

Crecimiento del fruto de peral bajo el sistema de riego por goteo con una y dos líneas

Pear fruit growth in drip irrigation systems with one or two lines

MARÍA CRISTINA ARENAS B.¹
JAVIER E. VÉLEZ S.^{2, 3}
JESÚS H. CAMACHO-TAMAYO²

Crecimiento de frutos de peral, variedad Triunfo de Viena, en la Sabana de Bogotá.

Foto: G. Fischer



RESUMEN

El objetivo del presente estudio fue evaluar el crecimiento del fruto de peral analizando la dinámica de acumulación de materia seca en correlación con los índices de cultivo, bajo las condiciones climáticas de Sesquilé (Cundinamarca, Colombia). El estudio se basó en la aplicación de dos tratamientos, el primero consistió en una línea de goteo por hilera de plantas con seis emisores de 8 L h^{-1} y el segundo, con dos líneas de goteo por hilera de plantas con tres emisores de 8 L h^{-1} cada una. Los principales cambios en las características fisicoquímicas fueron evaluados a partir de la cuarta semana después de la floración y con base en las tasas de aumento de peso y de crecimiento relativo se determinaron las fases de desarrollo. El fruto alcanzó el tamaño final en la semana 15 después de la floración, y se obtuvo la madurez de consumo entre las semanas 16 y 20, con color del epicarpio café amarillento. El crecimiento del fruto siguió una curva sigmoide ajustada a una ecuación logística de cuatro parámetros. Los resultados obtenidos de las variables hídricas del suelo permitieron programar el riego y garantizar el suministro de agua adecuado en el periodo de déficit hídrico con una diferencia mínima no significativa en el crecimiento del fruto, se observó que con el uso de una línea de riego, se obtiene un rendimiento similar con un menor costo de equipos.

Palabras clave adicionales: calidad, índice de madurez, materia seca, riego por goteo, *Pyrus communis* L.

¹ Facultad de Ciencias Naturales e Ingeniería, Unidad de Ingeniería Agrícola, Fundación Universitaria de San Gil, El Yopal (Colombia).

² Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Civil y Agrícola, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá (Colombia).

³ Autor para correspondencia. jevelezs@unal.edu.co

ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate the growth of pear fruit by analyzing the dynamics of dry matter accumulation rates as correlated with the culture, under the climatic conditions of Sesquile (Cundinamarca, Colombia). The study was based on the application of two processes: the first one consisted of one drip line per row of plants with six emitters of 8 L h⁻¹, and the second with two drip lines per row of plants with three emitters of 8 L h⁻¹ per line. The main changes in the physicochemical characteristics were evaluated starting with the fourth week of flowering and based on rates of weight gain; and the relative growth rate was determined by the stages of development. The fruit reached the final size at 15 weeks after flowering, ripening occurred between weeks 16 and 20, with a yellowish-brown color for the epicarp. The fruit growth followed a double sigmoid curve fitted with a logistic equation of four parameters. The results of the soil water variables allowed for irrigation scheduling and ensured adequate water supply in the period of water deficit with a minimal difference that was not significant for fruit growth, indicating that the use of one irrigation line provides for similar yields but with a lower equipment cost.

Additional key words: quality, maturity index, dry matter, drip irrigation, *Pyrus communis* L.

Fecha de recepción: 25-09-2012

Aprobada para publicación: 28-11-2012

INTRODUCCIÓN

El cambio climático ha obligado a los productores de frutales a modificar las áreas de siembra según la disponibilidad de agua y el régimen de lluvias (FAO, 2010). La producción mundial de frutales en fresco asciende actualmente a 15,5 millones de toneladas, de las cuales Colombia contribuye con 13.579 t año⁻¹ que son producidas, aproximadamente, en 1.099 ha (FAO, 2010).

Según la evaluación de cultivos permanentes realizada por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (2011), el comportamiento agrícola del departamento de Cundinamarca presentó un área total sembrada de 214.306 ha en el año 2010, 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 lo que respecta a cultivos frutales, se resaltan la naranja 6.964 ha, mango 3.943 ha, mora 2.804 ha, mandarina 1.967 ha y peral con 64 ha, observando poca influencia del cultivo de peral en la región respecto al bajo porcentaje de área sembrada.

El contenido hídrico de la planta se obtiene mediante diversas técnicas, entre estas las variaciones del espesor de las hojas y 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 *et al.*, 1985).

El diámetro del fruto es, entonces, 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; Vélez y Álvarez, 2012).

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. También la no existencia de frutos de forma permanente dificulta su uso como parámetro para programar el riego (Vélez *et al.*, 2007).

Hunt *et al.* (2002) definen el crecimiento del fruto como 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.

