



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

**EFFECTO DE LA UTILIZACIÓN DE DOBLE LÍNEA DE RIEGO POR GOTEO EN
EL CULTIVO DE PERA (*PYRUS COMMUNIS L.*) VARIEDAD TRIUNFO DE VIENA**

MARÍA CRISTINA ARENAS BAUTISTA

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AGRÍCOLA
BOGOTÁ D.C., COLOMBIA**

2011

**EFFECTO DE LA UTILIZACIÓN DE DOBLE LÍNEA DE RIEGO POR GOTEO EN
EL CULTIVO DE PERA (*Pyrus Communis L.*) VARIEDAD TRIUNFO DE VIENA**

MARÍA CRISTINA ARENAS BAUTISTA
Código 822131

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de
Magíster en Ingeniería Agrícola.

Director
JAVIER ENRIQUE VÉLEZ SÁNCHEZ.
Ingeniero Agrícola M.Sc., Ph. D.

Co-Director
JESÚS HERNÁN CAMACHO TAMAYO.
Ingeniero Agrícola M.Sc.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AGRÍCOLA
BOGOTÁ D.C., COLOMBIA
2011

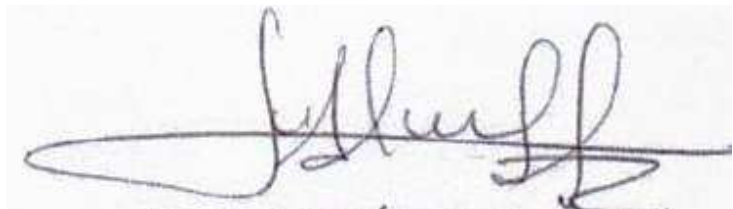
NOTA DE ACEPTACIÓN



DIRECTOR
ING. JAVIER E. VÉLEZ S.



JURADO
Dr. ARTURO TORRECILLAS M.



JURADO
ING. JAVIER G. ÁLVAREZ H.

*A Dios,
por darme fuerza y fortaleza,
A mis padres, familiares y amigos,
por creer en mí.*

*No estudio por saber más, sino por ignorar menos.
Sor Juana Inés de la Cruz.*

AGRADECIMIENTOS

Esta tesis, si bien ha requerido de esfuerzo y mucha dedicación por parte de la autora, director y co-director de tesis, no hubiese sido posible su finalización sin la cooperación desinteresada de cada una de las personas que a continuación citaré y muchas de las cuales han sido un gran apoyo en momentos de impaciencia y desesperación.

- A mis Padres, por seguir pagando mis estudios.
- A mi Director I.A. Javier Vélez, por su ayuda, apoyo y PACIENCIA en este proceso.
- A mi Co-director I.A. Jesús Camacho, por sus sabios consejos, apoyo y revisión permanente en este proceso.
- Al Ing. Agrónomo Álvaro Castro, especialista en frutales de hoja caduca, por la asesoría en la planeación, control, desarrollo, cuidado y manejo del programa fitosanitario y de fertilización del Cultivo.
- Al Señor Hernando Galeano, Sra. e hijos por la paciencia, apoyo y esfuerzo en la realización de este trabajo.
- Al I.A. Oscar García por dar inicio a este sueño que en algún momento compartimos, y al I.A. Jasson Piña por su colaboración en la instalación del sistema.
- A la I.A. Adriana Patiño Bello, por sus consejos, su fiel compañía, su tiempo, dedicación e interés en la culminación de esta meta.
- A Marcela Carlos, I.A. Sergio Guerra, I.A. Johana Almario y Alexandra Morales, por su ayuda, tolerancia y comprensión.

Mis más sinceros agradecimientos.

Finalmente, quiero agradecer a las entidades que financiaron, asesoraron, suministraron información y contribuyeron al desarrollo de esta investigación:

- IDEAM, por la información meteorológica suministrada
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi - IGAC, al laboratorio de suelos por su colaboración en el análisis de las muestras.
- Agrifim, por las líneas de riego, emisores y accesorios utilizados en el sistema de riego propuesto.

RESUMEN

El uso racional del agua cobra cada día más importancia en la producción frutícola. El objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de la utilización de la doble línea de riego respecto a una línea por hilera de planta, en la producción de pera, variedad Triunfo de Viena. La investigación se basó en la aplicación de dos tratamientos, uno consistente en una línea de goteo por hilera de plantas con seis emisores de 8 l h^{-1} y otro con dos líneas de goteo por hilera de plantas con tres emisores de 8 l h^{-1} cada una. Se utilizaron sensores Watermark para medir y controlar el potencial matricial del suelo. Se cubrió el 100% de la Evapotranspiración Potencial que ascendió a $55,5 \text{ mm mes}^{-1}$. Los resultados obtenidos de las variables hídricas del suelo permitieron programar el riego y garantizar el suministro de agua adecuado en la época de verano. El tratamiento de doble línea no difirió significativamente del control en cuanto a producción y calidad de la fruta, lo que indica que utilizar una línea de riego permite obtener una producción y calidad similar, con menor costo inicial del equipo.

Palabras clave: Estado hídrico, programación del riego, producción, calidad, *Pyrus Communis*.

ABSTRACT

The rational use of water becomes ever more important in fruit production. The aim of this study was to evaluate the effect of the use of double drip line, from a line by line plant in pear production, cv. Triunfo de Viena. The research was based on the application of two specific processes, one consisting of a drip line per row of plants with six emitters of 8 l h^{-1} and another with two drip lines per row of plants with three emitters of 8 l h^{-1} each. Watermark sensors were used to measure and control the soil matric potential. It covered 100% of potential evapotranspiration, which amounted to $55.5 \text{ mm month}^{-1}$. The results obtained from the variables of the soil, permitted the scheduling of irrigation, and in that way ensure adequate water supply during the summer season. The double-line treatment, did not differ significantly from the control in terms of production and fruit quality, which indicates that the use of one drip line, results in obtaining a similar yield and quality, at a lower initial equipment cost.

Key words: Water state, irrigation scheduling, production, quality, *Pyrus Communis*.

