

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE AGRONOMÍA

MEMORIA DE TÍTULO

**EFECTO DE LA INTERCEPTACIÓN DE LA RADIACIÓN SOLAR
Y CARGA FRUTAL SOBRE LA PRODUCTIVIDAD Y PESO
DE FRUTO EN MANZANOS VAR ROYAL GALA**

KAREN FERNANDA MESA JULIANI

SANTIAGO - CHILE
2007

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE AGRONOMÍA

Memoria de Título

**EFFECTO DE LA INTERCEPTACIÓN DE LA RADIACIÓN SOLAR Y CARGA
FRUTAL SOBRE LA PRODUCTIVIDAD Y PESO DE FRUTO EN MANZANOS
VAR ROYAL GALA**

***PAR INTERCEPTION AND CROP LOAD EFFECTS ON YIELD EFFICIENCY
AND FRUIT SIZE IN 'ROYAL GALA' APPLE TREES.***

KAREN FERNANDA MESA JULIANI

SANTIAGO - CHILE
2007

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE AGRONOMÍA

**EFFECTO DE LA INTERCEPTACIÓN DE LA RADIACIÓN SOLAR Y CARGA
FRUTAL SOBRE LA PRODUCTIVIDAD Y PESO DE FRUTO EN MANZANOS
VAR ROYAL GALA**

Memoria para optar al Título
Profesional de Ingeniero Agrónomo
Mención: Fruticultura

KAREN FERNANDA MESA JULIANI

PROFESORES GUÍAS	CALIFICACIONES
Sr. Gabino Reginato M. Ingeniero Agrónomo, Mg. Sc.	7,0
Sr. Víctor García de Cortázar G. de C. Ingeniero Agrónomo, Dr. Ing.	7,0
PROFESORES CONSEJEROS	
Sr. Bruno Razeto M. Ingeniero Agrónomo, M. S.	6,7
Sr. Thomas Fichet L. Ingeniero Agrónomo, Dr.	6,8

SANTIAGO, CHILE
2007

AGRADECIMIENTOS

A mis padres, Jeannette y David, por sus consejos y valores, y el apoyo incondicional entregado durante esta etapa. A mis hermanas, Daniela y Carla, por su amistad y ayuda.

A mis profesores guías, Gabino Reginato y Víctor García de Cortázar, por su paciencia y sabiduría frente a los problemas emanados en la realización de esta memoria, que permitió poner término a este trabajo.

ÍNDICE

RESUMEN	6
SUMMARY	7
INTRODUCCIÓN	8
MATERIALES Y MÉTODOS	11
Evaluaciones	11
Tamaño de árbol	11
Carga frutal	11
Fracción de radiación interceptada	12
Productividad y tamaño medio de frutos	12
Diseño experimental y análisis estadístico	13
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	14
Tamaño de árbol	14
Carga frutal	16
Tamaño de fruto	16
Efecto de la carga frutal sobre el tamaño de fruto	16
Distribución de calibres	19
Producción y productividad	20
Efecto de la carga frutal sobre la producción y productividad	21
Rendimiento como función de la radiación solar	23
Fracción de radiación solar	25
CONCLUSIONES	29
BIBLIOGRAFÍA	30

EFFECTO DE LA INTERCEPTACIÓN DE LA RADIACIÓN SOLAR Y CARGA FRUTAL SOBRE LA PRODUCTIVIDAD Y PESO DE FRUTO EN MANZANOS VAR ROYAL GALA

RESUMEN

Durante la temporada 2004-2005 se realizó un ensayo en manzanos, variedad Royal Gala, de 10 años de edad, injertados sobre patrón MM106, plantados a una distancia de 5 x 3 m, en el fundo 'El Boldar', localidad de Corcolén, VI Región. El objetivo fue establecer una relación que explicase la productividad y el tamaño de fruto, como función de la interceptación de radiación solar y la carga frutal. Para esto, se seleccionaron 32 árboles, los cuales fueron separados de acuerdo a su área sección transversal de tronco (ASTT), medida a inicios del ensayo, en dos grupos: árboles de tamaño grande y de tamaño chico.