Las curvas de crecimiento en función del tiempo son empleadas por diversos autores para identificar la evolución del crecimiento en el ciclo bajo las condiciones climáticas de la zona en estudio, y para estimar el peso que tendrá el fruto en la cosecha (Rojas-Lara *et al.*, 2008). El análisis de crecimiento puede basarse directamente en la evolución cronológica de medidas como peso seco, longitud de tallos, número de hojas y número de ramas entre otras (Flores-López *et al.*, 2009). Con estas medidas es posible calcular la tasa relativa de crecimiento (TRC) y la tasa de asimilación neta (TAN) (Casierra-Posada y Cardozo, 2009). Mientras los primeros (peso seco y longitud de tallos), tienen que ver con el desarrollo absoluto de la planta, los segundos (tasas de crecimiento) explican su eficiencia en acumular materia seca en los diferentes órganos, como producto de sus procesos metabólicos.

De otra parte, 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). Casierra-Posada (2012) repor-

ta el escaso grado de tecnificación en el cultivo de peral en Colombia por lo cual no es común encontrar huertos de este frutal con riego. Sin embargo, en los últimos años 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 (Makurira *et al.*, 2011).

Al comparar el sistema de riego por goteo de una línea por hilera de planta con doble línea de riego, se evidencia que en diversas investigaciones se han dado respuestas similares con respecto a la diferencia en rendimiento de materia fresca (Podesta *et al.*, 2006). Por esto, el objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de la utilización de la doble línea de riego respecto de una línea por hilera de planta sobre el crecimiento del fruto de peral.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización y caracterización de la zona de trabajo y del cultivo

El proyecto se realizó en el municipio de Sesquilé (Cundinamarca, Colombia), en un lote de 0,32 ha con 185 árboles de peral, ubicado en las coordenadas geográficas 5° 02' 53,65" N y 73° 48' 12,78" W, con una altitud de 2.595 msnm. El suelo predominante corresponde a un Histosol, de textura franco arcillosa y relieve montañoso. Según la clasificación climática de Köppen (1936), la región se encuentra en el tipo Cfb, clima templado húmedo con lluvias de moderada intensidad todo el año, temperatura media de 14°C (media mínima de 5°C y media máxima de 21°C) y precipitación entre 890 y 1.500 mm año⁻¹, concentradas en los meses de abril a mayo

y octubre a noviembre, predominando el clima seco en los otros meses.

El suelo presentó una densidad aparente media de $1,06 \text{ g cm}^{-3}$, capacidad de campo 26,9% y punto de marchitez permanente 15,3%. El área sombreada en febrero de 2010 fue de 39,2%. El agua de riego utilizada presentó pH de 5,9 y conductividad eléctrica 2 dS m^{-1} , a una temperatura de 25°C . Las condiciones químicas del suelo se presentan en la tabla 1. Datos a partir de los cuales se realizó la distribución de enmiendas y fertilizantes.

Muestreo y análisis de laboratorio

El estudio se desarrolló en un cultivo de peral variedad Triunfo de Viena sembrado en el año 1998, con distancia media entre árboles de 4 m. Los tratamientos se iniciaron en febrero de 2009, y debido al fenómeno de La Niña en abril del mismo año, se suspendieron hasta enero de 2010 finalizando el estudio en abril de 2011.

Los tratamientos se distribuyeron en cuatro repeticiones o parcelas experimentales con 23 árboles cada una, donde el tratamiento 1 (LS) fue regado con una línea de goteo por hilera de plantas con seis emisores de 8 L h^{-1} espaciados cada 0,5 m y un tramo de línea de 1,5 m entre goteros, espaciados 0,7 m del tronco y el tratamiento 2 (LD) fue regado con dos líneas de goteo por hilera de plantas con tres emisores de 8 L h^{-1} cada una, espaciados cada 0,5 m y un tramo de línea de 3,5 m entre goteros, espaciados 0,7 m del tronco.

La determinación de la lámina de riego se hizo a partir de la ecuación de Penman-Monteith (Allen *et al.*, 1998), utilizando la estación meteorológica del Ideam "El Colombiano" (tabla 2) donde se recurre a los datos climatológicos del año 2008 para ajustar las curvas de precipitación y evapotranspiración potencial del cultivo (2009 y 2010) y las medidas por Watermark. Los efectos analizados en el rendimiento promedio y neto y la eficiencia del uso del agua de riego de

los frutos de peral se obtuvieron con mediciones del peso fresco.

Se marcaron tres árboles por cada una de las ocho parcelas experimentales, teniendo en cuenta el efecto de borde. Durante el periodo de llenado de fruto se seleccionaron 12 frutos por árbol y lote, siendo el criterio de selección de estos que la muestra 1 (30 ddf) correspondiera a los primeros frutos que cuajaron en cada árbol y así sucesivamente hasta la muestra 6 (151 ddf), tomando cada una en intervalos de 21 d durante los 5 meses del crecimiento. Se registró el diámetro polar y ecuatorial del fruto. La evaluación se inició en la cuarta semana desde el inicio de la floración y continuó hasta la semana veinte.