CONTENIDO

| | | |
|------------|--|----|
| 1. | Introducción | 17 |
| 1.1. | El agua..... | 17 |
| 1.2. | Los caducifolios..... | 19 |
| 1.2.1. | Pera variedad triunfo de viena..... | 21 |
| 1.2.1.1. | Requerimientos de clima..... | 23 |
| 1.2.1.2. | Requerimientos edafológicos..... | 23 |
| 1.2.1.3. | Plagas y enfermedades..... | 23 |
| 1.3. | Riego en caducifolios | 24 |
| 1.3.1. | Riego localizado..... | 25 |
| 1.3.1.1. | Generalidades..... | 25 |
| 1.3.1.2. | Ventajas y desventajas..... | 25 |
| 1.3.1.2.1. | Ventajas..... | 25 |
| 1.3.1.2.2. | Desventajas | 26 |
| 1.4. | Respuesta de los cultivos frutales al uso de doble línea de riego..... | 26 |
| 1.5. | Respuesta de los cultivos caducifolios al uso de doble línea de riego..... | 27 |
| 1.5.1. | Efecto en la producción y calidad..... | 27 |
| 1.6. | Requerimientos hídricos de los cultivos..... | 28 |
| 1.6.1. | Evapotranspiración..... | 29 |
| 1.6.2. | Métodos de medición y estimación de la ET_0 | 29 |
| 1.6.2.1. | Métodos indirectos..... | 29 |
| 1.6.2.2. | Métodos directos..... | 30 |
| 1.7. | Indicadores para la programación del riego..... | 32 |
| 1.7.1. | Contenido hídrico del suelo..... | 32 |
| 1.7.1.1. | Medición del contenido de humedad del suelo..... | 32 |
| 1.7.1.1.1. | Sensores dieléctricos | 32 |
| 1.7.1.1.2. | Sonda de neutrones..... | 33 |
| 1.7.1.1.3. | Tensiómetros | 33 |
| 1.7.1.1.4. | Bloques de yeso..... | 34 |
| 1.7.1.1.5. | Sensores de matriz granular..... | 34 |
| 1.7.2. | Contenido hídrico de la planta..... | 35 |
| 1.7.2.1. | Evolución del diámetro del fruto..... | 35 |
| 1.7.2.2. | Variaciones de los órganos de las plantas..... | 37 |

| | | |
|----------|--|----|
| 2. | Metodología..... | 38 |
| 2.1. | Características de la parcela experimental..... | 38 |
| 2.1.1. | Localización..... | 38 |
| 2.1.2. | Material vegetal..... | 38 |
| 2.1.3. | Suelo..... | 39 |
| 2.1.4. | Clima..... | 40 |
| 2.1.5. | Riego..... | 41 |
| 2.1.6. | Manejo del riego..... | 42 |
| 2.1.7. | Diseño experimental..... | 42 |
| 2.1.8. | Prácticas culturales..... | 44 |
| 2.2. | Métodos y técnicas utilizadas..... | 44 |
| 2.2.1. | Medida del estado hídrico del suelo..... | 44 |
| 2.2.1.1. | Medida de la humedad del suelo..... | 44 |
| 2.2.1.2. | Medida del potencial matricial del agua en el suelo..... | 44 |
| 2.2.1.3. | Análisis de suelo..... | 45 |
| 2.2.2. | Medidas de crecimiento..... | 45 |
| 2.2.2.1. | Variaciones del diámetro de los troncos..... | 45 |
| 2.2.2.2. | Crecimiento de los frutos..... | 46 |
| 2.2.3. | Determinación de la producción..... | 48 |
| 2.2.4. | Determinación de parámetros de calidad de la fruta..... | 49 |
| 2.2.4.1. | Peso, dimensiones y volumen..... | 49 |
| 2.2.4.2. | Firmeza del endocarpio y la pulpa..... | 49 |
| 2.2.4.3. | Intensidad respiratoria..... | 50 |
| 2.2.4.4. | Acidez titulable..... | 52 |
| 3. | Análisis estadístico..... | 54 |
| 4. | Análisis de resultados y discusión..... | 55 |
| 4.1. | Características pre-cosecha..... | 55 |
| 4.2. | Propiedades físicas de la cosecha..... | 59 |
| 4.3. | Volúmenes de agua aplicada..... | 60 |
| 4.4. | Manejo del riego con base en los sensores watermark..... | 60 |
| 4.5. | Crecimiento del tronco..... | 61 |
| 4.6. | Evapotranspiración..... | 61 |
| 4.7. | Análisis de suelo..... | 63 |
| 4.8. | Producción y calidad..... | 63 |

| | |
|---|----|
| 4.9. Crecimiento y desarrollo del fruto | 63 |
| 5.0. Peso seco y tasas de crecimiento | 65 |
| 5.1. Índice de madurez..... | 67 |
| Conclusiones..... | 69 |
| Bibliografía..... | 72 |

LISTA DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1. Área plantada con los principales frutales cultivados en el municipio | 21 |
| Tabla 2. Composición química del fruto..... | 22 |
| Tabla 3. Principales plagas en el cultivo de pera (Barón, 2001) | 23 |
| Tabla 4. Principales enfermedades del cultivo de pera (Zuleta, 2006.)..... | 24 |
| Tabla 5. Datos climatológicos de los años 2008, 2009 y 2010.. .. | 40 |
| Tabla 6. Parámetros de producción y calidad evaluados en los frutos de pera..... | 59 |
| Tabla 7. Valores totales mensuales de precipitación en 2008, 2009 y 2010 con número máximo de días..... | 60 |
| Tabla 8. Relacion del coeficiente de agotamiento para el cultivo de pera con respecto a la evapotranspiración potencial media y real para los años 2008 a 2010..... | 62 |
| Tabla 9. Valores medios mensuales de las condiciones hidroclimáticas en los años 2008, 2009 y 2010. | 62 |
| Tabla 10. Composición química del suelo en los diferentes tratamientos de riego. Año 2010..... | 63 |