La fracción de radiación solar interceptada por los dos grupos de árboles se midió cada 20 días durante la temporada, desde el 1 de octubre hasta cosecha, con un sensor Accupar LP-80, en tres momentos del día: a medio día solar (MDS), 2 y 4 horas antes o después del MDS.

En la cosecha, se evaluó la producción total, número de frutos y peso medio de fruto cosechados por árbol.

Para el tamaño de árbol existieron diferencias entre los grupos seleccionados, expresado ya sea como ASTT (cm²) o como fracción de la *PAR* incidente interceptada. Además, la fracción de radiación solar interceptada se relacionó de manera lineal y positiva con el tamaño del árbol (ASTT).

La evolución de interceptación de la radiación fotosintéticamente activa (*PAR*) del huerto se incrementó rápidamente a inicios de temporada, para estabilizarse hacia fines de octubre y mantenerse constante hasta cosecha. Árboles grandes interceptaron una mayor fracción de radiación solar que árboles de tamaño chico, por lo que, para explicar la producción por hectárea se ajustan los niveles de carga frutal, de acuerdo al tamaño de los árboles.

La productividad es una función lineal de la carga frutal, expresada ya sea como frutos/cm² de ASTT o como frutos/fracción de radiación interceptada.

Palabras clave: área sección transversal de tronco (ASTT), fracción de radiación solar interceptada, *PAR*.

**PAR INTERCEPTION AND CROP LOAD EFFECTS ON YIELD EFFICIENCY
AND FRUIT SIZE IN 'ROYAL GALA' APPLE TREES.**

SUMMARY

A trial was conducted during the 2004/2005 season, in a commercial apple orchard, located in Corcolén, 6th Region, Chile. 'Royal Gala'/MM106 trees were 10-year-old, planted at 5x3 m. The objective was to determine the relationship between yield efficiency, fruit size, and *PAR* interception and crop load. Thirty two trees were separated in two groups (large and small trees) by their trunk cross sectional area (TCSA) at the beginning of the experiment.

PAR interception fraction (*PARf*) for each group was measured through the season every 20 days, since october 1st until harvest. Determinations were done at noon, and 2 and 4 hours before or after it, with a Accupar LP-80 sensor.

At harvest total production, fruit number and average fruit size per tree were evaluated. Tree size, expressed as TCSA and *PARf*, was different between groups. Besides, there was a linear relationship between these variables.

PARf rapidly increased during the begging of the season, to become steady from october to harvest. Large trees intercepted more *PAR* than small trees. For this reason, crop load must be adjusted, in order to explain productivity.

Yield efficiency was a function of crop load, expressed as fruits/TCSA, or fruits/*PARf*.

Keywords: trunk cross sectional area (TCSA), yield efficiency.

INTRODUCCIÓN

La luz es un aspecto importante en los árboles frutales, dado el papel que cumple en la fotosíntesis, en el desarrollo morfológico de las hojas y brotes, en la iniciación floral y cuaje de fruta y en el desarrollo y calidad de la fruta (Rom, 1991). Sin una adecuada iluminación, todos estos procesos son afectados significativamente y el árbol no puede cumplir su objetivo de producción. Así, la interceptación de luz y la fotosíntesis de la copa son factores importantes que limitan la productividad total del huerto, y así también lo es la poda de formación y producción, que es el único proceso manejable que influye en el potencial productivo de los árboles frutales (Wünsche *et al.*, 1996).

Según Rom (1991), la luz interceptada es la cantidad de luz disponible por el follaje del árbol y que no golpea el piso del huerto; entonces, la interceptación es una función de la densidad de la plantación, del tamaño y forma de la copa y del índice del área foliar dentro de ésta. Robinson y Lakso (1991) establecen que en los huertos donde existen copas discontinuas, son las características de la copa, tales como, altura, ancho, forma y densidad de las hojas las que controlan la interceptación total de la luz, la productividad de la materia seca y, así, el rendimiento potencial.