Adicionalmente se realizó un análisis de calidad del fruto (tabla 3). Se pesaron los frutos para obtener el peso fresco y luego se secaron en estufa para obtener el peso seco. Con el peso seco se calculó la tasa relativa de crecimiento (TRC) (ecuación 1) en la cual se tiene en cuenta el incremento en peso seco en un intervalo de tiempo, usando la fórmula propuesta por Radford (1967), y referenciada por Criollo y García (2009). Adicionalmente se calculó la tasa de asimilación neta (TAN) (ecuación 2) y la tasa absoluta de crecimiento (TAC) (ecuación 3), con lo que se buscó denotar la capacidad de la planta para acumular materia seca en términos de superficie asimilatoria, reflejando así la eficiencia fotosintética de la planta.

$$TRC = \frac{(\ln W_2 - \ln W_1)}{T_2 - T_1} \quad (1)$$

$$TAN = \frac{W_2 - W_1}{A_2 - A_1} * \frac{\ln A_2 - \ln A_1}{T_2 - T_1} \quad (2)$$

$$TAC = \frac{W_2 - W_1}{T_2 - T_1} \quad (3)$$

Tabla 1. Condiciones químicas del suelo en los diferentes tratamientos de riego. Año 2010. Interpretación de los niveles de acuerdo al IGAC, 2010.

Atributos	Tratamientos		Nivel
	LD	LS	
Materia orgánica, %	1,85	1,77	Bajo
Fósforo, %	0,0015	0,0017	Medio
Potasio (K), %	0,0062	0,0063	Deficiente
Calcio (Ca), %	0,535	0,068	Ideal
Magnesio (Mg), %	0,0093	0,0096	Medio
Ca/Mg	4,2	5,2	Ideal
Mg/K	5,1	5,7	Estable
Ca/K	17,7	22,2	Estable
(Ca+Mg)/K	22,7	27,9	Estable

Tabla 2. Valores medios mensuales de 2008, 2009 y 2010, de la evapotranspiración potencial ETo, humedad relativa, radiación, temperatura y precipitación total.

Parámetro	Año		
	2008	2009	2010
ETo, mm d ⁻¹	1,84	1,85	1,75
Humedad relativa, %	77,2	80,1	75
Radiación, cal cm ⁻²	283	284	286
Temperatura media, °C	12,4	13,0	13,1
Precipitación, mm mes ⁻¹	87,9	65,9	40,4

Tabla 3. Parámetros de producción y calidad de la fruta en los tratamientos LS y LD.

Parámetro	Tratamiento		Tratamiento	
	LS	(CV, %)	LD	(CV, %)
Producción, kg/árbol	38,5	(34,0)	37,5	(39,5)
Peso fruto, g	327	(0,26)	328	(0,2)
Número frutos por árbol	117	(0,02)	114	(1,8)
Acidez total titulable, % ácido málico	0,33	(2,90)	0,33	(0,0)
Intensidad respiratoria, mg kg ⁻¹ h ⁻¹ de CO ₂	18,6	(0,94)	18,8	(0,8)
Densidad, t m ⁻³	1,074	(2,70)	1,048	(1,7)
Área superficial, cm ²	207,5	(0,20)	207,9	(0,2)
Esfericidad	0,82	(2,019)	0,84	(1,7)
Redondez	0,97	(81,30)	0,983	(1,0)

CV: coeficiente de variación

Donde,

W_1 = peso seco inicial (g),

W_2 = peso seco final (g),

T_1 = tiempo inicial (día),

T_2 = tiempo final (día),

A_1 = área foliar inicial (cm²),

A_2 = área foliar final (cm²).

El cálculo del área foliar se realizó con el método no destructivo indirecto basado en la apropiación de mediciones del grado de cobertura de suelo, según la metodología descrita por Astegiaro *et al.* (2001). Para obtener el peso seco se colocaron muestras de material vegetal recolectado a los 120 ddf sin incluir el sistema radicular en estufa a 80°C por 72 h.

Para calcular los periodos de desarrollo del fruto se revisaron los registros de floración y caída fisiológica de frutos (periodo I), y para estimar la duración de los periodos restantes (II y III), se utilizó la acumulación de materia seca por cada semana, la TRC del fruto y los cambios fisicoquímicos. Las gráficas de peso y tasa de crecimiento se ajustaron mediante ecuaciones logísticas de cuatro parámetros.

Los análisis de composición interna de los frutos se iniciaron cuatro semanas después de la floración y continuaron quincenalmente hasta la semana veinte. La acidez total titulable (ATT) se obtuvo mediante la titulación de 10 cm³ de jugo, con una solución 0,1 N de NaOH utilizando fenolftaleína como indicador y se expresó como porcentaje de ácido málico. Los sólidos solubles totales (SST) se midieron con un refractómetro manual marca KIKUCHI, con escala 0 a 30

°Brix. El índice de madurez está determinado mediante la relación SST/ATT.

Análisis estadístico

El diseño experimental fue de bloques al azar teniendo en cuenta la pendiente del terreno, con dos tratamientos (LS y LD) y cuatro repeticiones por tratamiento (8 parcelas en total). La parcela se conformó por 4 o 5 filas contiguas de 5 a 7 árboles cada una, siendo los tres árboles interiores centrales sobre los que se determinó la calidad del fruto, midiendo las características referenciadas a 12 frutos por árbol y lote.