TABLA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Ubicación Geográfica de Sesquilé (Cundinamarca) | 38 |
| Figura 2. Manejo del sistema de riego. (Intersección lotes 1 y 3) | 42 |
| Figura 3. Plano del diseño experimental..... | 43 |
| Figura 4. Sensores Watermark registrando el potencial matricial del suelo en el lote 2 (Octubre de 2009) | 45 |
| Figura 5. Marcación de frutos en el tratamiento LS, Septiembre de 2009..... | 47 |
| Figura 6. Relación Carga tiempo para la firmeza del endocarpio y la pulpa en el intervalo de 3 a 5 kg. | 50 |
| Figura 7. Montaje del sistema de medición de Intensidad Respiratoria. | 51 |
| Figura 8. Medias de las dimensiones durante el crecimiento para los tratamientos LS y LD. | 55 |
| Figura 9. Medias de la evolución del peso desde la floración hasta la cosecha para los tratamientos LS y LD..... | 56 |
| Figura 10. Comportamiento de la firmeza del endocarpio y mesocarpio, de la acidez titulable y de la intensidad respiratoria, para los tratamientos LS y LD. | 58 |
| Figura 11. Crecimiento del fruto, evaluando el diámetro ecuatorial con ajuste lineal polinómico para los tratamientos LS y LD durante el desarrollo de la planta desde la floración y hasta la cosecha.. | 64 |
| Figura 12. Acumulación de materia seca, tasa relativa de crecimiento, Tasa de asimilación neta y tasa de crecimiento de cultivo en frutos de pera para los tratamientos LS y LD..... | 66 |

TABLA DE ECUACIONES

| | | |
|-------------|--|----|
| Ecuación 1. | Evapotranspiración real | 30 |
| Ecuación 2. | Cálculo de la E_t por medio del balance de agua | 30 |
| Ecuación 3. | Ecuación tasa relativa de crecimiento (Radford, 1967)..... | 47 |
| Ecuación 4. | Ecuación logística (Crecimiento de fruto) | 52 |
| Ecuación 5. | Intensidad respiratoria ($\text{mg de CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$) | 52 |
| Ecuación 6. | Acidez titulable..... | 53 |

LISTA DE ANEXOS

- Anexo 1. Peso y dimensiones para la pera variedad Triunfo de Viena.
- Anexo 2. Resistencia a la penetración para la pera variedad Triunfo de Viena.
- Anexo 3. Intensidad respiratoria para la pera variedad Triunfo de Viena.
- Anexo 4. Acidez titulable para la pera variedad Triunfo de Viena.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Determinar el efecto que produce la utilización de doble línea de riego por goteo en el cultivo de Pera (*Pyrus Communis L.*) Variedad “Triunfo de Viena” en el municipio de Sesquilé, Cundinamarca.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Establecer y evaluar las necesidades y condiciones hídricas del suelo en el cultivo de Pera (*Pyrus Communis L.*) variedad “Triunfo de Viena” en la zona de Sesquilé – Cundinamarca.
- Determinar y evaluar el comportamiento fisiológico del cultivo de Pera (*Pyrus Communis L.*) variedad “Triunfo de Viena” en las condiciones de Sesquilé, Cundinamarca con una y dos líneas de riego por hilera de plantas.
- Determinar las características morfológicas y organolépticas de las plantas para obtener la curva de crecimiento del cultivo, en el intervalo de tiempo estimado para el ciclo de desarrollo.
- Determinar y comparar el rendimiento por área del cultivo en cada tratamiento realizado con una y dos líneas de riego por hilera de surcos.

1. INTRODUCCIÓN

En la agricultura actual, se produce en diversos países, cambios con respecto a las áreas de cultivo de frutales como la pera. Países productores están disminuyendo las áreas de cultivo mientras que otros, como China, aumentaron (FAO, 2010). La producción mundial en fresco asciende actualmente a 15,5 millones de toneladas, de las cuales, Colombia aporta en promedio 13579 t año⁻¹ en cerca de 1099 ha (FAO, 2010).

Por ésta razón es conveniente evaluar el estado y la necesidad hídrica del cultivo que depende de las condiciones climáticas, fase del ciclo vegetativo, superficie foliar transpirante y agua en el suelo. Como no existen trabajos publicados sobre el efecto de la utilización de dos líneas de riego por goteo por hilera en frutales caducifolios, comparados con la utilización de una sola línea en países del trópico, el presente estudio buscó comprobar si existe una mejor distribución del agua en el área de raíces, que signifiquen un incremento de la producción y calidad del fruto, para obtener una mayor eficiencia en la utilización del agua. De esta manera, se consideró un proyecto piloto en el estudio del riego para el cultivo de Pera en zonas tropicales, mediante el cual se definirá la tecnología a usar.

1.1. EL AGUA

La importancia ecológica del agua es resultado de su importancia fisiológica. La única manera en la cual un factor, como el agua, puede afectar el crecimiento de las plantas, es a través de su influencia sobre los procesos fisiológicos (Cartagena, 2000).

Casi todos los procesos en la planta son afectados directa o indirectamente por el suministro de agua. El agua es importante cuantitativamente porque constituye entre el 80 y 90% del peso fresco de muchas plantas herbáceas y más del 50% del peso fresco de las plantas leñosas. El agua es parte importante del

protoplasma, proteínas y moléculas de lípidos, ya que una reducción en el contenido de agua en estos componentes de la célula por debajo de un nivel crítico, causa cambios en la estructura celular y finalmente la senescencia (García *et al.*, 2001, Vélez *et al.*, 2007).

El agua es un solvente, reactante y sustrato para muchos procesos importantes, como la fotosíntesis y la hidrólisis del almidón a azúcar en la germinación de semillas. Es de vital importancia en la turgencia, para el crecimiento y alargamiento de las células y además es primordial en la apertura de estomas, el movimiento de las hojas, de los pétalos y de otras estructuras especializadas (Kramer y Booyer, 1995).

Actualmente, se estima el volumen de agua terrestre en 1400 millones de km³, del cual el 97% se encuentra en los mares y océanos y es salada. El 3% restante, equivalente a 42 millones de km³ es agua dulce, pero dos terceras partes se encuentran en los polos. De los 14 millones de km³ de agua dulce restante, sólo el 0,3% se encuentra accesible para usos humanos y necesidades del ecosistema (Hinrichsen *et al.*, 1998). De este 0,3% disponible, Colombia cuenta con cerca de 8 km³ de agua distribuida en cerca de 1500 lagos, lagunas y ciénagas. Adicionalmente existen 116 embalses que almacenan 112,5 km³ de agua y una precipitación media anual de 3000 mm, que suponen un volumen anual de 3425 km³. De este volumen total, el 61% se convierte en escorrentía, generando un volumen anual de 2113 km³ del cual el 40% es necesario para mantener los ecosistemas y preservarlos de alteraciones en la calidad que limiten su disponibilidad (FAO, 2010).

