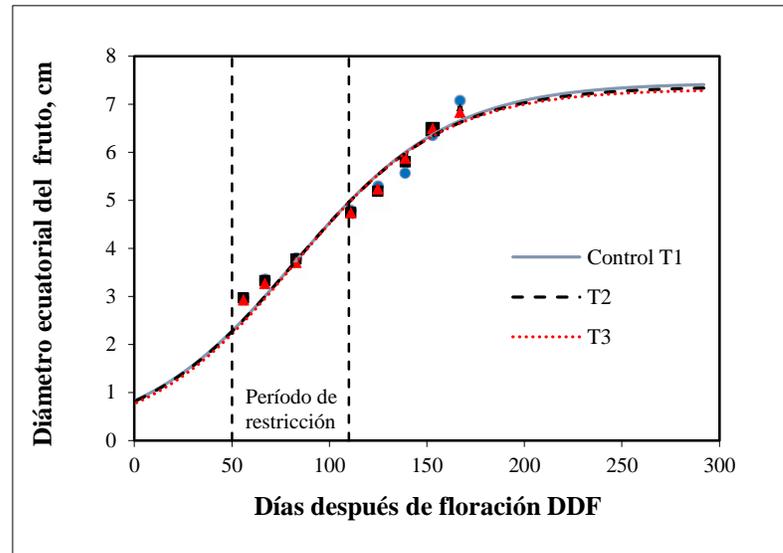


Figura 3-7. Curvas de crecimiento del diámetro ecuatorial de los frutos.

En el caso del diámetro longitudinal del fruto la ecuación 3-2, es la que más se ajusta.

$$y = \frac{a}{1+b \cdot e^{-cx}} \quad 3-2$$

En la Tabla 3-3 se presenta las ecuaciones de regresión, en donde: y , es la dimensión del fruto; a , la máxima dimensión final del fruto; b , es constante de proporcionalidad y c , es la tasa absoluta de crecimiento en los puntos de inflexión.

Los valores obtenidos de máximo diámetro longitudinal en el modelo para el parámetro a son 7.46cm para Control T1, 7.14cm para T2 y 7.94cm para T3 y se presentaría a los 421 DDF.

De acuerdo a los modelos obtenidos, la fase uno finaliza con un diámetro longitudinal de fruto de 2.63cm, 2.54cm y 2.46cm para los tratamientos Control T1, T2 y T3, respectivamente. La fase dos termina con un diámetro longitudinal de 5.55, 5.49 y 5.38 para los tratamientos Control T1, T2 y T3 respectivamente.

Con el 167 DDF, fecha de cosecha, los diámetros obtenidos aplicando el modelo son 6.95, 6.76 y 7.13 cm para Control T1, T2 y T3 respectivamente, similares a los valores reales 7.74, 7.25 y 7.46 y mayores a lo encontrado en esta misma parcela por Arenas *et al.*, (2013) correspondiente a 6.15 y 6.29cm a los 151 DDF. El parámetro c correspondiente a tasa absoluta de crecimiento en los puntos de inflexión donde comienza y termina la fase II de

crecimiento del fruto, las tasas correspondientes no se diferencian significativamente (0,0275, 0,0294 y 0,0253 para Control T1, T2 y T3 respectivamente).

Tabla 3-3. Ecuaciones de crecimiento de diámetro longitudinal de los frutos

Tratamiento	Modelo
T1 Control	$y = \frac{7,455}{1 + 7,044e^{-0,0275x}}$
T2	$y = \frac{7,143}{1 + 7,612e^{-0,0294x}}$
T3	$y = \frac{7,937}{1 + 7,669e^{-0,0253x}}$

En la Figura 3-8 se observa que el crecimiento del diámetro longitudinal del fruto para el tratamiento T3, tiende a ser menor durante el período de restricción, mientras en la etapa de recuperación alcanza el mayor crecimiento, debido a que los frutos experimenten un crecimiento compensatorio al reanudar el riego tras un déficit hídrico (Sánchez-Banco y Torrecillas, 1995). Esto también puede indicar que los frutos son capaces de acumular materia seca durante los periodos de estrés hídrico, que puede quedar disponible para propiciar el crecimiento compensatorio, similares resultados han encontrado en pera (Yang Wu *et al.*, 2013) y cítricos (Cohen y Goell, 1984; Domingo *et al.*, 1996 y Vélez *et al.*, 2007).

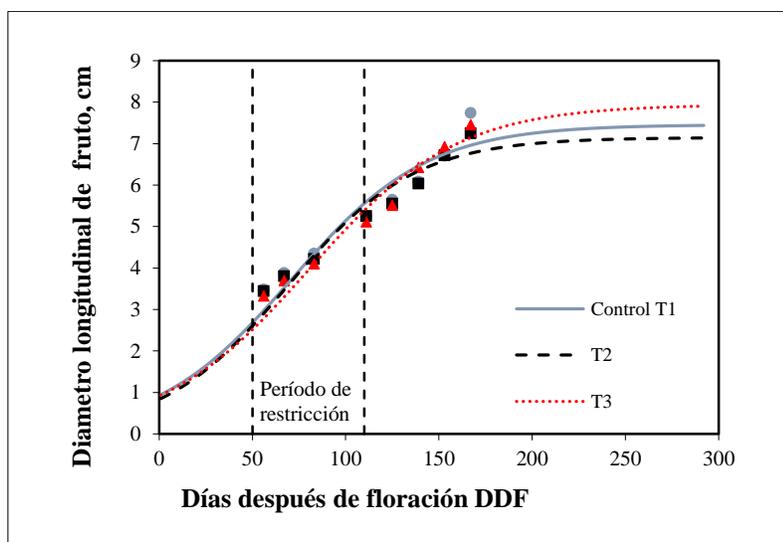


Figura 3-8. Curvas de crecimiento del diámetro longitudinal de los frutos.

La diferencia entre modelos de crecimiento de diámetro ecuatorial y longitudinal se explica por la forma típica alargada de la pera y se puede visualizar con la relación diámetro longitudinal/diámetro ecuatorial, la que disminuye entre 50 DDF y 125 DDF, se recupera levemente entre 125 DDF y 139 DDF en los tratamientos T3 y Control T1, finalmente se incrementa en los 153DDF a 167DDF, lo que se traduce en un mayor crecimiento longitudinal, acercándose de forma gradual a la unidad y finalmente se presenta una recuperación leve del diámetro longitudinal, definiendo la forma ligeramente alargada de la pera (Figura 3-9).

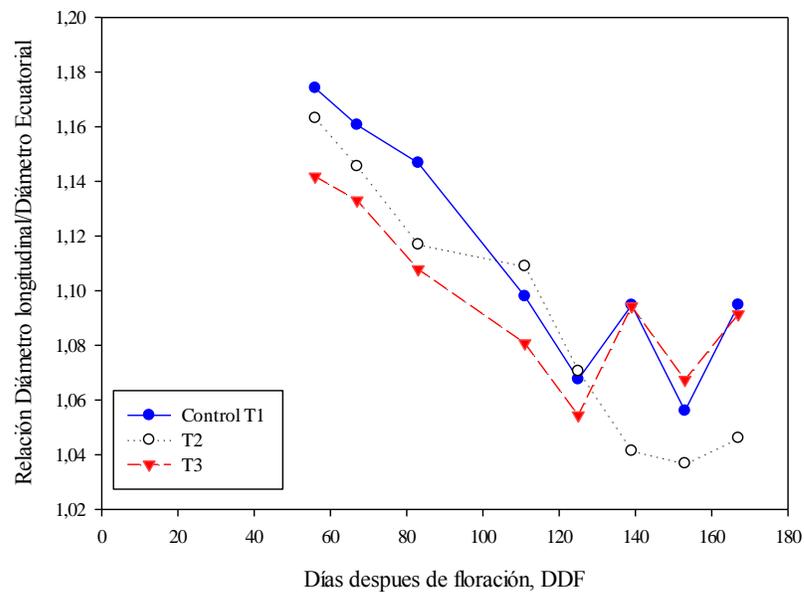


Figura 3-9. Relación diámetro longitudinal/diámetro ecuatorial de fruto

El tamaño del fruto está relacionado a factores como los descritos por Rodríguez (2005), para Pera Willians como: posición en el árbol, proximidad a otros frutos que compiten por fotosintatos y nutrientes minerales, número de semillas, temperatura, riego en la etapa de crecimiento, capacidad fotosintética, características propias de la planta y número de frutos (Marsal *et al.*, 2012) que no se presenta en este caso.

3.4.2. Crecimiento de brotes

El crecimiento vegetativo se determinó con los brotes seleccionados, el máximo crecimiento se obtuvo en el Control T1, como lo encontrado en cerezo por Podesta, *et al.*, (2010), Figura 3-10 y Figura 3-11.

La ecuación que mejor representa el modelo de crecimiento de brotes es la sigmoidea de tres parámetros con coeficientes de determinación mayores a 0,99:

$$y = \frac{a}{1 + e^{-\left(\frac{x-c}{b}\right)}} \quad 3-3$$

En las tablas 3-4 y 3-5 se presentan las ecuaciones de regresión donde: y, es la dimensión del brote; a, la máxima dimensión que alcanza el brote; x, días después de floración; c, tiempo en que se logra la máxima tasa absoluta de crecimiento y b, constante de proporcionalidad.