Las variables de crecimiento se analizaron en función de los valores promedios y la dispersión, estableciendo las ecuaciones que determinan las curvas de crecimiento mediante ajustes logísticos. Los resultados fueron analizados mediante estadísticos descriptivos con el programa SPSS V.19.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Crecimiento y desarrollo del fruto

El patrón de crecimiento varía según el parámetro considerado, sea longitud, diámetro, volumen o peso fresco (Trillos *et al.*, 2008). El peso fresco de los frutos en los primeros 69 d fue 7,97 y 7,91 g para LS y LD respectivamente, y en diámetro de fruto fue 2,37 y 2,43 mm por semana para LS y LD respectivamente, para el mismo periodo de tiempo (figura 1).

La curva descrita por el crecimiento del fruto es del modelo sigmoide (figura 1). Se observó que el peso y diámetro presentaron tres periodos. El periodo I, se caracterizó por un crecimiento rápido, iniciado pocos días después de la antesis y prolongado hasta los 48 d después de la floración (septiembre - octubre). Periodo II, de lento creci-

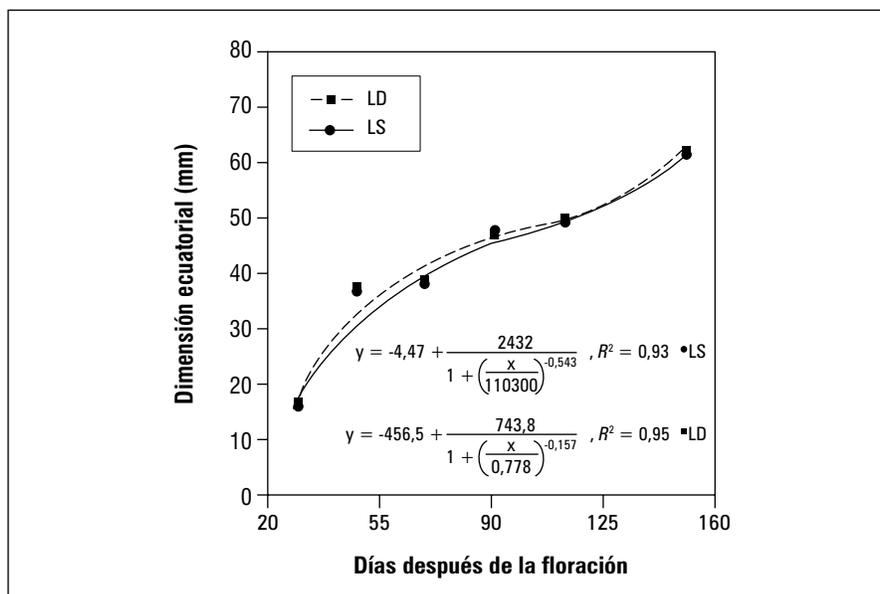


Figura 1. Crecimiento del fruto, evaluando el diámetro ecuatorial con ajuste logístico de cuatro parámetros para una línea de goteo (LS) y doble línea de goteo (LD) durante el desarrollo de la planta desde la floración hasta la cosecha.

miento desde los 69 hasta los 113 d después de la floración (noviembre - diciembre). Por último, en el periodo III se obtuvo un incremento exponencial del crecimiento, aumentando marcadamente el diámetro y el peso del fruto. Este periodo duró 40 d (enero - febrero), tiempo en el cual el fruto alcanzó la madurez de consumo, donde se observó un cambio en el color del epicarpio y mesocarpio, el periodo terminó con la cosecha. Estos resultados son similares a los encontrados por Orduz-Rodríguez *et al.* (2009), quienes señalan que la curva de crecimiento del fruto en diferentes variedades de mandarina presenta tres periodos y que su duración depende de la época o estación del año en la cual ocurre la floración y que a su vez concuerdan con los reportados para la misma variedad de peral por Parra-Coronado *et al.* (2006).

Peso fresco, peso seco y diámetro del fruto

Al principio del periodo I se observó un crecimiento lento, el proceso comenzó a partir de los 30 d después de la apertura floral y tuvo una duración de 69 d, en donde se inicia el aumento del

peso (figura 2). Este evento fue acompañado de una elevada división celular, que comenzó antes de la antesis y continuó hasta los primeros días de poscujado, además de una elongación celular que fue la responsable del aumento en volumen y peso (Iglesias *et al.*, 2007).