Visto de esta manera, la medición permanente de este recurso es una herramienta indispensable para interpretar los procesos dinámicos que modifican el ambiente y para ordenar sus usos. Colombia es reconocida como uno de los países con mayor riqueza en recursos hídricos del mundo. Sin embargo, la variabilidad de las condiciones hidroclimáticas, representadas en eventos extremos de déficit o exceso, distribución desigual y crecientes actividades

económicas y demográficas, hacen que esta riqueza hídrica sea menos favorable en la medida en que se consideren exclusivamente las zonas donde se concentra la mayor parte de su población. Esto implica utilizar diferentes fuentes acuíferas para desarrollar el sector agrícola. La elección y el manejo adecuado del sistema de riego puede disminuir los costos de producción, factor a tener en cuenta en zonas donde los recursos hídricos son limitados (Ramírez, 2003).

Bajo este escenario, es conveniente estudiar estrategias de riego que mejoren la eficiencia de utilización del agua sin afectar la producción, midiendo condiciones suelo-planta-ambiente para tener indicadores del estado fisiológico de la planta, para mejorar el riego.

La gestión del riego debe contribuir a asegurar una utilización óptima del agua en beneficio de los consumidores urbanos, la industria, la agricultura y la energía hidroeléctrica. Donde escasee el agua, la más pura debería destinarse al consumo doméstico, la tratada al riego agrícola y la de menor calidad al riego de plantaciones forestales y pastizales (Vélez *et al.*, 2007).

1.2. LOS CADUCIFOLIOS

Los frutales caducifolios pertenecen a la familia de las Rosáceas y a la subfamilia Pomoidea. Son aquellos que pierden sus hojas en otoño y las recuperan en primavera. Esta es una característica muy importante, en lo que a control climático se refiere. Cabe destacar que no todas las especies caducifolias pierden sus hojas al mismo tiempo, ni siquiera la misma planta las perderá en la misma fecha año tras año, ya que la defoliación responde a las características climáticas de cada sitio y a las condiciones de cada año en particular (Osorio y Gravina, 2008). Responden de diversas maneras a los cambios estacionales que inducen respuestas fisiológicas, permitiéndoles sobrevivir durante una estación determinada y prepararse para la siguiente. En su fase de preparación para la estación fría, los caducifolios detienen progresivamente su crecimiento, eliminan sus hojas, y se preparan para resistir el frío, al producir inhibidores de crecimiento

en las hojas, que se acumulan en las yemas para evitar la brotación (Toledo, 2005). En la estación fría, entran en un período de receso aunque se presenten días con condiciones ambientales favorables para su desarrollo. Éste receso es una adaptación de los caducifolios para desarrollarse en zonas con estaciones muy frías. La suspensión temporal del crecimiento de estructuras que posean meristemas es uno de los principales mecanismos fisiológicos para adquirir resistencia a los posibles daños por frío. Finalmente, en primavera, el crecimiento comienza nuevamente. Ésta sincronización entre la planta y el medio ambiente asegura su supervivencia durante el ciclo de vida (Toledo, 2005).

✓ LOS CADUCIFOLIOS EN CUNDINAMARCA

Según la evaluación de cultivos permanentes realizada por el Ministerio de Agricultura en el año 2008 (Minagricultura, 2008), el comportamiento agrícola del departamento presenta un área total sembrada de 214306 ha, con un 56,1% de cultivos transitorios, 40,6% de permanentes y 3,2% de cultivos anuales; presentándose una disminución del 4,8% del total del área sembrada, respecto al año anterior.

En cuanto a cultivos transitorios, los de mayor importancia son la papa con 61092 ha, maíz 22955 ha, arveja 6969 ha y frijol 4327 ha. Para el caso de los cultivos permanentes, el de mayor participación es el cultivo de cítricos con 9545 ha. En lo que respecta a cultivos anuales, el de mayor importancia es la arracacha con 592 ha sembradas.

En cuanto a los cultivos frutales se resaltan la naranja 6964 ha, mango 3943 ha, mora 2804 ha, mandarina 1967 ha y pera con 64 ha (Tabla 1). Como se observa, el cultivo de Pera no tiene gran relevancia debido a que el área sembrada en la zona es baja.

Tabla 1. Área plantada con los principales frutales cultivados en el municipio

| ESPECIE | ÁREA | PRODUCCIÓN | RENDIMIENTO |
|----------------|--------------|---------------|--------------------|
| | ha | t | t ha ⁻¹ |
| 1. Aguacate | 30 | 120 | 5 |
| 2. Banano | 555 | 4995 | 10 |
| 3. Ciruela | 16 | 96 | 8 |
| 4. Curuba | 110 | 1243 | 12 |
| 5. Durazno | 32 | 160 | 8 |
| 6. Fresa | 476 | 17707 | 38 |
| 7. Granadilla | 98 | 758 | 11 |
| 8. Guanábana | 80 | 808 | 10 |
| 9. Guayaba | 460 | 5980 | 20 |
| 10. Lima | 851 | 17871 | 15 |
| 11. Lima P | 425 | 8075 | 23 |
| 12. Lulo | 341 | 3478 | 12 |
| 13. Mandarina | 1967 | 45241 | 24 |
| 14. Mango | 3943 | 56385 | 15 |
| 15. Manzana | 207 | 1035 | 6 |
| 16. Maracuyá | 250 | 5000 | 21 |
| 17. Mora | 2804 | 29722 | 13 |
| 18. Naranja | 6964 | 132126 | 20 |
| 19. Pera | 64 | 448 | 9 |
| 20. Piña | 55 | 2.200 | 41 |
| 21. Tangelo | 213 | 3834 | 20 |
| 22. Tte. Árbol | 1254 | 17180 | 15 |
| 23. Toronja | 213 | 4.473 | 22 |
| 24. Uchuva | 474 | 9101 | 20 |
| TOTAL | 21882 | 368036 | |

Fuente: www.asohofrucol.com.co/archivos/biblioteca/biblioteca_106_Plan%20NaI%20frucundinamarca.pdf, Abril 19 de 2011 11:32 am.

1.2.1. PERA VARIEDAD TRIUNFO DE VIENA

Árbol de tronco gris, aspecto grueso y corteza cubierta de grietas. Su fruto se define en términos botánicos como un pomo. Tiene una forma característica oblonga, de textura firme y epidermis con tonalidades que varían desde el verde amarillento hasta el pardo. La pulpa es de color verde claro y en su madurez contiene un alto porcentaje de humedad. Sus flores son blancas con matices rosa,

presentan aproximadamente cinco sépalos, numerosos estambres y un pistilo (Tamaro, 1984).