Para Wünsche *et al.* (1996) y Palmer (1999), la producción total de materia seca, así como la producción de fruta de un huerto, está relacionada con la cantidad total de radiación solar interceptada por el huerto. Sin embargo, el aumento potencial de la productividad, por el aumento de la interceptación de la radiación solar no necesariamente conduce a un alto rendimiento y calidad de fruta; esto porque, al parecer, la repartición de la materia seca total en la fruta requiere de una distribución de la luz en los sitios fructíferos de la copa. De esta manera, los sistemas de conducción que maximizan la exposición dentro de estos sitios, generalmente, tienen una mayor eficiencia en la conversión de energía de la luz en la fruta, que los sistemas que permiten un fuerte sombreado interno (Robinson y Lakso, 1991).

Estudios correlacionan que diferencias en calidad de manzanas son debidas a diferencias en la radiación fotosintéticamente activa (*PAR*) medida directamente en los sitios de fructificación (dardos), dentro de la copa; cuando estos sitios fructíferos experimentan una alta irradiación de *PAR* durante la iniciación floral y desarrollo de la fruta, se produce fruta de alta calidad, definida por un tamaño grande, alta coloración, elevado contenido de sólidos solubles, acidez, firmeza de la pulpa y sabor, todas características en el contexto de la variedad (Tustin, 2003). Es así que, temprano en el desarrollo de la fruta, el sombreado existente puede limitar el rendimiento por la restricción del flujo de carbohidratos para la fruta (Wünsche y Lakso, 2000); además de producir fruta de una calidad inferior, particularmente fruta de tamaño pequeño, de un color pobre y bajos sólidos solubles (Barritt, 2003), junto con una disminución del crecimiento. De hecho, se estima que en condiciones normales de manejo, un 30% del follaje con capacidad de fotosintetizar está, a lo menos, a la sombra (Frías, 2003).

En los huertos frutales, a causa de la necesidad de dejar caminos para la operación de maquinarias, se limita el espacio, lo que se traduce en una proporción de suelo no cubierta por los árboles, con lo cual se afecta el potencial de interceptación por unidad de área de suelo (Jackson, 1980, citado por Robinson 2003; Tustin, 2003). Así, para asegurar una buena iluminación en todos los sectores de la planta, la interceptación puede tener un máximo teórico de 70% a 80% de la radiación solar incidente (Yuri, 1997; Rom, 1991). De este modo, el suelo despejado del huerto es inversamente proporcional a la superficie de la copa del árbol (Rom, 1991). Debido a esto, Robinson *et al.* (1991) y Robinson (2003) señalan que, la interceptación de luz es más fuertemente influenciada por el número de árboles/ha y la relación entre la altura del árbol y el ancho de la entrehilera, que por la densidad de la copa.

Es claro que las diferencias en rendimiento entre los distintos sistemas de conducción y variedades son, en gran parte, el resultado de diferencias en la interceptación de la luz. Además, según los datos obtenidos por Robinson y Lakso (1991), el manejo de los huertos de manzano puede diferenciar el uso de la luz interceptada como energía. Por lo tanto, el conocimiento del total de luz interceptada por los diferentes huertos es necesario para ayudar a entender las bases de las diferencias en la productividad y calidad de la fruta de éstos (Wünsche *et al.*, 1995).

Uno de los requisitos importantes de calidad de manzanas lo constituye el tamaño del fruto; por esta razón es que se usa el raleo de frutos, práctica de manejo para mejorar el tamaño de éstos, siendo, tal vez, la labor más importante para lograr rentabilidad de un huerto. Por un lado se obtiene el tamaño del fruto, exigencia necesaria y fundamental para el precio del producto y, por otro, tanto o más importante que lo anterior, se refiere al volumen de producción a extraer por unidad de superficie, la que no es valorada en forma adecuada, pues, generalmente se prioriza la obtención del tamaño del fruto, dejando en un segundo plano la productividad del huerto (Reginato, 1998; Nilo, 1999).