En el periodo II se presentó el mayor aumento de peso fresco y seco del fruto. El incremento de peso fresco del fruto fue de 4,37 y 2,63 g por semana para LS y LD, respectivamente (figura 3), sin presentar diferencia significativa ($P > 0,05$) pero siendo el parámetro más alto de todo el periodo de crecimiento. En esta fase la TRC disminuyó debido a que la translocación de fotoasimilados al fruto fue menor que en el periodo I, lo cual se refleja en el comportamiento del peso seco que incide directamente en este parámetro, eso indica que el crecimiento se da por el aumento en la cantidad de agua en el fruto. La TAN y la TAC en este mismo periodo tuvo un comportamiento similar y estas dos variables se correlacionaron pero no significativamente. La TAC mostró una tendencia decreciente en el primer periodo, pero se registraron los valores más altos en las prime-

ras y últimas evaluaciones, lo que lleva a verificar que la TAN constituye una medida de la actividad fotosintética de la planta permitiendo comparar la velocidad de crecimiento en los dos tratamientos (Mazorra *et al.*, 2003). En este periodo II algunos autores (Orduz-Rodríguez *et al.*, 2009) señalan que el desarrollo de los embriones está determinado por divisiones celulares, etapa en la cual no se evidencia un aumento significativo del mesocarpo.

En el periodo III, comprendido desde los 113 hasta los 151 d después de la apertura floral, el fruto continúa creciendo a expensa de su masa fresca. El crecimiento en este periodo depende de la expansión celular, la cual es influenciada por la plasticidad de las paredes y por la presión de turgencia de las células (Pérez-Barraza *et al.*, 2009). La producción por planta en el año de estudio no tuvo diferencia significativa ($P > 0,05$) y fue de 114 y 117 kg/árbol para los tratamientos LS y LD respectivamente.

Los periodos analizados con relación a los índices de cultivo, muestran que no hay evidencia de una diferencia significativa ($P > 0,05$) en el creci-

miento del fruto como consecuencia de la posición de los emisores en el suelo y la distribución del agua en la zona radicular de los árboles entre los tratamientos (Vélez *et al.*, 2007).

Sólidos solubles totales, acidez total titulable e índice de madurez

Los SST tienden a ser estables en los periodos I y II, y aumentan conforme se desarrolla el fruto. En los últimos 20 d de maduración se registró un incremento con valores finales de 9,4 y 9,2 °Brix para LS y LD respectivamente, sin mostrar diferencia significativa ($P > 0,05$) entre tratamientos, resultados similares a los encontrados para la variedad Bianchi por Hissano *et al.* (2010). El aumento en el contenido de SST se puede atribuir principalmente a la conversión del almidón en azúcar y a un aumento en la actividad de las enzimas hidrolasas del almidón (Parra-Coronado *et al.*, 2006). Los valores de ATT tienden a disminuir en el periodo I y II para incrementarse sutilmente durante el periodo III (figura 4). Generalmente los ácidos disminuyen durante la maduración, ya que son convertidos en azúcares

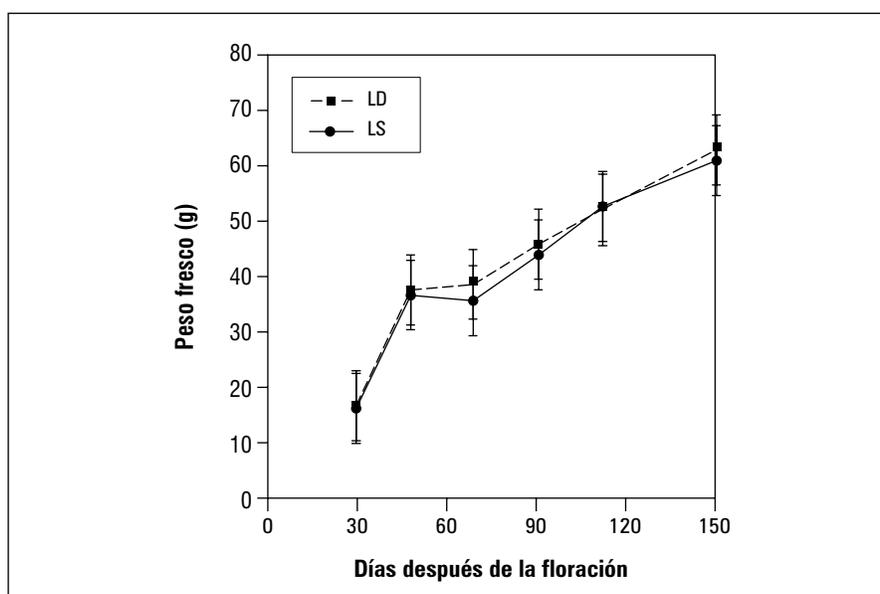


Figura 2. Peso fresco de los frutos de peral con una línea de goteo (LS) y dos líneas de goteo (LD) durante el crecimiento del fruto desde la floración y hasta la cosecha. Las barras representan el promedio de la desviación estándar.