✓ **Clasificación Taxonómica**

Reino: Vegetal

División: Traqueófitas

Subdivisión: Pteropsidas

Clase: Angiospermas

Subclase: Dicotiledóneas

Orden: Rosales

Familia: Rosácea

Subfamilia: Pomoideae

Género: *Pyrus*

✓ **Composición química**

Según Parra (1997), el 85% de la fruta es comestible y presenta la siguiente composición por cada 100 g de fruto (Tabla 2):

Tabla 2. Composición Química del Fruto

| | |
|-----------------------|------|
| Agua, % | 89 |
| Valor energético, Cal | 32 |
| Proteínas, % | 0,2 |
| Grasa, % | 0,1 |
| Carbohidratos, % | 9 |
| Fibra, % | 2 |
| Cenizas, % | 0,3 |
| Calcio, mg | 5 |
| Fósforo, mg | 11 |
| Hierro, mg | 0,3 |
| Tiamina, mg | 0,02 |
| Riboflavina, mg | 0,01 |
| Niacina, mg | 0,2 |
| Ácido ascórbico, mg | 9 |

1.2.1.1. Requerimientos de clima

Para un adecuado desarrollo, el Pero requiere climas templados y húmedos, con altitudes entre 2000 y 2800 m.s.n.m., temperaturas que oscilen entre 12 y 16 °C y períodos de frío de 4 a 7 °C en la época de reposo. Resiste más el frío que el calor, ya que los veranos intensos secan los frutos y les impiden desarrollarse. Adicionalmente requiere alta luminosidad, baja humedad relativa y precipitación anual media de 1000 mm (Parra y Hernández, 2000).

1.2.1.2. Requerimientos edafológicos

Requiere suelos profundos y fértiles, preferiblemente con textura media y pH entre 6,0 y 6,8, para que las raíces se desarrollen con facilidad en busca de agua y nutrientes (Parra y Hernández, 2000) y concentraciones suficientes de N, P, Ca, Mg, Mb, B y Zn para lograr un adecuado desarrollo. El contenido de materia orgánica puede variar entre 2,8 y 5,0%; si el valor es menor, debe aplicarse abonos para suplir los requerimientos de la planta (Parra, 1997).

1.2.1.3. Plagas y enfermedades

Las principales plagas y enfermedades del cultivo de pera se presentan en las tablas 3 y 4 respectivamente.

Tabla 3. Principales plagas en el cultivo de la pera (Barón, 2001)

| Nombre Común | Agente Causal |
|--------------------------------------|------------------------------------|
| Polilla de la manzana | <i>Cydia pomonella</i> |
| Arañita roja | <i>Panonychus ulmi</i> |
| Escama de San José | <i>Quadraspidiotus perniciosus</i> |
| Pulgón de la raíz del peral | <i>Eriosomapyricola B y D</i> |
| Mosca de la fruta o del mediterráneo | <i>Ceratitiscapitata</i> |

Tabla 4. Principales enfermedades del cultivo de la pera (Zuleta, 2006.)

| | Enfermedad | Agente Causal |
|-------------|---|--|
| Bacteriosis | Agallas de la corona | <i>Agrobacterium tumefaciens</i> |
| | Tizón bacteriano | <i>Pseudomonas syringae</i> pv <i>syringae</i> van Hall |
| Micosis | Fomopsis, corteza áspera | <i>Phomopsis mali</i> Roberts |
| | Oídio | <i>Podosphaera leucotricha</i> (Ellis y Everth) |
| | Plateado, mal de plomo | <i>Chondrostereum purpureum</i> |
| | Pudrición del cuello, pudrición radical | <i>Phytophthora</i> spp. |
| Virosis | Venturia | <i>Venturia pyrina</i> Aderhold |
| | Cancro ampuloso | Posiblemente virus |
| | Clorosis venal, nerviaciones amarillas | Virus |
| | Incompatibilidad viral, amarillez y colapso | Posiblemente virus |
| Abióticas | Incrustaciones pétreas, frutos pedregosos | Posiblemente virus |
| | Clorosis férrica , caliza | Deficiencia de hierro |
| | Necrosis de los frutos | Deficiencia de boro |

1.3. RIEGO EN CADUCIFOLIOS

Cuando la cantidad de agua aportada por la lluvia es inferior a la evapotranspiración potencial del cultivo, es conveniente suministrar el agua faltante. De esta manera, los sistemas de riego ayudan a obtener mayores cosechas, ya que el agua es uno de los factores más limitantes para la producción (Vélez *et al.*, 2007).

Actualmente el riego en frutales caducifolios se está incrementando, ya que es posible lograr aumentos de producción con aplicaciones controladas de agua, permitiendo un mayor ahorro (Ferreyra *et al.*, 2001). Mantener la humedad adecuada en el suelo durante el ciclo del cultivo garantiza mayor producción y mejor calidad, incluso en países subtropicales, donde la distribución de lluvias no es homogénea (Jara *et al.*, 2000).

1.3.1. RIEGO LOCALIZADO

1.3.1.1. Generalidades

Surge a finales de los años 30, impulsado por el desarrollo de la industria del plástico. Inicialmente se utilizó en zonas desérticas y a medida que se destacaron sus ventajas y beneficios, inició su adopción en diferentes climas y cultivos, contribuyendo al incremento de la producción agrícola.

La necesidad de irrigar los campos, hace que la utilización de los equipos de riego sea cada vez mayor. El riego localizado es una aplicación puntual de cierta cantidad de agua al suelo, mediante emisores que la distribuyen en diferentes puntos de la zona radicular. Este sistema de riego también permite la aplicación de fertilizantes disueltos, obteniéndose un máximo aprovechamiento. La aplicación del agua mediante este sistema involucra la relación agua-suelo-planta-ambiente, para garantizar una óptima producción (Vélez *et al.*, 2007).

1.3.1.2. Ventajas y desventajas

Las ventajas y desventajas del sistema de riego por goteo dependen del tipo de cultivo, suelo y disponibilidad de la fuente de agua. Con base en estas apreciaciones se tiene (García-Petillo, 2010):

1.3.1.2.1. Ventajas

✓ **Uso eficiente del agua:**

Reduce las pérdidas por evaporación.

No causa deriva del agua por efecto del aire.

Disminuye el crecimiento de malezas.

Elimina la escorrentía superficial.

✓ **Reacción de la planta:**

Aumenta el rendimiento por unidad de agua aplicada.