Tabla 3-4. Ecuaciones crecimiento de longitud de los brotes

Tratamiento	Modelo
Control T1	$y = \frac{89,216}{1 + e^{-\left(\frac{x-47,124}{30,765}\right)}}$
T2	$y = \frac{69,178}{1 + e^{-\left(\frac{x-37,984}{27,130}\right)}}$
T3	$y = \frac{79,262}{1 + e^{-\left(\frac{x-40,793}{27,148}\right)}}$

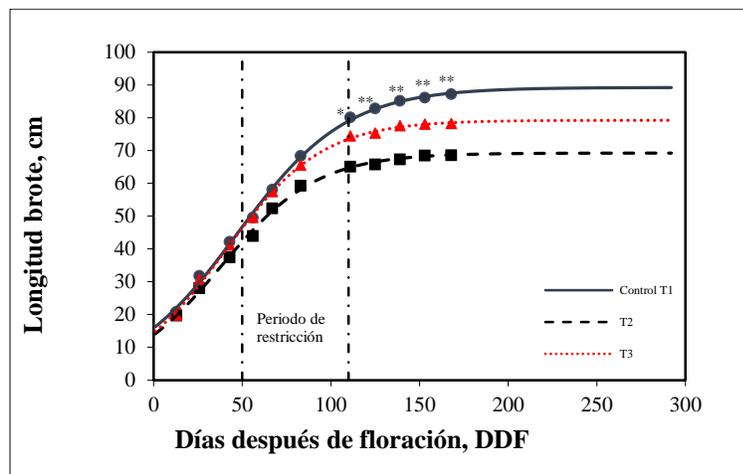


Figura 3-10. Curva de crecimiento de la longitud de los brotes. *,, indican diferencia significativa con $P \leq 0,05$, $P \leq 0,01$, con respecto al Control T1 de acuerdo a la prueba DMS.**

Al iniciar los tratamientos los brotes habían alcanzado cerca del 60% de su longitud final, en el periodo de restricción el crecimiento por día disminuyó más en los tratamientos T2 y T3. Se presentaron diferencias significativas a los 111, 125, 139, 153 y 168 DDF, entre el tratamiento T2 y el Control T1, de acuerdo a lo encontrado por Chalmers *et al.*, (1986) en pera Bartlett, Ningbo *et al.*, (2009) en pera jujuba, Yang Wu *et al.*, (2013) en pera bretschnideri, el crecimiento vegetativo se ve afectado por el déficit de agua y la longitud final de los brotes es menor, este comportamiento es debido a que la fotosíntesis de hojas es inhibida por la acumulación de solutos cuando el árbol es afectado por el estrés hídrico, la tasa fotosintética tiende a recuperarse, con tal que se transfieran los solutos de hojas a frutos (Yang Wu *et al.*, 2013). Respecto al bloqueo se encontraron diferencias significativas a los 13 DDF (B3 diferente significativamente ($p < 0,001$) a B1 y B4 y B3 diferente significativamente ($p < 0,01$) a B2), 26 DDF (B3 diferente significativamente ($p < 0,001$) a B1 y B3 diferente significativamente ($p < 0,005$) a B4), 43 DDF (B3 diferente significativamente ($p < 0,001$) a B1 y B4 y B3 diferente significativamente ($p < 0,05$) a B2) y 56 DDF (B3 diferente significativamente ($p < 0,05$) a B1, B2 y B4) lo que infiere que tuvo sentido el bloqueo por pendiente del terreno (datos no mostrados).

En el diámetro de brotes el crecimiento antes y durante el periodo de restricción es similar, solo después de terminar este periodo se observa una disminución en los tratamientos T2 y T3, llegando al final a tener menor diámetro de brote que el tratamiento Control T1, sin presentarse diferencias significativas.

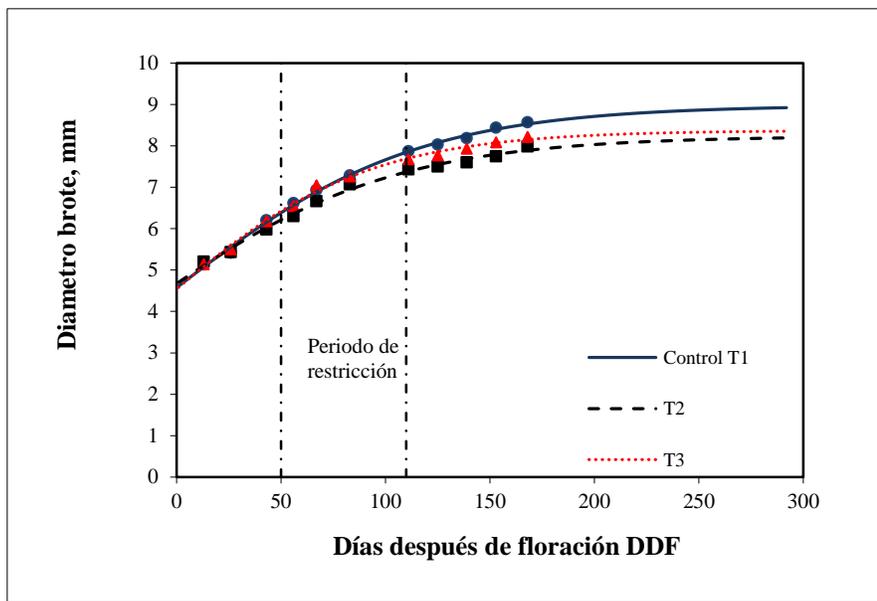


Figura 3-11. Curva de crecimiento del diámetro de los brotes.

En la tabla 3-5 se presenta el resultado de las regresiones para crecimiento de diámetro de brotes, el máximo diámetro alcanzado por los brotes en cada tratamiento es de 8.98, 8.24 y 8.37mm, para los tratamientos Control T1, T2 y T3 la cual sería alcanzada en 433 DDF.

El parámetro *c* correspondiente al día en que se presenta la máxima TAC es negativo en todos los tratamientos esto se refiere que la máxima TAC de diámetro de brotes se presenta antes de la plena floración.

Tabla 3-5. Ecuaciones crecimiento de diámetro de los brotes

Tratamiento	Modelo
Control T1	$y = \frac{8,98}{1 + e^{-\left(\frac{x+2,14}{57,96}\right)}}$
T2	$y = \frac{8,24}{1 + e^{-\left(\frac{x+15,84}{58,83}\right)}}$
T3	$y = \frac{8,37}{1 + e^{-\left(\frac{x+8,28}{48,89}\right)}}$

3.1.1. Tasa absoluta y relativa de crecimiento

- **Frutos**

Durante el periodo de restricción (50DDF-110DDF) los modelos ajustados de tasa absoluta de crecimiento (TAC) tienen la misma tendencia, además muestran el comportamiento típico para un fruto de pera, en manzana Yuri, *et al.*, (2011) encontraron un comportamiento de la TAC similar. En la Figura 3-12 y Figura 3-13, se observa que la máxima TAC se presentó en la fase dos de crecimiento, lo cual es típico en frutos de crecimiento sigmoide simple como lo encontrado por Balaguera, (2011) en Champa y por Yuri *et al.*, (2011) en manzana.

En el periodo de reanudación del riego al 100% de ETc, 15 días después de terminar el periodo de restricción se observa la tendencia de disminución de la TAC del diámetro longitudinal del fruto en los tratamientos T2 y T3, mientras que en el Control T1, se mantiene por encima. Los modelos obtenidos para TAC de diámetro longitudinal y ecuatorial se presentan en la Tabla 3-6 y Tabla 3-7.

Tabla 3-6. Ecuaciones modelo TAC diámetro longitudinal de los frutos

Tratamiento	Modelo
Control T1	$TAC_{DiamL_{T1}} = \frac{1,467 * e^{-0,028x}}{(1 + 7,044 * e^{-0,028x})^2}$
T2	$TAC_{DiamL_{T2}} = \frac{1,576 * e^{-0,029x}}{(1 + 7,612 * e^{-0,029x})^2}$
T3	$TAC_{DiamL_{T3}} = \frac{1,521 * e^{-0,025x}}{(1 + 7,669 * e^{-0,025x})^2}$

+

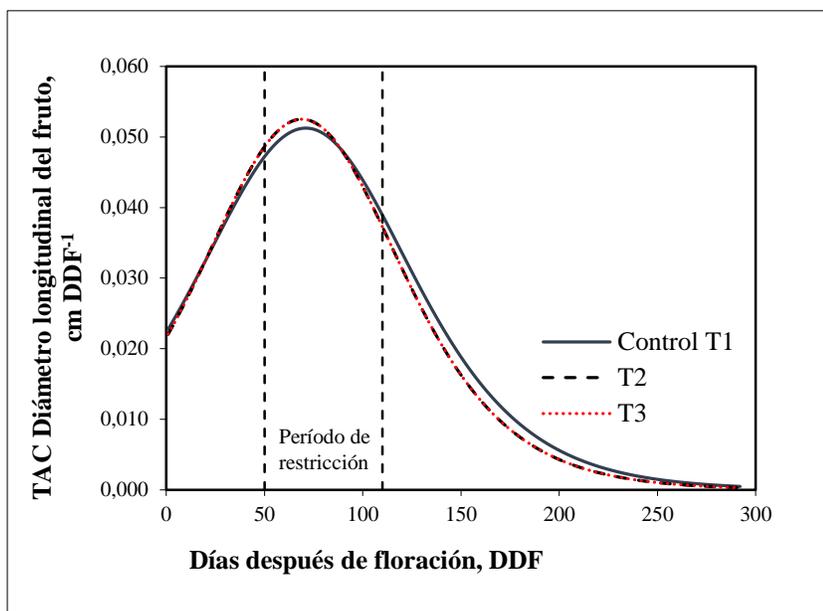


Figura 3-12. Tasa absoluta de crecimiento (TAC) del diámetro longitudinal del fruto.

Tabla 3-7. Ecuaciones modelo TAC diámetro ecuatorial de los frutos

Tratamiento	Modelo
Control T1	$TAC_{DiamE_T1} = \frac{0,186 * e^{0,025(x+82,47)}}{2 * e^{0,025(x+82,47)} + e^{0,05x} + e^{4,12}}$
T2	$TAC_{DiamE_T2} = \frac{0,192 * e^{0,026(x+81,696)}}{2 * e^{0,026(x+81,696)} + e^{0,052x} + e^{4,248}}$
T3	$TAC_{DiamE_T3} = \frac{0,190 * e^{0,026(x+81,655)}}{2 * e^{0,026(x+81,655)} + e^{0,052x} + e^{4,246}}$

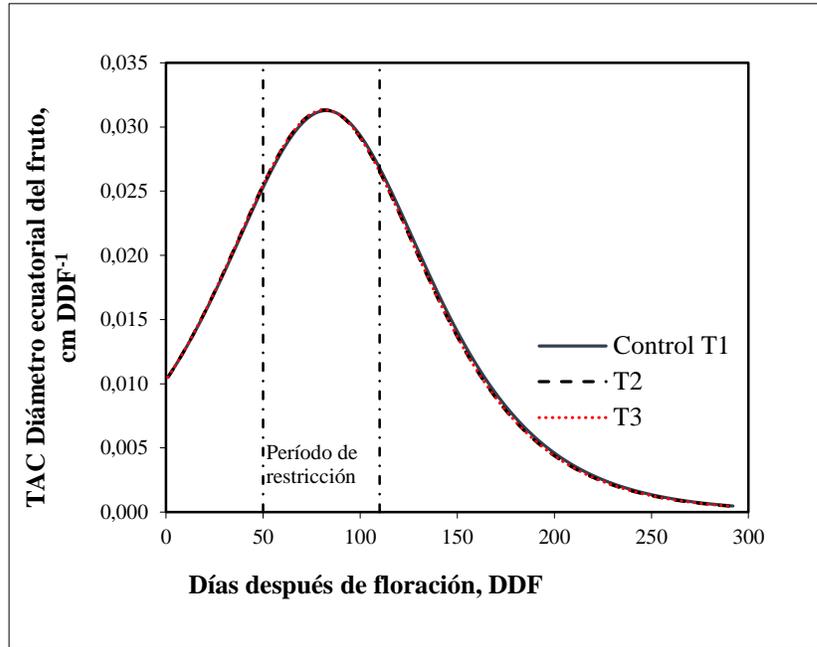


Figura 3-13. Tasa absoluta del crecimiento (TAC) del diámetro ecuatorial del fruto.