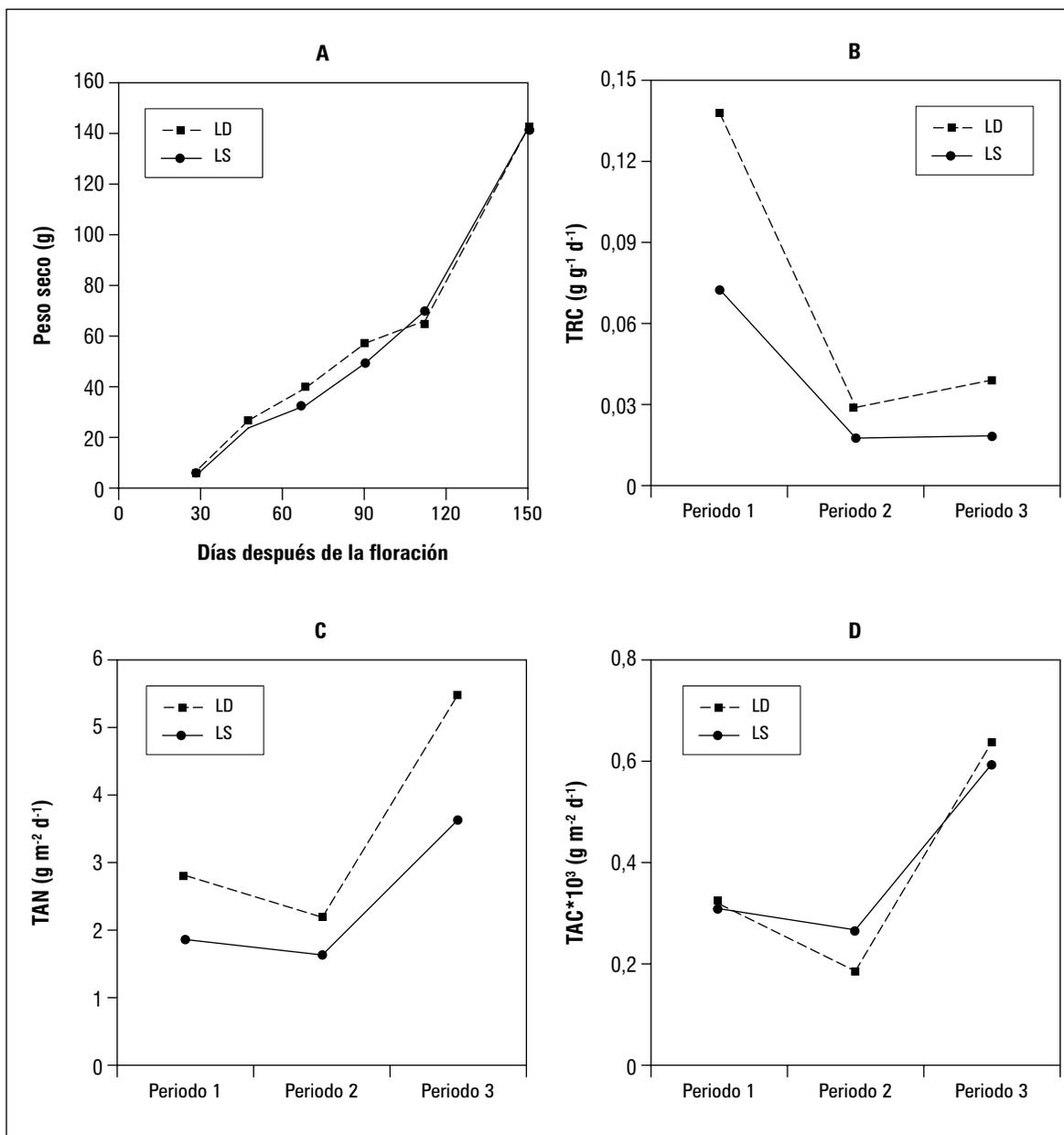


Figura 3. A. Acumulación de peso seco, B. Tasa relativa de crecimiento (TRC), C. Tasa de asimilación neta (TAN) y D. Tasa absoluta de cultivo (TAC) en frutos de peral para los tratamientos de riego con línea sencilla (LS) y línea doble (LD).

(Balaguera *et al.*, 2009). De tal forma, que estos pueden ser considerados una fuente de energía y se esperaría que disminuyeran durante la actividad metabólica que se desarrolla durante la maduración (Vianna-Silva *et al.*, 2010). Los cambios en color, detectados visualmente, se dieron al finalizar el periodo II de crecimiento, es decir, a

los 113 d después de la floración. El índice de madurez (IM) obtenido fue de 28,50 y 27,01 para LS y LD respectivamente, lo cual está 50% por debajo de lo reportado para la misma variedad de peral por Parra-Coronado *et al.* (2006), pero ajustándose al comportamiento de los productos hortofrutícolas.