Mejora la calidad de la cosecha y permite obtener un rendimiento más uniforme.

✓ **Ambiente de la raíz:**

Mejora la aireación.

Favorece el suministro de nutrientes.

Disminuye el gasto energético en la absorción de soluciones del suelo.

✓ **Práctica y efectos agronómicos:**

Permite aplicar fertilizantes con el agua de riego.

Aumenta la eficiencia del trabajo en huertos frutales al mantener los espacios entre las hileras, secos y nivelados.

1.3.1.2.2. Desventajas

✓ Los emisores pueden obstruirse con partículas de suelo o componentes químicos de los fertilizantes.

✓ Bajo volumen de humedecimiento.

✓ Los roedores o insectos pueden dañar algunos componentes del sistema.

✓ La inversión inicial y costos de mantenimiento pueden ser mayores en comparación con otros métodos.

1.4. RESPUESTA DE LOS CULTIVOS FRUTALES AL USO DE DOBLE LÍNEA DE RIEGO

Los árboles frutales responden al riego principalmente en tiempos secos. Los sistemas de riego por goteo que se utilizan en frutales son permanentes con tuberías principales y secundarias enterradas, con el fin de no intervenir en las labores culturales (Uribe *et al.*, 2003).

Según Bertuzzi *et al.* (2002), en un cultivo de limonero evaluado con tres tipos de riego, entre estos doble línea de riego por goteo, se presentó un mayor tamaño de fruto en diferentes épocas de evaluación y se encontraron correlaciones significativas entre la longitud y el diámetro de fruto, en todos los tratamientos con valores mayores en los regados con doble línea aunque estos no fueron significativos.

1.5. RESPUESTA DE LOS CULTIVOS CADUCIFOLIOS AL USO DE DOBLE LÍNEA DE RIEGO

Los frutales de hoja caduca presentan un crecimiento definido por factores internos y externos que varían dependiendo de los requerimientos genéticos y el clima, donde una adecuada coincidencia entre estos aumentará la adaptación, desarrollo y producción de la planta en la región (PRONATTA, 1999).

Según Podesta *et al.* (2006), en un cultivo de cerezas evaluado con doble línea de riego por goteo, presentó mayores y mejores resultados en cuanto a producción y calidad poscosecha, mostrando mayor densidad floral, calibre de frutos y firmeza. Ferreyra y Sellés (2002), también reportan reducción de Cracking en frutos de cereza chilena, mayor vigor de los árboles e incremento del diámetro de los troncos.

1.5.1. EFECTO EN LA PRODUCCIÓN Y CALIDAD

La frecuencia del riego influye en la homogeneidad de los frutos, como es reportado por Gómez Aparisi (1991), quien encontró que árboles regados con mayores dosis y menor periodicidad, presentaron frutos más uniformes. Por otra parte, el manejo del déficit hídrico moderado durante el llenado de fruto y la maduración, se utiliza para realizar cambios internos en la calidad de la fruta, principalmente en el aumento de sólidos solubles y ácidos (Peng y Rave, 1998).

Los procesos fisiológicos de la maduración ocurren a nivel celular y cuando terminan se inician los procesos de degradación de sustancias como la clorofila, que inicia por los ribosomas y plastos y termina por el núcleo y el plasmalema, causando la muerte de la célula. Estas últimas etapas de la maduración corresponden a periodos de desorganización de tejidos o senescencia (Gallo Pérez, 1996).

Un fruto en proceso de maduración modifica características como color, textura y sabor, que indican cambios en su composición. Una vez finalizada esta transformación el fruto estará en su máxima calidad de consumo. Sin embargo esto sólo puede obtenerse cuando los frutos se cosechan en un estado de madurez apropiado, pues de otra manera, los frutos inmaduros alcanzarán una calidad no satisfactoria, aún después de que se hayan completado los cambios convenientes en la maduración (Pantastico, 1979).

La pérdida del color es consecuencia de la degradación de la clorofila y se debe a varios procesos sucesivos, como cambio de pH, procesos oxidativos y la acción de las clorofilasas. Esta desaparición del color está asociada a la síntesis de pigmentos cuyos colores oscilan entre el amarillo y el rojo y generan un ablandamiento progresivo (Thompson, 1998).

1.6. REQUERIMIENTOS HÍDRICOS DE LOS CULTIVOS

Los requerimientos de agua de los cultivos se definen como la lámina de agua necesaria para suplir la pérdida de agua a través de la evapotranspiración. Las necesidades hídricas de la mayoría de los cultivos varían con el estado de desarrollo de los mismos, en la medida que las raíces crecen, el área foliar se incrementa, aparecen estructuras diferenciales y se enmarcan cambios en los requerimientos de agua. En frutales permanentes, una vez alcanzado su máximo desarrollo, estos cambios en las necesidades hídricas dependen básicamente de

las variaciones de los diferentes factores climáticos que ocurren a través del año (Arauzo *et al.*, 2007).

1.6.1. EVAPOTRANSPIRACIÓN

La evapotranspiración es la combinación de dos procesos separados. El primero está relacionado con el agua que se pierde por evaporación directa del ambiente y de la superficie del suelo y el segundo con la transpiración del cultivo. Se define entonces la evapotranspiración como el proceso mediante el cual el agua es transformada en vapor gracias al aporte de energía calorífica, donde el principal aportante energético es el sol. El viento es otro factor climático que favorece la tasa de evaporación, ayudando a re-circular el aire y renovando así la capacidad de retención de humedad del mismo (Schuster, 2003).

La evaporación y transpiración ocurren simultáneamente. La evaporación de un suelo cultivado es determinada por la fracción de radiación solar que llega a la superficie del suelo. Esta fracción disminuye a lo largo del ciclo del cultivo a medida que la copa del árbol proyecta más sombra sobre el suelo. En las primeras etapas del cultivo, el agua se pierde principalmente por evaporación directa del suelo, pero con el desarrollo y cuando este cubre totalmente el suelo, la transpiración se convierte en el proceso principal (FAO, 2010).

1.6.2. MÉTODOS DE MEDICIÓN Y ESTIMACIÓN DE LA ET₀

1.6.2.1. Métodos indirectos

Entre los instrumentos y sistemas más utilizados para medir la evapotranspiración se encuentran los estanques, lisímetros, superficies naturales de ensayo y tensiómetros (Gurovich, 1985).