En cuanto a la TAC de diámetro ecuatorial de fruto se observa comportamiento similar en los tratamientos, presentándose la máxima TAC en la fase II de crecimiento.

La TRC Tabla 3-8 y Tabla 3-9, tanto en diámetro ecuatorial como longitudinal, inicia con una disminución lenta en la fase uno de crecimiento, seguido por una disminución drástica en la fase dos hasta la cosecha, similar al encontrado en fruto de Champa por Balaguera (2011), diferente a lo encontrado por Yuri, *et al.*, (2011) en manzana, en el cual la disminución es constante durante todas las fases de crecimiento.

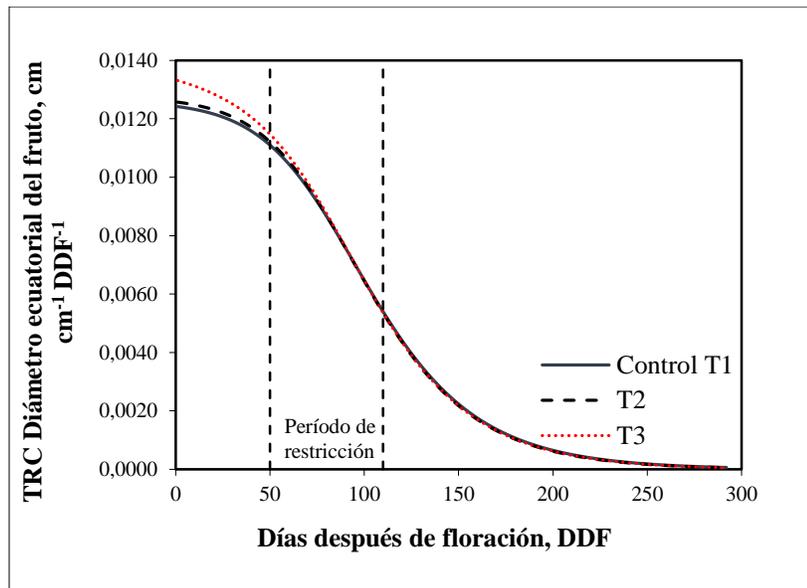
Tabla 3-8. Ecuaciones modelo TCR diámetro longitudinal de frutos

Trat.	Modelo
T1	$TRC_{DiamL_{T1}} = \frac{1 + 7,044e^{-0,0275x}}{7,455} * \frac{1,467 * e^{-0,028x}}{(1 + 7,044 * e^{-0,028x})^2}$
T2	$TRC_{DiamL_{T2}} = \frac{1 + 7,612e^{-0,0294x}}{7,143} * \frac{1,576 * e^{-0,029x}}{(1 + 7,612 * e^{-0,029x})^2}$
T3	$TRC_{DiamL_{T3}} = \frac{1 + 7,669e^{-0,0253x}}{7,937} * \frac{1,521 * e^{-0,025x}}{(1 + 7,669 * e^{-0,025x})^2}$

Tabla 3-9. Ecuaciones modelo TCR diámetro ecuatorial de frutos

Trat.	Modelo
T1	$TRC_{DiamE_T1} = \frac{1 + e^{-0,0252(x-82,47)}}{7,4458} * \frac{0,186 * e^{0,025(x+82,47)}}{2 * e^{0,025(x+82,47)} + e^{2*0,025x} + e^{2*0,025*82,47}}$
T2	$TRC_{DiamE_T2} = \frac{1 + e^{-0,0255(x-81,6962)}}{7,372} * \frac{0,192 * e^{0,026(x+81,696)}}{2 * e^{0,026(x+81,696)} + e^{2*0,026x} + e^{2*0,026*81,696}}$
T3	$TRC_{DiamE_T3} = \frac{1 + e^{-0,0262(x-81,655)}}{7,310} * \frac{0,190 * e^{0,026(x+81,655)}}{2 * e^{0,026(x+81,655)} + e^{2*0,026x} + e^{2*0,026*81,655}}$

La TCR de diámetro ecuatorial Figura 3-14 describe un comportamiento en la fase I de disminución lenta que corresponde al comportamiento de crecimiento lento del fruto de pera en esta fase, al iniciar la fase II se observa una disminución más acelerada y continua, hasta la fase III de maduración de fruto.

**Figura 3-14. Tasa de crecimiento relativo TCR diámetro ecuatorial del fruto.**

La TCR de diámetro longitudinal tiene un comportamiento similar a la TCR de diámetro ecuatorial en la fase I disminuyendo lentamente, correspondiendo a un crecimiento lento del fruto en esta fase, al iniciar la fase II se observa una disminución más acelerada y continua, hasta la fase III de maduración de fruto.

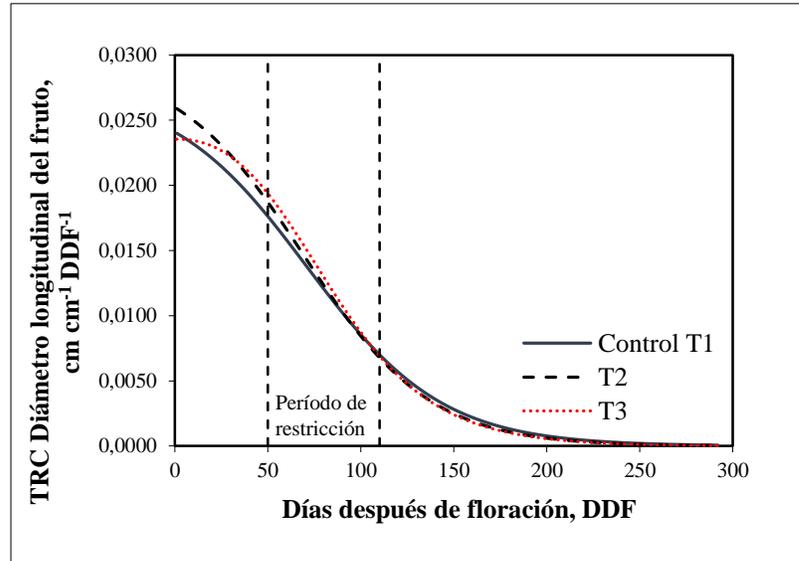


Figura 3-15. Tasa de crecimiento relativo TCR altura de fruto.

- **Brotos**

La TAC de longitud de los brotes fue calculada al derivar la ecuación 3-3, se obtiene la ecuación 3-4, que corresponde a la tasa absoluta de crecimiento. Para cada tratamiento se reemplazan los parámetros obtenidos en la regresión, el modelo obtenido se muestra en la Tabla 3-10. Se observa en la Figura 3-16, que la menor tasa de crecimiento se presenta en el tratamiento T2 ($0,64 \text{ cm DDF}^{-1}$), mientras los tratamientos Control T1 y T3, alcanzan valores similares ($0,72 \text{ cm DDF}^{-1}$ y $0,73 \text{ cm DDF}^{-1}$). La máxima TAC se presenta antes de iniciar el periodo de restricción los días 41 DDF, 38 DDF y 47 DDF para Control T1, T2 y T3 respectivamente y valores muy cercanos al inicio de crecimiento rápido del fruto (50 DDF), acorde a lo encontrado en manzana por Casierra *et al.*, (2003) quienes describen que el crecimiento rápido de los brotes coincide con el periodo de incremento lento de los frutos en su primera etapa de crecimiento y atribuyen este comportamiento a la competencia existente entre crecimiento de frutos y ramas.

Al finalizar el periodo de restricción la TAC de longitud de los brotes de los tratamientos T2 y T3, adquiere un comportamiento similar disminuyendo por debajo del tratamiento

Control T1, el cual durante y después del periodo de restricción se mantiene con valores superiores.

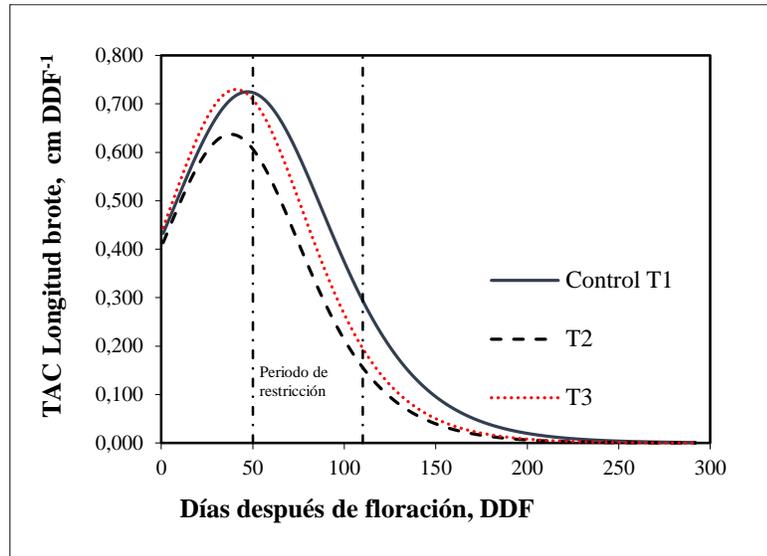


Figura 3-16. Comportamiento de la tasa absoluta de crecimiento (TAC) de longitud de brotes.

La TAC de diámetro de brotes fue calculada al derivar la ecuación 3-3, se obtiene la ecuación 3-4, que corresponde a la tasa absoluta de crecimiento. Para cada tratamiento se reemplazan los parámetros obtenidos en la regresión, el modelo obtenido se muestra en la Tabla 3-11. Se observa en la Figura 3-17, que la mayor tasa de crecimiento se presenta en el tratamiento T3 (0,045 cm DDF⁻¹), mientras los tratamientos Control T1 y T2, alcanzan valores similares (0,039 cm DDF⁻¹ y 0,036 cm DDF⁻¹). Durante y después del periodo de restricción la TAC de diámetro de brotes del Control T1 y T2, adquiere un comportamiento similar, mientras el tratamiento T3 disminuye manteniendo valores inferiores desde el inicio del periodo de restricción.