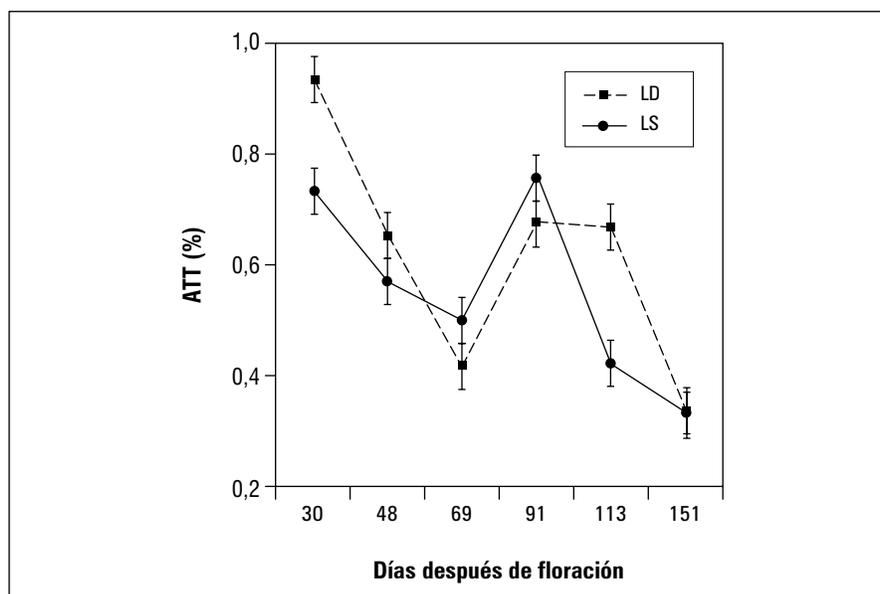


Figura 4. Comportamiento de la acidez total titulable (ATT) para riego mediante línea sencilla (LS) y línea doble (LD). Las barras representan el promedio de la desviación estándar.

CONCLUSIONES

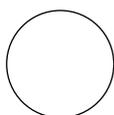
La presente investigación representa el primer intento hasta ahora realizado en el trópico, donde se evalúa el comportamiento de un sistema de doble línea de riego por goteo contra una sola línea “tradicional” en el cultivo de peral.

Los resultados obtenidos bajo las condiciones ambientales y de manejo de este estudio, confirman que los parámetros de producción y calidad, no mostraron diferencia significativa con respecto a la utilización de una o dos líneas de goteo por hilera de plantas, con rendimientos de acuerdo a los estándares del mercado, con

un costo inicial del equipo menor al de la doble línea.

No se encontró diferencia significativa en el crecimiento del fruto como consecuencia de la posición de los emisores entre los tratamientos. El utilizar una sola línea de riego significa una menor mano de obra, manejo, mantenimiento y contaminación por la reducción de plástico en campo.

El crecimiento del fruto en los dos tratamientos se expresa a través de una ecuación logística de cuatro parámetros, sin mostrar diferencia significativa entre ellas, lo que se tradujo en un rendimiento similar.