Una descripción detallada de los métodos y procedimientos utilizados para el cálculo y estimación de la ET₀ se encuentran en los estudios de la FAO N. 24

“Requerimiento de los cultivos” (Doorembos y Puit, 1976) y N. 56 “Evapotranspiración de los cultivos” (Allen *et al.*, 1998).

Según la metodología propuesta por FAO, la ET se calcula de la forma:

$$ET = ET_0 * K_c \quad \text{Ecuación 1}$$

donde,

- ET_0 es la evapotranspiración potencial de referencia que puede calcularse por distintas ecuaciones basadas en datos climáticos, FAO recomienda el método de Penman-Monteith debido a que incorpora parámetros fisiológicos y aerodinámicos para determinar la ET_0 , además su procedimiento se desarrolló para estimar los parámetros climáticos con los que no se cuenta.
- K_c es el coeficiente de cultivo que depende del tipo de cultivo, estado fenológico, edad, rugosidad de la superficie del suelo y del porcentaje de cubierta vegetal (Allen *et al.*, 1998).

1.6.2.2. Métodos directos

✓ Balance de agua

La ET_0 se calcula directamente realizando un balance de entradas y salidas de agua en un volumen de suelo y un tiempo determinado como (Vélez *et al.*, 2007):

$$ET_0 = Pt + R_i + \Delta H - D - E_s \quad \text{Ecuación 2}$$

donde,

Pt: precipitación total, mm.

R_i : agua de riego, mm.

ΔH : cambio de volumen de agua almacenada en el suelo, mm.

D: drenaje, mm

E_s : pérdida de agua por escorrentía, mm.

La variación de la humedad del suelo y el drenaje pueden estimarse mediante distintos instrumentos como sensores dieléctricos o sonda de neutrones. El método no posee una elevada precisión sobre todo en riego por goteo debido a la variabilidad espacial de la humedad del suelo.

✓ **Lisímetro de pesada**

Es el método más preciso y directo, se basa en la ecuación de balance hídrico, que permite calcular el coeficiente de cultivo K_c mediante la relación entre ET/ET_0 .

✓ **Métodos térmicos**

Las mediciones del flujo de savia, en especies frutales, están basadas 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**

Consiste en seguir la velocidad de desplazamiento de pulsos de calor introducido en el recorrido de la savia (xilema del tronco). La velocidad del pulso esta correlacionada con la velocidad de flujo de savia y la transpiración se calcula como el producto de esta velocidad por el área conductora del xilema.

• **Radial de calor constante**

Se basa en dos sondas térmicas que aplican calor continuo y se mide la diferencia de temperaturas, integrándose la medida del flujo de savia a lo largo de un eje radial del xilema, se tiene que conocer la superficie conductora útil de paso de agua para calcular el flujo total.

- **Balance de calor**

Se mide la energía que entra y sale de una sección de tronco para determinar la cantidad de calor transportado por convección por el flujo ascendente de savia, proporciona el flujo de savia en el xilema en términos de masa por unidad de tiempo. Supone que el flujo de savia es nulo durante la noche para la calibración del coeficiente de conducción, mide directa y continuamente el flujo de savia.

1.7. INDICADORES PARA LA PROGRAMACIÓN DEL RIEGO

1.7.1. CONTENIDO HÍDRICO DEL SUELO

La programación del riego puede basarse en el balance hídrico del suelo realizado a partir de la estimación de la ET a partir de medidas del contenido hídrico del suelo. Los métodos para determinar el contenido hídrico del suelo permiten ajustar las dosis de riego y los momentos de aplicación, para lograr usos más eficientes del agua, mejorar el rendimiento, ahorrar agua y energía, y como consecuencia de lo anterior, aumentar la rentabilidad y sustentabilidad ambiental de las prácticas de riego (García Petillo, 2008).

1.7.1.1. Medición del contenido de humedad del suelo

1.7.1.1.1. Sensores dieléctricos

Los sensores dieléctricos de tipo capacitivo presentan ventaja frente a otros métodos a la hora de determinar el contenido volumétrico de humedad (θ) del suelo ya que es un método poco destructivo, no contaminante y de fácil manejo, que proporciona medidas instantáneas de θ . Adicionalmente, se puede determinar de forma simultánea la conductividad eléctrica aparente del suelo (σ) en el mismo volumen de muestra (Seyfried y Murdock, 2001; Kelleners *et al.*, 2004). Diversos autores han demostrado que las medidas de θ con estos sensores pueden afectarse por otras variables, como la frecuencia de onda electromagnética

empleada (Kelleners *et al.*, 2005) y la conductividad eléctrica del medio (Campbell, 2002; Seyfried y Murdock, 2004).

1.7.1.1.2. Sonda de neutrones

Se basa en las propiedades de los neutrones emitidos por fuentes radioactivas que interaccionan con el medio que les rodea, debido a que la masa del neutrón y del protón (H^+) son aproximadamente iguales. La aplicación de esta técnica para medir el agua en el suelo consta de tres pasos: i) emisión de neutrones rápidos desde una fuente radioactiva, ii) atenuación de la velocidad de los neutrones tras sucesivas colisiones con los átomos al punto de emisión y iii) recogida de los neutrones con velocidad atenuada por un detector cercano a la fuente. Por medio de impulsos eléctricos los neutrones captados por el detector se traducen en una lectura digital. Para convertir la lectura de la sonda de neutrones en humedad volumétrica, es necesario un modelo de calibración, donde la humedad volumétrica del suelo es el factor principal. Existen algunos factores que influyen en las mediciones como el hidrógeno de la materia orgánica, cloro, hierro y boro presentes en el suelo, capaces de atenuar los neutrones y absorber en sus núcleos neutrones termalizados (Vélez *et al.*, 2007)

1.7.1.1.3. Tensiómetros

Se componen de una cápsula cerámica porosa permeable al agua y a los solutos, conectada a un manómetro mediante un tubo plástico transparente que se llena de agua, de tal manera que la columna de agua en su interior forma un continuo con el agua de la solución del suelo en el espacio circundante, a través de la cápsula porosa. El suelo ejerce un potencial matricial (Ψ_m) sobre el agua de la columna a través de la cápsula porosa, que se refleja en la medida del manómetro. Los valores que se obtienen reflejan la tensión del suelo, son valores negativos, y su intervalo de funcionamiento es de 0 a -80 kPa, por debajo de éste valor la columna de agua se rompe, penetrando el aire e invalidando las medidas

siguientes. La salinidad del suelo no afecta las lecturas del tensiómetro. Requieren de un mantenimiento relativamente frecuente, que consiste en adicionarle agua más una solución para el control de las algas (Vélez *et al.*, 2007).