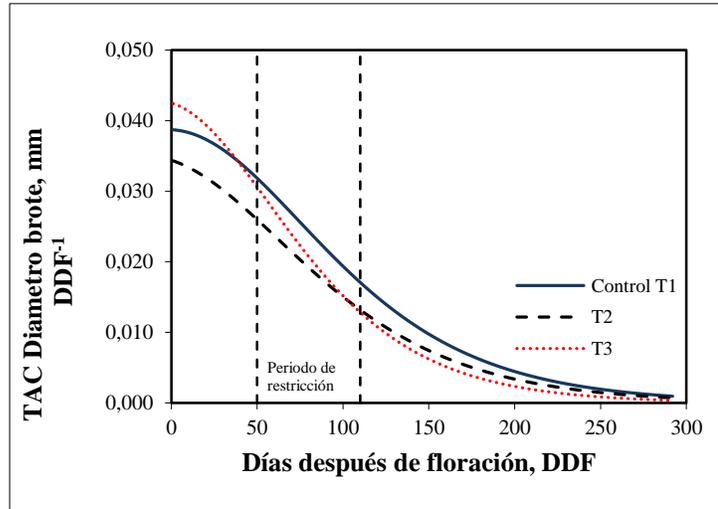


Figura 3-17. Comportamiento de la tasa absoluta de crecimiento (TAC) de diámetro de brotes.

$$\frac{\partial y}{\partial x} = \frac{a * e^{\frac{x+x_0}{b}}}{2b * e^{\frac{x+x_0}{b}} + b * e^{\frac{2x}{b}} + b * e^{\frac{2x_0}{b}}} \quad 3-4$$

Tabla 3-10. Ecuaciones modelo TAC longitud de los brotes

Tratamiento	Modelo
Control T1	$TAC_{L_Brote_T1} = \frac{89,216 * e^{\frac{x+47,124}{30,765}}}{2 * 30,765 * e^{\frac{x+47,124}{30,765}} + 30,765 * e^{\frac{2x}{30,765}} + 30,765 * e^{\frac{2*47,124}{30,765}}}$
T2	$TAC_{L_Brote_T2} = \frac{69,178 * e^{\frac{x+37,984}{27,13}}}{2 * 27,13 * e^{\frac{x+37,984}{27,13}} + 27,13 * e^{\frac{2x}{27,13}} + 27,13 * e^{\frac{2*37,984}{27,13}}}$
T3	$TAC_{L_Brote_T3} = \frac{79,262 * e^{\frac{x+40,793}{27,148}}}{2 * 27,148 * e^{\frac{x+40,793}{27,148}} + 27,148 * e^{\frac{2x}{27,148}} + 27,148 * e^{\frac{2*40,793}{27,148}}}$

Tabla 3-11. Ecuaciones modelo TAC diámetro de los brotes

Tratamiento	Modelo
Control T1	$TAC_{D_Brote_T1} = \frac{8,98 * e^{\frac{x+2,14}{57,96}}}{2 * 57,96 * e^{\frac{x+2,14}{57,96}} + 57,96 * e^{\frac{2x}{57,96}} + 57,96 * e^{\frac{2*2,14}{57,96}}}$
T2	$TAC_{D_Brote_T2} = \frac{8,24 * e^{\frac{x+15,84}{58,83}}}{2 * 58,83 * e^{\frac{x+15,84}{58,83}} + 58,83 * e^{\frac{2x}{58,83}} + 58,83 * e^{\frac{2*15,84}{58,83}}}$
T3	$TAC_{D_Brote_T3} = \frac{8,37 * e^{\frac{x+8,28}{48,89}}}{2 * 48,89 * e^{\frac{x+8,28}{48,89}} + 48,89 * e^{\frac{2x}{48,89}} + 48,89 * e^{\frac{2*8,884}{48,89}}}$

La TCR fue calculada con la ecuación 2-11 del capítulo 2, los modelos obtenidos para longitud y diámetro de los brotes se muestran en la Tabla 3-12 y Tabla 3-13, en la Figura 3-18 y Figura 3-19 se presentan las gráficas de estos modelos, que presentan un comportamiento decreciente durante el periodo evaluado, debido a que esta etapa de crecimiento de brotes se encuentra finalizando la fase II e iniciando la fase III de crecimiento vegetativo.

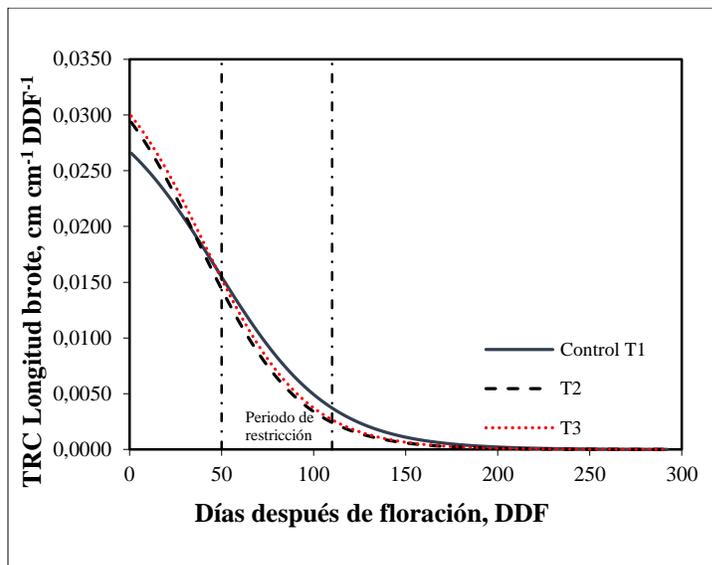


Figura 3-18. Tasa de crecimiento relativo (TCR), longitud de brotes.

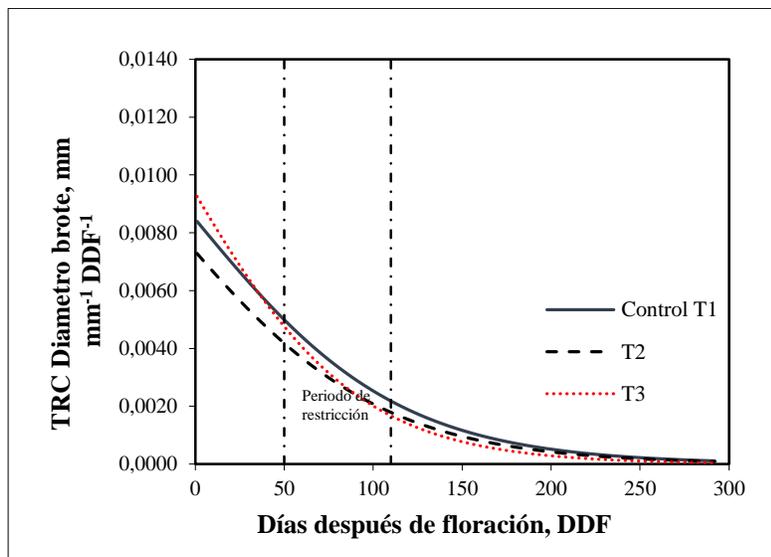


Figura 3-19. Tasa de crecimiento relativo (TCR), diámetro de brotes.

Tabla 3-12. Ecuaciones modelo TCR longitud de brotes

Modelo
$TCR_{T1} = \left(\frac{1}{\frac{89,216}{1 + e^{-\left(\frac{x-47,124}{30,765}\right)}}} \right) * \left(\frac{89,216 * e^{\frac{x+47,124}{30,765}}}{2 * 30,765 * e^{\frac{x+47,124}{30,765}} + 30,765 * e^{\frac{2x}{30,765}} + 30,765 * e^{\frac{2*47,124}{30,765}}} \right)$
$TCR_{T2} = \left(\frac{1}{\frac{69,178}{1 + e^{-\left(\frac{x-37,984}{27,130}\right)}}} \right) * \left(\frac{69,178 * e^{\frac{x+37,984}{27,13}}}{2 * 27,13 * e^{\frac{x+37,984}{27,13}} + 27,13 * e^{\frac{2x}{27,13}} + 27,13 * e^{\frac{2*37,984}{27,13}}} \right)$
$TCR_{T3} = \left(\frac{1}{\frac{79,262}{1 + e^{-\left(\frac{x-40,793}{27,148}\right)}}} \right) * \left(\frac{79,262 * e^{\frac{x+40,793}{27,148}}}{2 * 27,148 * e^{\frac{x+40,793}{27,148}} + 27,148 * e^{\frac{2x}{27,148}} + 27,148 * e^{\frac{2*40,793}{27,148}}} \right)$

Tabla 3-13. Ecuaciones modelo TCR diámetro de brotes

Modelo
$TCR_{T1} = \left(\frac{1}{\frac{8,98}{1 + e^{-\left(\frac{x+2,14}{57,96}\right)}}} \right) * \left(\frac{8,98 * e^{\frac{x+2,14}{57,96}}}{2 * 57,96 * e^{\frac{x+2,14}{57,96}} + 57,96 * e^{\frac{2x}{57,96}} + 57,96 * e^{\frac{2*2,14}{57,96}}} \right)$
$TCR_{T2} = \left(\frac{1}{\frac{8,24}{1 + e^{-\left(\frac{x+15,84}{58,83}\right)}}} \right) * \left(\frac{8,24 * e^{\frac{x+15,84}{58,83}}}{2 * 58,83 * e^{\frac{x+15,84}{58,83}} + 58,83 * e^{\frac{2x}{58,83}} + 58,83 * e^{\frac{2*15,84}{58,83}}} \right)$
$TCR_{T3} = \left(\frac{1}{\frac{8,37}{1 + e^{-\left(\frac{x+8,28}{48,89}\right)}}} \right) * \left(\frac{8,37 * e^{\frac{x+8,28}{48,89}}}{2 * 48,89 * e^{\frac{x+8,28}{48,89}} + 48,89 * e^{\frac{2x}{48,89}} + 48,89 * e^{\frac{2*8,884}{48,89}}} \right)$

3.2. Producción y calidad

No hubo diferencia significativa ($p>0,05$) en la producción número y peso de frutos por árbol y los parámetros de calidad, debido posiblemente a que la reducción del volumen de agua en los tratamientos deficitarios no fue severa.