AGRADECIMIENTOS

Al ingeniero agrónomo Álvaro Castro, especialista en frutales de clima frío, por la asesoría en el control y manejo del programa fitosanitario y de fertilización del cultivo. Al Ideam, por la información meteorológica suministrada. Al Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) por el estudio de suelos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Allen, R.G., L.S. Pereira, D. Raes y M. Smith. 1998. Crop evapotranspiration, guidelines for computing crop water requirement. Irrigation and Drainage Paper 56. FAO, Roma.
- Astegiano, E.D., J.C. Favaro y C.A. Bouzo. 2001. Estimación del área foliar en distintos cultivares de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) utilizando medidas foliares lineales. Invest. Agr. Prod. Prot. Veg. 16(2), 249-256.
- Balaguera, H.E., J.G. Álvarez y D.C. Bonilla. 2009. Crecimiento y desarrollo del fruto de champa (*Campomanesia lineatifolia* Ruiz & Pavón). Rev. UDCA Actual. Divulg. Cient. 12(2), 113-123.
- Braun, P., D. Aspinall y F. Lenz. 1989. The use of physiological indicators of water status in irrigation scheduling in citrus. Acta Hort. 240, 267-270.
- Casierra-Posada, F. 2012. Manzano y peral (*Malus domestica* Borkh.) - (*Pyrus communis* L.). pp. 186-204. En: Fischer, G. (ed.). Manual para el cultivo de frutales en el trópico. Produmedios, Bogotá.
- Casierra-Posada, F. y M.C. Cardozo. 2009. Basic fruit growth analysis of field-grown tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill, cv. 'Quindío'). Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín 62(1), 4815-4822.
- Criollo, H. y J. García. 2009. Effect of planting density on the growth of radish (*Raphanus sativus* L.) plants under greenhouse conditions. Rev. Colomb. Cienc. Hortíc. 3(2), 210-222.
- FAO. 2010. Programa Internacional para la investigación y la tecnología sobre riego y drenaje. FAO, Roma.
- Ferreira, E., V.G. Sellés y M.I. Sellés. 2001. Riego deficitario controlado en olivos. Boletín INIA No. 59. La Platina, Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Santiago.
- Flores-López, R., F. Sánchez del Castillo, J.E. Rodríguez-Pérez, R. Mora-Aguilar, M.T. Colinas-León y H. Lozoya-Saldaña. 2009. Effect of solar radiation in the production of seed potato in soilless cultivation. Rev. Chapingo Ser. Hortic. 15(1), 25-30.
- Ginestar, C. y J.R. Castel. 1996. Use of stem dendrometers as indicators of water stress in drip-irrigated citrus trees. Acta Hort. 421, 209-219.
- Hissano Tazima, Z., C.S. Vieira Janeiro Neves, I.F. Ubukata Yada y R.P. Leite Júnior. 2010. Produção e qualidade de dos frutos de clones de laranjeira-'Pera' no norte do Paraná. Rev. Bras. Frutic. 32(1), 189-195.
- Huguet, J.G., B. Jaussely y P. Orlando. 1985. Appréciation de l'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(8), 733-741.
- Iglesias, D.J., M. Cercós, J.M. Colmenero-Flores, M.A. Naranjo, G. Ríos, E. Carrera, O. Ruiz-Rivero, I. Lliso, R. Morillon, F.R. Tadeo y M. Talón. 2007. Physiology of citrus fruiting. Braz. J. Plant Physiol. 19(4), 333-362.
- Köppen, W. 1936. Das geographische system der climate. pp. 1-44. In: Köppen, W. y R. Geiger (eds.). Handbuch der Klimatologie. Vol. 1, Part C. Gebrüder Borntraeger, Berlin.
- Makurira, H., H.H.G. Savenije, S. Uhlenbrook, J. Rockström y A. Senzanje. 2011. The effect of system innovations on water productivity in subsistence rainfed agricultural systems in semi-arid Tanzania. Agric. Water Manage. 98(11), 1696-1703.
- Mazorra, M. F., Quintana, A. P., Miranda, D., Fischer, G. y Chaves B. 2003. Análisis sobre el desarrollo y la madurez fisiológica del fruto de la uchuva (*Physalis peruviana* L.) en la zona de Sumapaz (Cundinamarca). Agron. Colomb. 21(3), 175-189.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. 2011. Anuario estadístico del sector agropecuario y pesquero 2010. Dirección de Política Sectorial, Grupo de Sistemas de Información. Bogotá,
- Orduz-Rodríguez, J.O., H. Monroy, G. Fischer y A. Herrera. 2009. Crecimiento y desarrollo del fruto de mandarina 'Arrayana' en condiciones del piedemonte del Meta, Colombia. Rev. Colomb. Cienc. Hortíc. 3(2), 149-160.
- Parra-Coronado, A., J.E. Hernández y J.H. Camacho-Tamayo. 2006. Comportamiento fisiológico de la pera variedad Triunfo de Viena (*Pyrus communis* L.) durante el periodo poscosecha. Rev. Bras. Frutic. 28(1), 46-50.
- Pérez-Barraza, M.H., V. Vázquez-Valdivia, J.A. Osuna-García y M.A. Urias-López. 2009. Increase on set and size of partenocarpic fruit in 'Ataulfo' mango with growth regulators. Rev. Chapingo Ser. Hortic. 15(2), 183-188.

- Podestá, L., E. Sánchez, M. Ojer, J. Morábito, R. Vallo-
na, F. Dueñas y M.B. Bovadilla. 2006. Estrategias
de riego deficitario controlado en cerezos. *Hortic.
Argent.* 25(58), 33-38.
- Radford, P.J. 1967. Growth analysis formulae - their use
and abuse. *Crop Sci.* 7(3), 171-175.
- Rojas-Lara, P.C., M. Pérez-Grajales, M.T.B. Colinas-
León, J. Sahagún-Castellanos y E. Avitia-García.
2008. Mathematical models for estimating fruit
growth in apple pepper (*Capsicum pubescens* R and
P). *Rev. Chapingo Ser. Hortic.* 14(3), 289-294.
- Santana Peña, L. y E. Peña Peña. 2010. Getting models to
determine the reference evaporation-perspiration
under subhumid-dry weather conditions in Las
Tunas, Cuba. *Idesia*, 28(1), 55-59.
- Trillos, O., J.M. Cotes Torres, C.I. Medina Cano, M.
Lobo Arias y A.A. Navas Arboleda. 2008. Caracteri-
zación morfológica de cuarenta y seis accesiones de
uchuva (*Physalis peruviana* L.), en Antioquia (Co-
lombia). *Rev. Bras. Frutic.* 30(3), 708-715.
- Vianna-Silva, T., R.V. Lima, I. Gonçalves de Azevedo,
R. Castro Carrielo Rosa, M. Silva de Souza y J.
Gonçalves de Oliveira. 2010. Determinação da
maturidade fisiológica de frutos de maracujazeiro
amarelo colhidos na região norte do estado do Rio
de Janeiro, Brasil. *Rev. Bras. Frutic.* 32(1), 57-66.
- Vélez, J., D. Intrigliolo y J. Castel. 2007. Scheduling
deficit irrigation of citrus trees with maximum
daily trunk shrinkage. *Agric. Water Manage.*
90(3), 197-204.
- Vélez, J.E. y J. G. Álvarez. 2012. Riego en frutales.
pp. 186-204. En: Fischer, G. (ed.). Manual para
el cultivo de frutales en el trópico. Produmedios,
Bogotá.