Un índice para la carga frutal, muy utilizado actualmente, del cual se dispone de suficiente evidencia teórica-práctica para su validación, es la cantidad de fruta en relación al área de la sección transversal del tronco o rama (frutos/cm² de ASTT o ASTR). Esta medida se sustenta en el hecho que la sección transversal del tronco es un excelente indicador del tamaño del árbol y posee una alta relación con el área foliar correspondiente a ese tronco (Reginato, 1998; Razeto, 2006).

De igual forma que para la carga frutal, la eficiencia de producción se puede expresar como kg o gramos de fruta por área de sección transversal de tronco o rama (kg/cm² de ASTT) (Robinson *et al.*, 1991; Reginato, 1998). Sin embargo, una estimación más fundamental es la eficiencia de convertir la luz en energía dentro de la fruta (kg de fruta por unidad de luz-energía interceptada). Este índice proporciona una comparación uniforme entre las formas del árbol, que permite la extrapolación de los resultados a pruebas de campo más allá del sistema particular de espaciamiento usado (Robinson *et al.*, 1991).

Por lo tanto, de acuerdo a lo expuesto, el objetivo general de esta memoria es:

- Establecer la relación que explica la productividad y el tamaño del fruto, como función de la interceptación de la radiación solar y la carga frutal en manzanos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los ensayos se realizaron durante la temporada 2004/2005, en el fundo “El Boldar”, ubicado en la localidad de Corcolén, Provincia del Cachapoal, VI Región. Se utilizaron manzanos (*Malus domestica* Borkh.) ‘Royal Gala’, injertados sobre patrón MM 106 y con polinizantes de la variedad Granny Smith, en una proporción del 25% de la plantación. Los árboles están plantados a distancias de 5 x 3 m y fueron establecidos el año 1997; éstos se encuentran formados en eje y regados por microaspersión.

Evaluaciones

Tamaño del árbol

A mediados de septiembre se eligieron 32 árboles, que no presentaban problemas sanitarios y se encontraban dentro de la normalidad del huerto, a los cuales se les midió el perímetro del tronco a 20 cm del suelo, sitio donde el tronco se encuentra más uniforme, de manera de obtener a partir de este dato el ASTT (área sección transversal del tronco), expresada en cm². Con esta información se separaron 2 grupos, uno correspondiente a los árboles de tamaño chico y el otro a los de tamaño grande, con el objetivo de tener diferentes grados esperados de interceptación de radiación solar (IRS).

Carga frutal

La carga frutal se ajustó, posterior al raleo químico efectuado en el huerto y a las caídas naturales, mediante un raleo manual en cada uno de los grupos de árboles, estableciéndose niveles de carga dentro de un rango de 2 y 8 frutos/cm² de ASTT.

Fracción de radiación interceptada

La interceptación de la radiación solar (IRS) fue calculada mediante la medición de la radiación no interceptada por los árboles (PAR_{ni}). Ésta se realizó con un sensor ACCUPAR LP-80, que consiste en una barra de 80 cm con 80 sensores de luz. Las mediciones se hicieron a 20 cm del suelo, 3 veces al día: a mediodía solar (MDS), 2 y 4 horas antes o después del MDS, cada 20 días durante toda la temporada, desde el 1 de octubre hasta cosecha, el 24 de enero, de preferencia en días despejados; ésta se hizo de tal forma de que las evaluaciones cubrieran toda la superficie asignada al árbol, que se extiende desde el punto medio de la entrehilera hacia el otro punto medio de la entrehilera, como se muestra en la Figura 1.

La fracción de radiación interceptada se calculó como:

$$f = \frac{PAR_o - PAR_{ni}}{PAR_o}$$

Donde,

f = fracción de la radiación interceptada.

PAR_o = radiación incidente sobre el huerto.

PAR_{ni} = radiación que llega al suelo sin ser interceptada por el huerto.

El PAR_o se midió cada vez que se inició una nueva medición en uno de los tres momentos del día. Está se midió sobre el nivel del huerto (sobre las copas de los árboles), utilizando una escalera cosechera, o en el camino de tránsito de la maquinaria o en la entrehilera del huerto, siempre cuando no se generara un sombreado en la barra.