3.2.1. Producción

En la Tabla 3-14 de parámetros de producción, se observa que el tratamiento Control T1, tuvo una producción igual al tratamiento T3 y mayor 4.35% que el T2 pero no significativa. El tratamiento T1, tuvo el mayor peso medio del fruto (147 g). El T3, con el mayor número de frutos por árbol (32.5) tiene el menor peso promedio por fruto (141 g) lo que confirma el efecto de la competencia entre el peso del fruto y el número de frutos por árbol, independiente del estrés de agua (Kriedemann y Barrs 1981; Agusti *et al.*, 2003). En el tratamiento control T1 se obtuvo mayor porcentaje de frutos grandes, sin diferencias significativas y el mayor porcentaje de número frutos por árbol de la categoría III (< 61mm) se presentó en el tratamiento T3, producto del efecto de la competencia entre peso del fruto y número de frutos independiente del estrés de agua. La producción obtenida en los tratamientos de riego, fue baja con 75 % de los frutos en categorías II y III, (Tabla 3-14), puede ser explicado por la alternancia productiva de la variedad Triunfo de Viena comparado con lo encontrado por Arenas (2011), en esta misma parcela.

Tabla 3-14. Parámetros de producción de la fruta en los tratamientos Control T1, T2 y T3.

PARÁMETRO	Control T1	T2	T3
Producción árbol ⁻¹ (Kg)	4,6a	4,4a	4,6a
Peso medio del fruto (g)	147a	142a	141a
Número Frutos árbol ⁻¹	31,5a	31,3a	32,5a
% Producción Categoría I (>68 mm)	25a	22a	24a
% Producción Categoría II (61 mm-68 mm)	56a	61a	52a
% Producción - Categoría III (<61 mm)	19a	17a	24a
% Número frutos árbol ⁻¹ - Categoría I (>68 mm)	15a	13a	14a
% Número frutos árbol ⁻¹ - Categoría II (61 mm-68 mm)	56a	58a	49a
% Número frutos árbol ⁻¹ - Categoría III (<61 mm)	30a	29a	37a

Promedios con letras iguales en la misma fila indican que no hay diferencias significativas entre tratamientos, según la prueba de DMS ($P \leq 0,05$).

3.2.2. Calidad de la fruta

El estrés durante las fase dos de crecimiento del fruto no afectó significativamente ($p > 0.05$) los parámetros de calidad, como color (Lab), peso medio del fruto, diámetro, volumen, firmeza del endocarpio, firmeza del mesocarpio, SST, acidez e índice de madurez, (Tabla 3-15). Mientras que en los bloques B2 y B3 se encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$) en el índice de color IC, y entre el bloque B1 y los bloques B2, B3 y B4, en el índice de madurez IM (datos no mostrados).

Los SST y la acidez, no presentaron diferencias significativas contrario a lo encontrado por Yang Wu *et al.*, (2013) en pera (*Pyrus bretschneideri Rehd*) quienes aplicaron tratamientos de riego deficitario (40 y 60% ETo) durante la etapa de división celular del fruto y encontraron un aumento significativo SST y acidez, Ningbo *et al.*, (2008) en pera Jujube encontró que no hay diferencia significativa en SST e Índice de Madurez, entre el tratamiento de bajo déficit (2/3 Control) y el tratamiento control en el primer año de experimentación, mientras en los tratamientos moderado (1/2 Control) y severo (sin riego) si encontró diferencias significativas ($p < 0.05$), al igual que Vélez *et al.*, (2007), Fallahi *et al.*, (2010) y Mpelasoca *et al.*, (2010) quienes encontraron diferencias que atribuyen a una concentración de materia seca por un menor suministro de agua o por un ajuste osmótico inducido por estrés, lo que genera un mayor desdoblamiento de carbohidratos de reserva a azúcares más simples, empleados en la respiración. Lo que explica que un déficit hídrico moderado durante la etapa de maduración del fruto puede ser conveniente para aumentar el contenido de sólidos solubles y de ácidos, en especial cuando los frutos se destinan para la industria, (Vélez *et al.*, 2007).

En todos los tratamientos los SST fueron similares, aunque un poco menores a los encontrados por (Arenas *et al.*, 2012), mientras que el Índice de Madurez es similar al encontrado por (Parra *et al.*, 2006), en la misma variedad.

La firmeza no tuvo diferencias significativas en los tratamientos la firmeza del endocarpio fue de 13.9, 13.5 y 13,6 N para Control T1, T2 y T3, similar a la encontrada por Arenas *et al.*, (2012) de 12,6 y 12,7 N.

La firmeza del mesocarpio es similar en los tratamientos (7.5, 7.2 y 7.4 N para Control T1, T2 y T3) y muy superiores a los encontrados por Arenas *et al.*, (2012) de 4.14 y 4.13 N, la

mayor firmeza se le atribuye al menor tamaño de los frutos, debido a una disminución en la aplicación de agua. La densidad de los frutos fue similar a la encontrada por Arenas *et al.*, (2012) y por Parra *et al.*, (2006).

La esfericidad no presentó diferencias significativas y fue mayor (0,95, 0,97 y 0,97 para Control T1, T2 y T3 respectivamente), comparada con la encontrada por Parra *et al.*, (2006) y Arenas *et al.*, (2012), este índice muestra que la pera variedad Triunfo de Viena tiene una forma más redondeada que otras variedades de pera. El IC está en el rango -2 a +2, el cual representa un color amarillo verdoso característico de esta variedad.

Tabla 3-15. Parámetros de calidad de la fruta

Parámetro	Control T1	T2	T3
L*	54,1a	53,7a	53,5a
a*	0,16a	-0,67a	-0,78a
b*	33,4a	33,7a	33,9a
IC	0,25a	-0,32a	-0,41a
Volumen (cm ³)	180a	169a	176a
Densidad (g cm ⁻³)	1,02a	1,01a	1,03a
Esfericidad	0,95a	0,97a	0,97a
Firmeza Endocarpio (N)	13,9a	13,5a	13,6a
Firmeza Mesocarpio (N)	7,5a	7,2a	7,4a
SST (°Brix)	8,6a	8,4a	8,7a
Acidez (% ácido málico)	0,17a	0,16a	0,17a
Índice de madurez IM (°Brix g ⁻¹ L)	61,5a	64,9a	61,7a

Promedios con letras iguales en la misma fila indican que no hay diferencias significativas entre tratamientos, según la prueba de DMS ($P \leq 0,05$).

3.1. Variación del diámetro del tronco

Una vez finalizada la restricción de agua el día 110, la información sobre la variación diaria del diámetro del tronco, muestra claramente en la Figura 3-20, el crecimiento del mismo, que está relacionado directamente con el estado hídrico de la planta.

El máximo diámetro del tronco en el tratamiento Control T1, es mayor al de los tratamientos T2 y T3, coincidiendo con los mayores potenciales del suelo (Ψ_s) y de la planta (Ψ_t), resultado similar al encontrado por (Huguet *et al.*, 1992; Goldhamer *et al.*,

1999; Moriana y Fereres, 2002; Intrigliolo y Castel, 2006 y Vélez *et al.*, 2007a, 2007b y 2011).

La evolución del diámetro del tronco es muy sensible a la demanda evaporativa, que depende de los cambios climatológicos y el uso de las reservas hídricas del tronco que influye directamente sobre la planta. La respuesta del diámetro del tronco en pera variedad Triunfo de Viena a la pérdida de agua es rápida. Iniciándose la contracción con un retardo respecto a la radiación solar aproximado de 2 horas en el tratamiento Control T1, mientras que en el tratamiento deficitario T2, la contracción es más rápida. En la Figura 3-22 se ve claramente como varia el diámetro del tronco a lo largo del día, al medio día donde se presenta la mayor demanda evaporativa se presenta el menor diámetro del tronco y a la media noche el mayor para todos los tratamientos, igual comportamiento fue observado por (Hilgeman, 1963) en naranja Valencia, (Ginestar y Castel, 1996b) y (Vélez *et al.*, 2007a) en clementina de Nules.

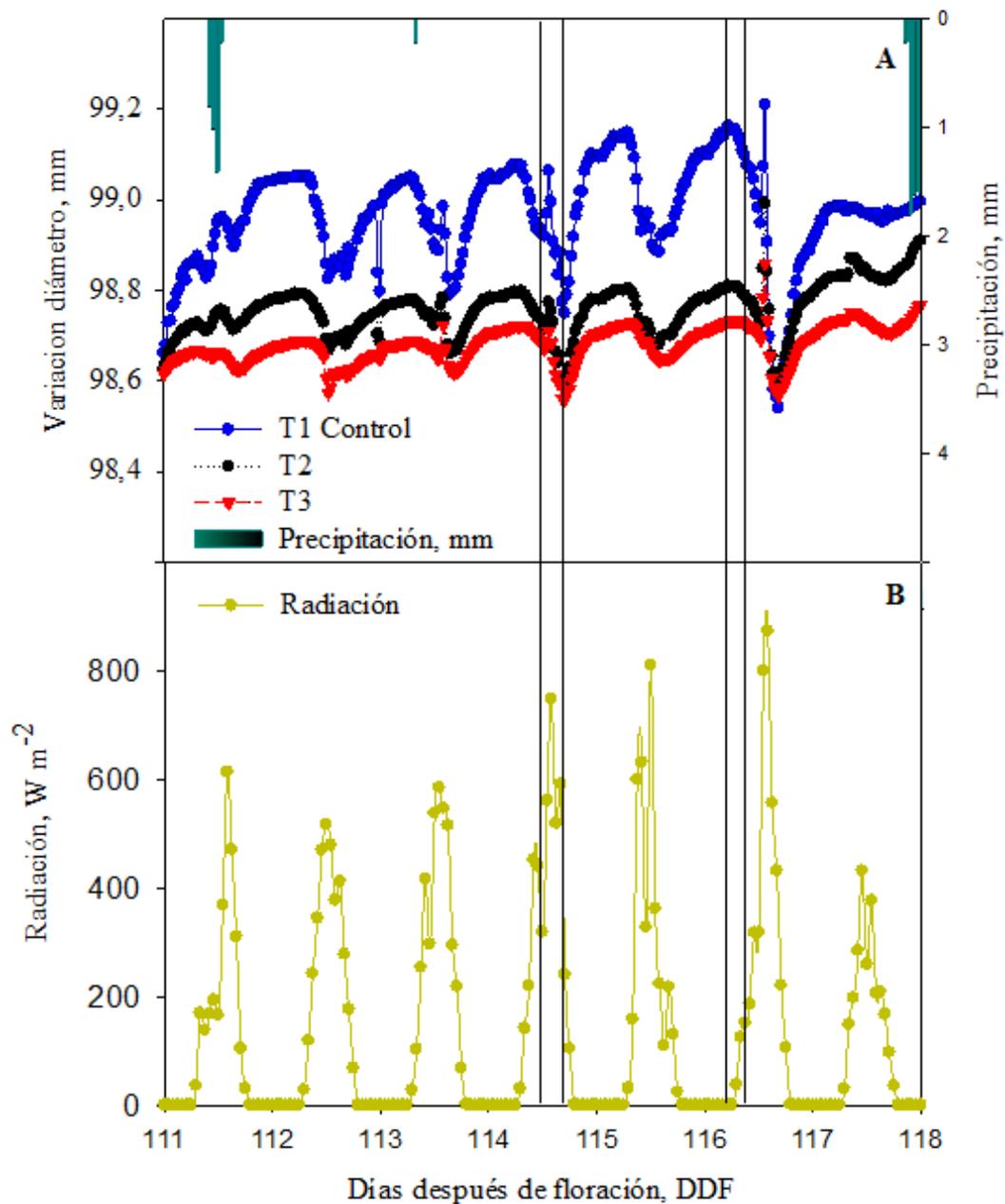


Figura 3-20. A) Evolución del diámetro del tronco en los tratamientos Control T1, T2 y T3 respecto a B) radiación.