1.7.1.1.4. Bloques de yeso

Constan de dos electrodos en un bloque cilíndrico de yeso que mide la resistencia eléctrica al paso de la corriente. El intervalo de funcionamiento oscila entre -30 y -1000 kPa. Son simples, fáciles de instalar, se usan para hacer mediciones en suelos secos, aunque son poco efectivos en condiciones húmedas. Por ello no se adaptan bien a los riegos de alta frecuencia, necesitan calibración y su vida útil está limitada por la duración del yeso. La disolución del yeso crea una solución saturada en los electrodos que sirve para tamponar los efectos de salinidad de la solución del suelo sobre la resistencia eléctrica medida en rangos de hasta 2 dS m^{-1} (Scanlon *et al.*, 2002).

1.7.1.1.5. Sensores de matriz granular

Han sido desarrollados recientemente (fueron patentados en 1985 y fabricados comercialmente desde 1989) y operan con el mismo principio que un bloque de yeso. Mide la resistencia eléctrica entre dos electrodos introducidos en un pequeño cilindro compuesto de un material poroso. Cada dispositivo se encuentra recubierto por una membrana que consiste en un acoplamiento de acero inoxidable, cubierto externamente por una goma que hacen al sensor más duradero que el bloque de yeso. Sin embargo, el registrador viene calibrado para dar el valor en tensión de agua, mediante una ecuación que toma en cuenta la temperatura del suelo estimada o medida cerca del sensor. El tamaño de los poros en la matriz es mayor que la de los poros en los bloques de yeso, permitiendo mayor sensibilidad en el rango más húmedo de contenido de agua en el suelo. (Vélez *et al.*, 2007)

1.7.2. CONTENIDO HÍDRICO DE LA PLANTA

El estado de la planta refleja las condiciones del suelo y los efectos del clima, por lo que es conveniente utilizarla como guía. En los últimos años, los avances de la tecnología han permitido la utilización de sensores para hacer un seguimiento constante del estado de la planta (Cohen *et al.*, 2001; Leib *et al.*, 2003), lo que permite disponer de la información para una buena gestión del riego.

1.7.2.1. Evolución del diámetro del fruto

El diámetro del fruto es también un indicador del momento de aplicación del riego (Braun *et al.*, 1989). 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 (Vélez *et al.*, 2007).

El principal obstáculo para utilizar el crecimiento del fruto como indicador en la programación del riego, es la alta variabilidad entre frutos, ya que el crecimiento no es uniforme a lo largo de la temporada pues depende de muchos factores (temperatura, humedad relativa y radiación entre otras) y las curvas normales pueden desviarse de forma importante entre años. El que no haya siempre frutos tampoco permite utilizar este parámetro para programar el riego (Vélez *et al.*, 2007).

Según Hunt (2003), “el crecimiento es una aproximación holística, explicativa e integral, para comprender la forma y funciones de los vegetales”, ya que en cualquier sistema biológico, el crecimiento vegetativo es consecuencia de la división y elongación celular. La humedad de los tejidos se excluye de los estudios de crecimiento debido a que es la masa seca la que usualmente determina la importancia económica de un producto agrícola (Werner y Leiber, 2005).

El tamaño final del fruto está regulado por diferentes características de índole variable, las cuales están determinadas por factores endógenos y exógenos que se interrelacionan entre ellos. Agustí (2004) relaciona los aspectos genéticos, posición del fruto y competencia entre órganos en desarrollo como los principales factores endógenos influyentes. Dentro de los factores exógenos están, por una parte, los factores ambientales (temperatura, precipitación y los atributos químicos y físicas del suelo) y por otra parte, las prácticas culturales como el riego y la fertilización. Las características externas del fruto como color, forma e imperfecciones también son afectadas por condiciones climáticas (Spiegel-Roy y Goldschmidt, 1996).

Por esta razón se podría considerar que las curvas de crecimiento son reflejo del comportamiento nutricional e hídrico de las plantas y la elaboración de estas es primordial para realizar labores culturales que garanticen una respuesta óptima, de acuerdo a las necesidades y exigencias requeridas (Casierra-Posada *et al.*, 2004).

Las curvas de crecimiento en función del tiempo se emplean para identificar la evolución del crecimiento y estimar el peso que tendrá el fruto en la cosecha, bajo las condiciones climáticas de la zona, (Hunt, 1979). El análisis de crecimiento se basa en la evolución de medidas como peso seco, longitud de tallos, número de hojas y de ramas, entre otras (Manrique, 1990). Con estas medidas es posible calcular la tasa de crecimiento relativo (TCR), la razón de peso foliar (RPF) y la tasa de asimilación neta (TAN), entre otras (Hunt *et al.*, 2002). Mientras el peso seco y longitud de tallos tienen que ver con el desarrollo absoluto de la planta, las tasas de crecimiento explican su eficiencia en acumular materia seca en los diferentes órganos, como producto de sus procesos metabólicos (Geraud *et al.*, 1995).

1.7.2.2. Variaciones de los órganos de las plantas

El contenido hídrico de la planta se obtiene mediante diversas técnicas, entre estas las variaciones del espesor de las hojas y de los diámetros de ramas, tallos y frutos (Ginestar y Castel, 1996). La morfometría consiste en realizar seguimiento de estas variaciones, almacenando la información con una determinada frecuencia, que indique el estado hídrico de la planta (Huguet, 1985).

Los parámetros más frecuentemente utilizados como indicadores de déficit hídrico son la máxima contracción diaria del tronco (MCD), tasa de crecimiento del tronco (TCT), máximo diámetro del tronco (MDT), mínimo diámetro del tronco (MNDT). La MCD es igual a la diferencia entre MDT y MNDT del día (Cohen *et al.*, 1997). Para el cálculo de la TCT se debe considerar la diferencia de MDT entre uno o varios días consecutivos (Goldhamer y Fereres, 2001; Moriana y Fereres, 2002).

El estrés de la planta puede originarse por transpiración excesiva, baja absorción o por la combinación de las dos (Kramer, 1962). El crecimiento del tronco a medio o largo plazo se reduce de forma proporcional a la reducción del suministro hídrico (Hilgeman y Sharp, 1970).