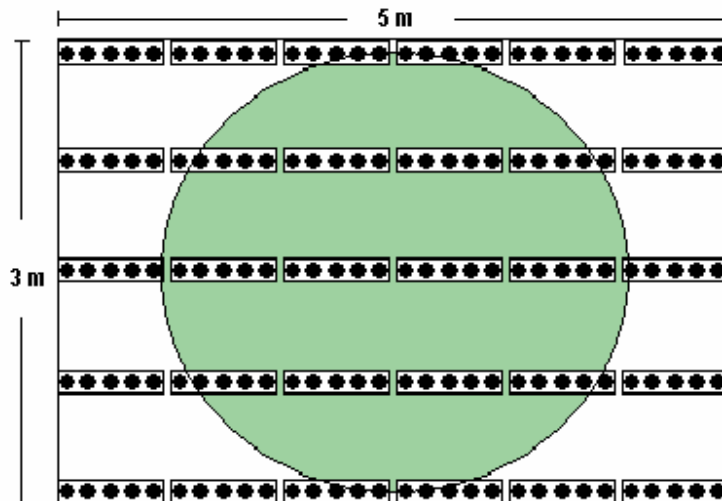


Figura 1 Diagrama de medición de la radiación solar que intercepta el huerto, en el espacio asignado al árbol

El valor de fracción de radiación interceptada correspondió a un promedio ponderado de las tres mediciones realizadas durante el día, donde la del MDS fue ponderado por uno, y las de 2 y 4 horas antes o después del MDS se ponderaron por dos.

Productividad y tamaño medio de frutos

Las evaluaciones a cosecha se realizaron en los tres “floreos”, el 26 de enero, 1 y 9 de febrero. En cada floreo, y para cada árbol, se evaluó:

- Número de frutos por árbol
- Peso total de la fruta cosechada.

A partir de estos datos se obtuvo la carga frutal, productividad y el tamaño medio de fruto; expresando las dos primeras variables en función del árbol, ASTT y fracción de radiación solar interceptada. De esta manera, la carga frutal se expresó como frutos/árbol, frutos/cm² de ASTT y frutos/fracción de radiación interceptada, la productividad como kg/árbol, kg/cm² de ASTT y kg/fracción de radiación interceptada; mientras que el tamaño medio de fruto en gramos.

En la cosecha más abundante se realizó una distribución de calibres, en una muestra de 50 frutos elegidos al azar, pesados individualmente con una balanza digital, para posteriormente separarlos en los rangos de peso que se presentan en el Cuadro 1. Se consideraron frutos de tamaño grande, aquellos que se encontraban en los calibres 80 y 90, frutos de tamaño mediano en los calibres 100, 110 y 120 y frutos de tamaño chico los de calibres 130 y 150.

Cuadro 1. Rango de peso para la separación de los frutos en calibre comercial de manzanas.

Calibre (N° frutos/caja 18,2 kg netos)	Peso fruto (g)
80	≥215
90	<215 - 192
100	<192 - 174
110	<174 - 159
120	<159 - 146
130	<146 - 135
150	≤135

Diseño experimental y análisis estadístico

La unidad experimental la conformó el árbol completo. El diseño fue totalmente aleatorizado, con tratamientos dados por el tamaño del árbol: grande y chico.

Los resultados fueron analizados mediante un análisis de varianza, ANDEVA, y en el caso de existir diferencias significativas se utilizó la prueba rango múltiple de Tukey, con $\alpha < 0,05$. La carga frutal se utilizó como covarianza. Para el análisis de las pendientes se utilizó el procedimiento de las variables dummy. Además, se realizaron análisis de correlación y regresión, usando como variables dependientes el peso de fruto y la productividad; y como variables independientes se utilizaron la interceptación de la radiación solar (IRS), el área sección transversal del tronco (ASTT) y la carga frutal, o combinaciones entre ellos. En todos los casos se utilizó el programa de análisis estadístico InfoStat (2005 p.1).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tamaño de árbol

La separación de los árboles del ensayo se realizó mediante el área sección transversal de tronco, con el objetivo de establecer diferencias de tamaño entre éstos. Esto quedó de manifiesto al realizar un análisis de varianza, donde se encontraron diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0,0001$) (Cuadro 2) entre los dos grupos de árboles en cuanto al tamaño del árbol (ASTT, cm^2) y fracción de radiación solar interceptada ($PAR f$), promedio de toda la temporada, siendo los árboles grandes un 51,2 ó 40% más grandes que los árboles chicos, respectivamente.