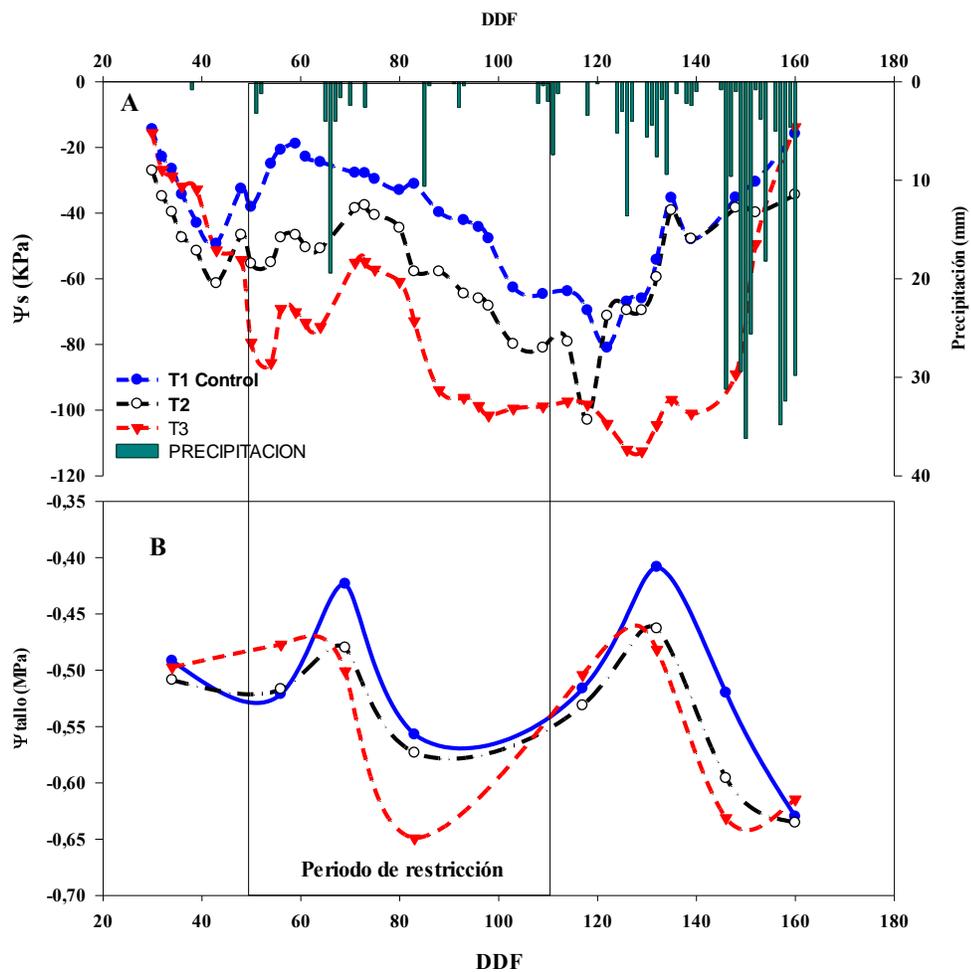


Figura 3-21. Figura 3 6. Evolución del potencial hídrico de la planta y del suelo en los distintos tratamientos de riego A) Potencial del suelo (ψ_s) y B) ψ_{tallo} los valores corresponden a las medias de dos y tres hojas por árbol en ocho arboles por tratamiento

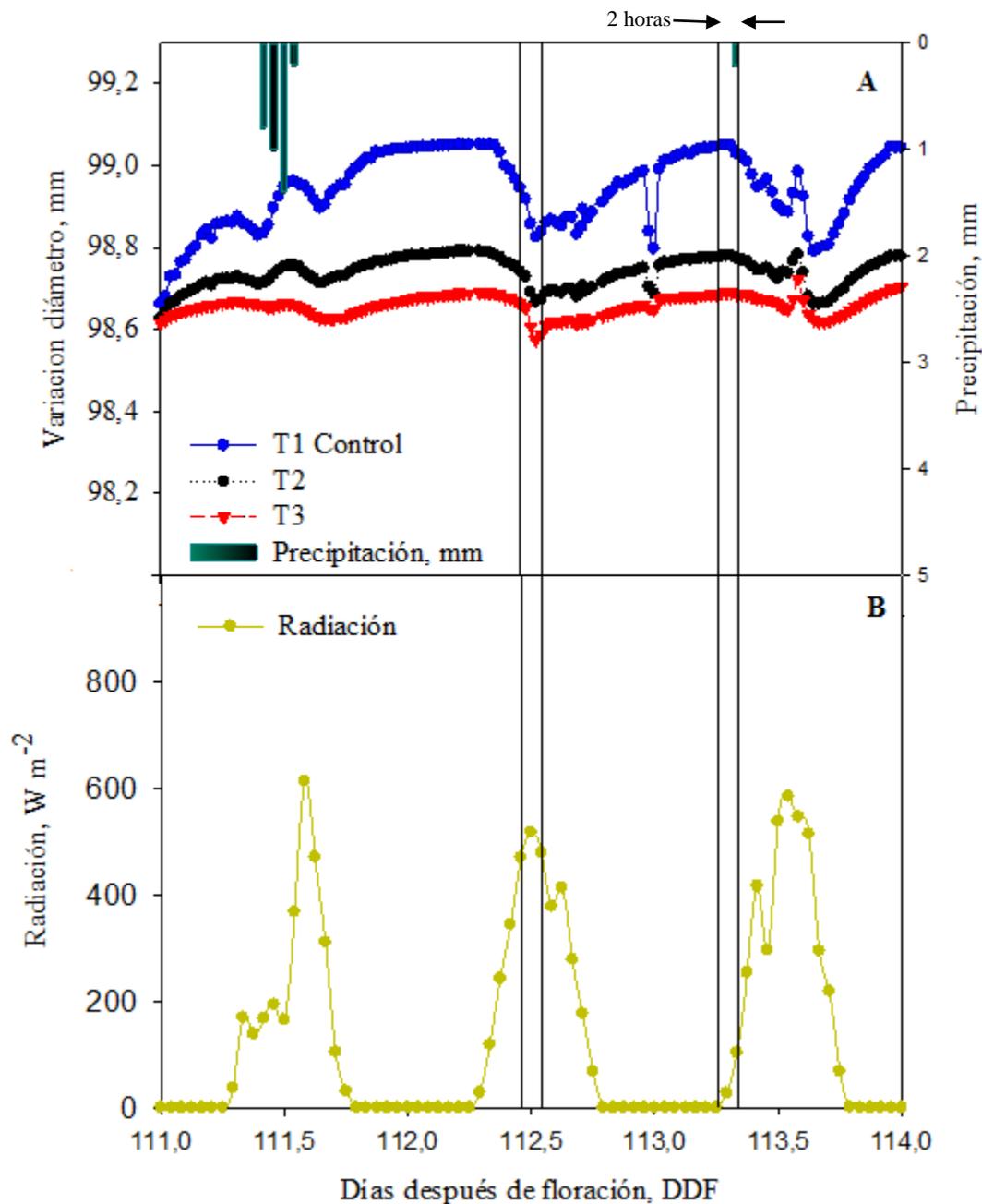


Figura 3-22. A) Evolución específica del diámetro del tronco en los tratamientos Control T1, T2 y T3 del día 111 al día 114 respecto a B) radiación.

4. Conclusiones y recomendaciones

4.1 Conclusiones

El 30% de ahorro del agua en la fase de crecimiento rápido del fruto no solo incide en la conservación de los recursos no renovables, sino, en la disminución de los costos del agua, energéticos, mano de obra en operación del sistema de riego, poda, fertilizantes, control de malezas y control fitosanitario.

El uso de sensores Watermark permitió monitorear el estado hídrico del suelo en las condiciones del experimento, en tiempo real con respuesta rápida ante los cambios de humedad.

Los sensores LVDT son un buen indicador en tiempo real y continuo del balance hídrico de la planta, que puede ser verificado con la medida del Potencial al tallo (ψ_t) convirtiéndose en una importante herramienta para la programación del riego con base en el estado hídrico del suelo y la planta.

El crecimiento de diámetro longitudinal y ecuatorial del fruto tuvo un comportamiento sigmoide simple, obteniendo a partir de los datos experimentales un modelo logístico, mediante el cual se logra la determinación de la tasa absoluta y relativa de crecimiento (TAC y TRC), que es importante al momento de predecir el tiempo de la cosecha, que en nuestro caso fue de 167 días desde floración.

El crecimiento vegetativo se ajustó a un modelo logístico en todos tratamientos, que permite observar la coincidencia de finalización del crecimiento rápido del brote con el inicio del crecimiento rápido de fruto.

El riego deficitario aplicado en esta experimentación dio como resultado una disminución del crecimiento vegetativo de los árboles de la parcela, sin embargo las tres láminas de riego aplicadas durante la etapa de crecimiento rápido del fruto, no mostraron diferencias significativas en producción y calidad de la fruta, lo que quiere decir que se puede hacer un uso más eficiente del agua.

4.2 Recomendaciones

Evaluar láminas de riego menores a las aplicadas en esta experimentación, con el fin de encontrar valores umbrales para el cultivo de Pera variedad Triunfo de Viena.

Profundizar en investigaciones con los LVDT y su relación con los parámetros bioclimáticos para mejorar la automatización del riego en el cultivo y contribuir a una mayor eficiencia en el uso del agua.