Cuadro 2. Tamaño de árbol de manzano en función de ASTT y $PAR f$ para ambos grupos de tamaño de árbol.

Tratamiento	Tamaño del árbol		Tamaño relativo del árbol	
	ASTT cm^2	$PAR f^*$ %	ASTT %	$PAR f^*$ %
Chicos	$73,3 \pm 10,3a^x$	$0,35 \pm 0,02 a$	100,0	100,0
Grandes	$110,8 \pm 12,1 b$	$0,49 \pm 0,06 b$	151,2	140,0

^x Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0,0001$).

* Fracción de PAR interceptada, promedio de 6 mediciones durante la temporada.

En cada columna se muestra el promedio \pm desviación estándar.

Al relacionar las variables de tamaño de árbol, ASTT (cm^2) y el porcentaje de radiación interceptada, mediante regresión, se puede establecer una relación lineal entre estas dos variables, con un valor de $R^2=0,48$ (Figura 2). Al respecto, Reginato (2002) señala que el tamaño de árbol es el reflejo de su área sección transversal de tronco, y que esta variable está relacionada linealmente con el área foliar de un árbol de una variedad determinada, independiente del portainjerto en que ésta esté injertada; sin embargo, esta relación es más estrecha durante los primeros años después de la plantación, antes de que el árbol sea intervenido con podas fuertes, lo que explicaría el menor valor obtenido en este ensayo, dado que el huerto ya tiene 8 años, presentando intervenciones de poda importantes a la fecha. Autio *et al.* (1996) se refieren a este concepto, al relacionar el tamaño del árbol (ASTT, cm^2) con el área de suelo ocupada por éstos (m^2), bajo una condición de poda y de no poda, observando que aquellos árboles que no fueron podados presentan una mejor relación que aquellos que sí fueron podados; así esta diferencia refleja un cambio en la relación entre el ASTT y el área de suelo ocupada para árboles ya intervenidos con podas.

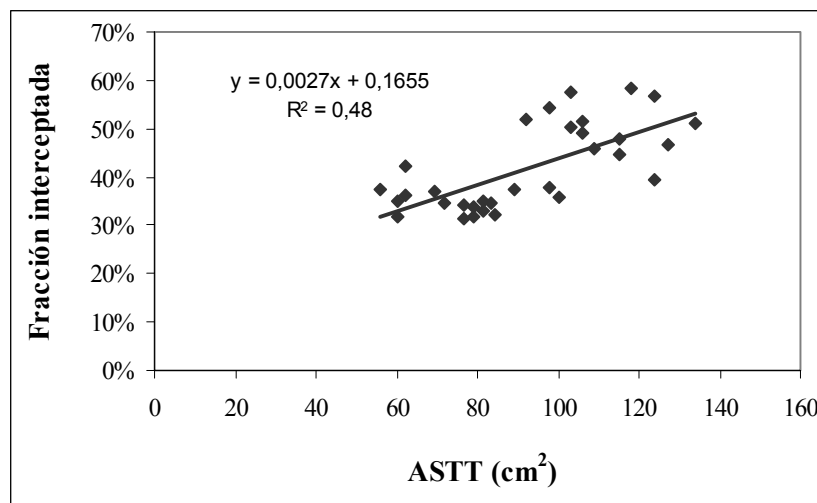


Figura 2. Relación entre dos expresiones de tamaño de árbol de manzano, expresado como ASTT (cm²) y fracción de radiación solar interceptada, promedio de la temporada 2004/2005.