Bibliografía

- Agustí, M.; Martínez-Fuentes, A.; Mesejo, C.; Mariano, y J.; Almela V.; 2003. Cuajado y desarrollo de los Frutos Cítricos. Generalitat Valenciana. Conselleria D'Agricultura, Peixca y Alimentació. Série Divulgació Técnica.
- Agronet. 2012. Red de Información y Comunicación Estratégica del Sector Agropecuario – AGRONET Colombia, 2012 {En línea}. {24 enero de 2014} disponible en: (<http://www.agronet.gov.co/agronetweb1/>).
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D. and Smith, M. 1998. Crop evapotranspiration, guidelines for computing crop water requirements. Irrigation and Drainage Paper 56. FAO. Roma.
- Arenas- Bautista, M. C., Vélez, J. E., Camacho, J. H. 2012. Evaluación de dos sistemas de riego por goteo en la producción y la calidad de la fruta de pera (*Pyrus communis* L.) Variedad Triunfo de Viena. Revista Acta agronómica. Volumen 61. N° 1. Pag. 1-9.
- Arenas- Bautista, M. C., Vélez, J. E., Camacho, J. H. 2013. Crecimiento del fruto de Peral bajo el sistema de riego por goteo con una y dos líneas. Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas. Vol. 6 – N°.2 - pp 140-151.
- Arenas, Bautista, M. C. 2011. Efecto de la utilización de doble línea de riego por goteo en el cultivo de pera (*Pyrus Communis* L.) variedad Triunfo De Viena. Bogota Colombia. Universidad Nacional de Colombia.
- Ávila, C. Robles, A. Pinzon, S. Miranda, D. y Fisher, G. “Tecnologías locales para los sistemas de producción de frutales caducifolios en zonas productoras de Colombia y sus limitantes tecnológicas”. Los frutales caducifolios en Colombia. Sociedad Colombiana De Ciencias Hortícolas. 232: 115-149.
- Balaguera, L. Helber E. 2011. Estudio del desarrollo y crecimiento del fruto de Champa (*Campomanesialineatifolia* R&P) y determinación del punto óptimo de cosecha. Bogotá Colombia. Universidad Nacional de Colombia.

- Barlow, E. W. R., Munns, R. E. and Brady, J. C. 1980. Drought responses of apical meristems. In: *Adaptation of Plants to Water and High Temperature Stress* 191-205. N. C. Turner and P. J. Kramer (eds.). Wiley, New York.
- Bryla, D. R.; Dickson, E.; Shenk, R.; Johnson, R. S.; Crisosto, C. H.; Trout, T. J. 2005. Influence of irrigation method and scheduling on patterns of soil and tree water status and its relation to yield and fruit quality in peach. *HortScience*, v.40, n.7, p.2118-2124.
- Campos, T. "Especies y variedades de hoja caduca en Colombia". 2013. *Los frutales caducifolios en Colombia*. 232: 47-65.
- Cardenas, J. y Fisher, G. 2013. "Clasificación botánica y morfológica de manzano, peral, duraznero y ciruelo". *Los frutales caducifolios en Colombia*. 232: 21-29.
- Casierra Posada, Fanor. 2012. *Manzano y Peral (Malus Domestica Borkh.)- (Pyrus Communis L.)*. Manual para el Cultivo de Frutales en el Trópico. (G. Fischer, ed). Produmedios, Colombia.
- Casierra Posada, Fanor., Hernandez Dora I., Lüdders Peter y Ebert, Georg. 2003. Crecimiento de frutos y ramas de manzano 'anna' (*malus domestica borkh*) cultivado en los altiplanos colombianos. *Agronomía Colombiana*. 21 (1-2): 69-73.
- Cohen, A. and Goell, A. 1984. Fruit development as an indicator of the irrigation needs of citrus trees. *Proc. Int. Soc. Citriculture Cong. (Sao Paulo)*, 1:114-121
- Cohen, M., Fornaguera, J., Antón, A., Gracia, A. y Ameglío, T. 1996. Biosensores para el riego y la evaluación del estado hídrico de árboles frutales. IRTA.
- Cohen, M., Goldhamer, D., Fereres, E., Girona, J., Mata, M., 2001. Assessment of peach tree responses to irrigation water deficits by continuous monitoring of trunk diameter changes. *J. Hortic. Sci. Biotechnol.* 76, 55-60.
- Conejero W, J J Alarcón, Y García-Orellana, E Nicolás, A Torrecillas. 2007. Evaluation of sap flow and trunk diameter sensors used for irrigation scheduling in early maturing peach trees. *Tree Physiol.* 27:1753-1759.
- De Santa Olalla, M. y De Juan-Valero, J. 1993. *Agronomía del riego*. Ediciones Mundi-Prensa. Universidad de Castilla-La Mancha. Departamento de Producción Vegetal y Tecnología Agraria. 732p.
- De Swaef, T., K. Steppe y R. Lemeur. 2009. Determining reference values for stem water potential and maximum daily trunk shrinkage in young apple trees based on plant responses to water deficit. *Agr. Water Management*. 96, 541-550

- Domingo, R. 1994. Respuesta del limonero fino al riego deficitario controlado. Aspectos fisiológicos. Tesis Doctoral. Universidad de Murcia, 237 pp.
- Domingo, R., Ruiz-Sánchez, M., Sánchez-Blanco, M. and Torrecillas, A. 1996. Water relations, growth and yield of Fino lemon trees under regulated deficit irrigation. *Irrig. Sci.* 16: 115-123.
- Doorenbos, J., Pruitt, W.O., 1977. Crop water requirements. Irrigation and Drainage. Paper no. 24. FAO, Rome, Italy, p. 194.
- Ebel, R.C., Proebsting, E.L., Evans, R.G., 1995. Deficit irrigation to control vegetative growth in apple and monitoring fruit growth to schedule irrigation. *HortScience* 30, 1229–1232.
- EL-Sharkawi, M. A. and Cook, J. H. 1987. Response of cassava to water stress. *Plant and Soil* 100: 345-360.
- Fallahi, E., Neilsen, G. Fallahi, B. y Shafii, B. 2010. Efficient irrigation for optimum fruit quality and yield in apples. *Hort. Science* 45(11):1616-1619.
- FAO. 2003. “No hay crisis mundial de agua, pero muchos países en vías de desarrollo tendrán que hacer frente a la escasez de recursos hídricos”. {En línea}. {10 julio de 2013} disponible en: (<http://www.fao.org/spanish/newsroom/news/2003/15254-es.html>).
- FAO. 2010. informe del programa internacional para la tecnología de riego y drenaje, FAO, Roma.
- FAOSTAT. 2014. Organización De Las Naciones Unidas Para La Alimentación Y La Agricultura - Dirección De Estadística. {En línea}. {23 enero de 2014} disponible en: (<http://faostat3.fao.org/home/S>).
- Fisher, G. Ramirez, F. y Almanza, P. 2012. “Inducción floral, floración y desarrollo del fruto”. Manual para el cultivo de frutales. *Produmedios*. 1014: 120-140.
- Forbes, J. Watson, R. *Plants in agriculture*. 1999. Cambridge University Press. Estados Unidos de America. 337p.
- Garnier, E. And Berger, A. 1986. Effect of water stress on stem diameter changes of peach trees growing in the field. *J. Appl. Ecol.* 23: 193-209.
- Ginestar, C. and Castel, J. R. 1996b. Us of stem dendrometers as indicators of water stress in drip-irrigated citrus trees. *Act Horticulturae*. 421:209-219

- Goldhamer, D. A. And Fereres, E. 2001. Irrigation scheduling protocols using continuously recorded trunk diameter measurements. *Irrig. Sci.* 20(3): 115-125.
- Goldhamer, D. A. And Fereres, E. 2004. Irrigation scheduling of almond trees with trunk diameter sensors. *Irrig Sci* 23: 11-19.
- Goldhamer, D. A., Fereres, E., Mata, M., Girona, J. and Cohen, M. 1999. Sensitivity of continuous and discrete plant and soil water status monitoring in peach trees subjected to deficit irrigation. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 124: 437-444
- Goldschmidt, E. E. and Monselise, S. P. 1977. Physiological assumptions toward the development of citrus fruit model. *Proc. Int. Soc. Citriculture.* 2: 668-672.
- Hilgeman, R. H. And Sharp, F. O. 1970. Response of "Valencia" orange trees to four soil water schedules during 20 years. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 95: 739-745.
- Hilgeman, R. H. 1963. Trunk growth of the Valencia orange in relation to soil moisture and climate. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 82: 193-198.
- Huguet, J. G. 1985. Appréciation del' état hydrique d' une plante á partir des variations micrométriques de la dimension des fruits ou des tiges au cours de la journée. *Agronomie.* 5: 733-741.
- Huguet, J. G., Li, S. H., Lorendeau, J., and Pelloux, G. 1992. Specific micromorphometric reactions of fruit trees to water stress and irrigation scheduling automation. *Journal of horticultural science.* 67 (5) 631-640.
- Hunt, R. 1990. Basic growth analysis. *Plant growth analysis for beginners.* Unwin Hyman, Boston. 112 p.
- Hunt, R. 2003. Growth analysis, individual plants. *Encyclopaedia of plant sciences.* Academic press, London. 579-588.
- Instituto Geografico Agustin Codazzi (IGAC). 2005. Clasificación de los suelos en el departamento de Cundinamarca en asociación con la universidad tecnológica y pedagógica de Colombia. Departamento nacional de estadística, subdirección de agrología. 169, 325-327.
- Intrigliolo, D. S. Ballester, C. Castel, J. R. 2014. Crop load regulation and irrigation strategies to accelerate the recovery of previously water-stressed Japanese plum trees. *Agricultural Water Management* 132 (2014) 23-29.
- Intrigliolo, D. S. y Castel. J. R. 2004. Continuous measurement of plant and soil water status for irrigation scheduling in plum. *Irrig. Sci.* 23(2): 93-102.

- 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. *Agri. Water manage.* 173-180.
- Intrigliolo, D. S. y Castel. J. R. 2008. Riego deficitario controlado en ciruelo japonés. IVIA, centro de desarrollo sostenible. *Jornadas fruticultura.*
- Jackson, J.E., 2003. *Biology of horticultural crops, The Biology of Apples and Pears,* Cambridge university press. New York United States. ISBN-13-978-0-511-05900-1.
- Khan, M.A., 2008. *Water resources management and sustainable agriculture.* S.B. Nangia. pp 17-18. ISBN 978-81-313-0319-1.
- Klepper, B., Browning, V. D. And Taylor, H. M. 1971. Stem diameter in relation to plant water status. *Plant Physiol.* 48: 683-685.
- Koslowski, T. T. 1967. Diurnal variations in stem diameter of small trees. *Bot. Gaz.* 123: 60-68
- Koslowski, T. T. And Winguet, C. H. 1964. Diurnal and seasonal variation in radio of tree stems. *Ecology.* 45: 149-155.
- Kramer, P. J. 1962. The role of water in tree growth, p. 171-182. In. T. T. Kozlowski, (ed.), *Tree growth.* Ronald Press, New York.
- Kramer, Paul J. 1983. *Water relations of plants.* Estados Unidos De América. Academic Press, Inc. 489p. ISBN-0-12-425040-8.
- Kriedemann, P. E. And Barrs, H. D. 1981. Citrus orchards. En: *water deficits and plant growth,* vol. 6, (Koslowski, T. T., Ed.) Academic Press, New York, pp. 325-417.
- Kriedemann, P. E., & Goodwin, I. 2003. Regulated Deficit Irrigation and Partial Rootzone Drying. In A. Currey (Ed.), *Irrigation Insights.* Canberra, Australia: Land and Water Australia. Vol. No. 4, pp. 102.
- Layne-Garsaball, José A, Méndez Natera, Jesús Rafael, Mayz-Figueroa, Juliana. Crecimiento de plántulas a partir de tres tamaños de semilla de dos cultivares de maíz (zea mays l.), sembrados en arena y regados con tres soluciones osmóticas de sacarosa. *IDESIA (Chile)* Vol. 25, N° 1; 21-36, 2007.
- Leib, B. Jabro, J. Matthews, G. 2003. Field evaluation and performance comparison of soil moisture sensors. *Soil Science* Volume 168, Issue 6, 396-408.

- Levy, Y., Shalhevet, J. y Bielorai, H. 1979. Effect of irrigation regime and water salinity on grapefruit quality. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 104: 356-359
- M.H. Ali. 2010. *Fundamentals of Irrigation and On-farm Water Management*. Springer Bangladesh. Volumen 1. 560p. ISBN-978-1-4419-6334-5.
- M.H. Behboudian , G.S. Lawes, K.M. Griffiths. 1994. The influence of water deficit on water relations, photosynthesis and fruit growth in Asian pear (*Pyrus serotina* Rehd.). Volume 60, Issues 1–2, Pages 89–99.
- Marsal, J. Lopez, G. Del Campo, J. Mata, M. Arbones, A., Girona, J. 2010. Postharvest regulated deficit irrigation in ‘Summit’ sweet cherry: fruit yield and quality in the following season. *Irrigation Science*. Volume 28, Issue 2, pp 181-189.
- Marsal, J. Lopez, G. Mata, M. Girona, J. 2012. Postharvest deficit irrigation in ‘Conference’ pear: Effects on subsequent yield and fruit quality. *Agricultural Water Management*. 103 (2012) 1–7.
- Marsal, J. Mata, M. Arbone, A. Rufat, J. Girona, J. 2002. Regulated deficit irrigation and rectification of irrigation scheduling in young pear trees: an evaluation based on vegetative and productive response. *European Journal of Agronomy* 17. 111–122.
- Marsal, J., López, G., Mata, M. and Girona, J. 2012. Postharvest deficit irrigation in “Conference” pear: Effects on subsequent yield and fruit quality. *Agricultural Water Management*. 103: 1-7.
- Mitcham Elizabeth J., Elkins, Rachel B. 2007. *Pear Production and Handling Manual*. Universidad de California. ISBN-13: 978-1-879906-65-5.
- Mohsenin, N. 1986. *Physical properties of plant and animal material*. Vol. 1. New York. Gordon and Breach Science Publisher. 734p.
- Morandi, B. Losciale, P. Manfrini, L. Zibordi, M. Anconelli, S. Galli, F. Pierpaoli, E. Corelli, L. 2014. Increasing water stress negatively affects pear fruit growth by reducing first its xylem and then its phloem inflow. *Journal of Plant Physiology*. 171 (2014) 1500–1509.
- Moriana, A. and Fereres, E. 2002. Plant indicators for scheduling irrigation of young olive trees. *Irrig. Sci.*
- Mpelasoka, B., Behboudian. Y Ganesh. 2001. Fruit quality attributes and their interrelationship of “Braeburn” apple in response to deficit irrigation and to crop load. *Gartenbauwissenschaft* 66(5), 247-253.

- Myers, B. J. 1988. Water stress integral: a link between short-term stress and long-term growth. *Tree Physiology* 4: 315-323.
- Naor, A. Stern, R. Flaishman, M.A. Gal, Y. Peres. M. 2006. Effects of postharvest water stress on autumnal bloom and subsequent-season productivity in mid-season 'Spadona' pear. *J. Hortic. Sci. Biotech.*, 81 (2006), pp. 365–370.
- Ningbo Cui, Taisheng Du, Shaozhong Kang, Fusheng Li, Jianhua Zhang, Mixia Wang, Zhijun Li. 2008. Regulated deficit irrigation improved fruit quality and water use efficiency of pear-jujube trees. *Agricultural Water Management* 95. 489–497.
- Ningbo Cui., Taisheng Du., Fusheng Li., Ling Tong., Mixia Wang., Xiaozhi Liu., Zhijun Li., Shaozhong Kang. 2009. Response of vegetative growth and fruit development to regulated deficit irrigation at different growth stages of pear-jujube tree. *Agricultural Water Management* 96. 1237–1246.
- Nortes, P.A., Pérez-Pastor, A., Egea, G., Conejero, W. y Domingo, R. 2005. Comparison of changes in stem diameter and water potential values for detecting water stress in young almond trees. *Agricultural Water Management*, 77 (1-3): 296-307.
- Paganova, V. 2003. Taxonomical reliability of leaf and fruit morphological characteristic of the *Pyrus L.* taxa in Slovakia. *Hort. Sci. (Praga)* 30, 98-107.
- Parra, A., Hernández, E. y Camacho. J. 2006. Comportamiento fisiológico de la pera variedad Triunfo de Viena (*Pyrus communis L.*) durante el período de poscosecha. *Rev. Bras. Frutic.* 28(1).46-50.
- Parra, C.A. 1997. Diseño de una metodología para la determinación de las características físicas y fisiológicas necesarias para el adecuado manejo cosecha y poscosecha de pera dentro del municipio de Nuevo Colon- Boyacá. Trabajo de grado para optar el título de Magister en Gestión Ambiental para el desarrollo. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia.
- Peng, Y. H. and Rave, E., 1998. Effect of differing irrigation regimes on fruit quality, yield, fruit size and net CO₂ assimilation of Mihowase Satsuma. *J. Hort. Sci. Biotech.* 73: 229-234.
- Podesta, L., Sanchez, E., Vallone, R., Morabito, J.A. Efecto del riego deficitario controlado sobre el crecimiento vegetativo en plantaciones jóvenes de cerezo (*Prunus avium L.*) *Rev. FCA UNCuyo*. Tomo 42. N° 1. Año 2010. 73-91.

- Rodriguez, A. 2005. "Crecimiento". Análisis de las variables que influyen en la calidad de la pera Willian's. Fruticultura y diversificación. N°46. 30-33.
- Sánchez- Blanco, M.J., Torrecillas, A.1995. Aspectos relacionados con la utilización de estrategias de riego deficitario controlado en cultivos leñosos. Riego Deficitario Controlado. Fundamentos y Aplicaciones. Ed. Mundiprensa, Madrid. pp. 43-66.
- Scholander, P. F., Hammel, H. T., Bradstreet, E. D. and Hemmingsen, E. A. 1965. Sap pressure in vascular plants. Science. 184: 339-346.
- Shalhevet, J., Mantell, A., Bieloray, H. and Shimshi, D. 1979. Irrigation of field and orchard crops under semi-arid conditions. IIC N° 1 (revised version) Israel, Canadá. 124 pp.
- So, H. B., Reicosky, D. C. and Taylor, H. M. 1979. Utility of stem diameter changes as predictors of plant canopy water potential. Agron. J. 71: 707-713
- Sousa, T., Olivera, M. y Pereira, M. 2006. Physiological indicators of plant water status of irrigated and non-irrigated grapevines grown in a low rainfall area of Portugal. Plant Soil 282, 127-134.
- Syvertsen, J. P. 1982. Minimum leaf water potential and stomatal closure in citrus leaves of different ages. Ann. Bot. 49(6):827 - 834.
- Tudela, D. and Primo-Millo, E. 1992. 1-Aminocyclopropane-1-carboxylic acid transported from roots to shoots promotes leaf abscission in Cleopatra mandarin (*Citrus reshni* Hort, ex Tan) Seedlings rehydrated after water stress. Plant Physiol. 100: 131-137.
- Turner, N.C. 1981. Techniques and experimental approaches for the measurement of plant water status. Plant and Soil. Volume 58, Issue 1-3 , pp 339-366.
- Vélez, J., Álvarez, J., Alvarado, O. 2012. El Estrés Hídrico en Cítricos. Revista Orinoquia. Vol. 16 – N°2.
- Vélez, J., Intrigliolo, D.S., Castel, J.R. 2007a. Scheduling deficit irrigation of citrus trees with maximum daily trunk shrinkage. Agricultural Water Management, Volume 90, Issue 3, Pages 197-20.
- Vélez, J., Intrigliolo, D.S., Castel, J.R. 2007b. Programación del riego deficitario en Clementina de Nules, mediante Dendrómetros. International Magazine of Citrus, ISSN 0457-603, Volumen 38, Paginas 313-317.
- Vélez, J., y Álvarez, J. 2012. Manual de frutales. Capitulo "Riego en frutales". Editorial Produmedios. Colombia.

- Vélez-Sánchez, J. E., Intrigliolo, D. S., Castel, J. R. 2012. Programación de riego en cítricos en base a sensores de medida del estado hídrico del suelo y de la planta. *Revista científica U.D.C.A.* 14. Nº 2. Pag. 65-73.
- W. Conejero, C.D. Mellisho, M.F. Ortuño, A. Moriana, F. Moreno, A. Torrecillas. 2011. Using trunk diameter sensors for regulated deficit irrigation scheduling in early maturing peach trees. *Environmental and Experimental Botany* 71, 409–415.
- Yang Wu, Zhi Zhao, Wei Wang, Yingjie Ma, Xingfa Huang. 2013. Yield and growth of mature pear trees under water deficit during slow fruit growth stages in sparse planting orchard. *Scientia Horticulturae* 164. 189–195.
- Yuri, J.A., J. González, J. Verdugo, A. Del Pozo. 2011. Responses of fruit growth, quality, and productivity to crop load in apple cv. Ultra Red Gala/MM111, *Scientia Horticulturae* 127, 305–312.