Diversos estudios han definido para los diferentes sistemas de plantación y formación de manzanos, así como para otros frutales, la relación y respuesta de la interceptación de luz a los cambios en el índice de área foliar (IAF) (Barritt *et al.*, 1991; Wagenmakers y Callesen, 1995; Wünsche *et al.*, 1996), estableciendo una relación y respuesta positiva. La fracción de interceptación de luz en los huertos aumenta rápidamente hasta cerca del 60%, a medida que aumenta el IAF hasta un valor cercano a 3, pero aumentos sobre este valor no dan lugar a incrementos significativos en la interceptación (Tustin, 2003), siendo sólo una pequeña cantidad (Wagenmakers y Callesen, 1995). Cabrera (2006), en su estudio en durazneros, variedad 'Ross', encontró que la mejor manera para describir la relación entre la interceptación de PAR e IAF, hasta valores cercanos a 3,5, se ajustaría a una curva del tipo potencial, aunque esta relación se hace prácticamente lineal cuando el IAF presenta valores superiores a 1. En huertos jóvenes o en huertos adultos, con copas muy abiertas, donde el IAF es bajo, porque los árboles aún no cubren el área de suelo, la productividad se ve restringida por una baja interceptación de la luz, de manera que un aumento del índice de área foliar (IAF) aumentaría la interceptación de luz; sin embargo, en huertos adultos y densos un aumento del IAF no conduciría a un aumento de la interceptación de luz, ya que solamente generaría un sombreamiento interno adicional (Wünsche *et al.*, 1996). Por esta misma razón, se indica que la clave de una alta y temprana productividad, tiene que ver con un rápido desarrollo del área foliar en los primeros años después de la plantación (Barritt *et al.*, 1991).

Carga frutal

Al realizar un análisis estadístico para la carga frutal final, expresada por árbol, o normalizada por el tamaño de éste en ASTT o fracción de *PAR* interceptado, como frutos/árbol, frutos/cm² de ASTT o frutos/fracción de radiación interceptada a cosecha, respectivamente, se observa que sólo la carga en función de árbol (frutos/árbol) presenta diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0,01$) entre los dos grupos de árboles (Cuadro 3), donde los árboles grandes tienen un 38,7% más de frutos que los árboles chicos. No obstante, respecto de las otras expresiones de carga frutal, éstas presentaron sólo diferencias numéricas de un 7,5 y 16,1%, dependiendo de la unidad usada. Las abultadas diferencias en el número de frutos/árbol responden fundamentalmente a diferencias en el tamaño de los mismos, las que prácticamente desaparecieron al normalizar por el ASTT y *PAR*_f. El rango promedio de los frutos/cm² de ASTT coincidiría con lo señalado por Reginato (1998), de 3 a 6 frutos/cm² de ASTT. Por su parte, los árboles presentaron un rango amplio al expresarlos como número de frutos por árbol, entre 163 y 1052 frutos/árbol (Figura 3).

Cuadro 3. Carga frutal expresada por árbol de manzano o normalizada por el tamaño de éste, como frutos/cm² de ASTT o frutos/*PAR*_f a cosecha, para ambos tratamientos.

Carga frutal			
Tratamiento	Frutos/árbol	Frutos/cm ² de ASTT	Frutos/ <i>PAR</i> _f a cosecha
Chicos	359,7 ± 140,5 a	4,9 ± 1,7 a ^x	945 ± 409,2 a
Grandes	586,7 ± 237,4 b	5,3 ± 2,0 a	1126 ± 532,6 a
Promedio	473,2	5,1	1035,5

^x Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0,05$). En cada columna se presenta el valor promedio ± desviación estándar.

Tamaño de fruto

Efecto de la carga frutal sobre el tamaño de fruto

Al analizar la relación entre tamaño de fruto (g) y carga frutal, en función ésta del árbol, ASTT o fracción interceptada, mediante regresión, como se observa en las figuras 3; 4 y 5, respectivamente, no es posible establecer una respuesta consistente del peso del fruto a la carga frutal. Sin embargo, se observa, para estos tres modelos, que a medida que aumenta la carga frutal existe una disminución del tamaño de fruto para ambos tamaños de árboles. Elfving y Schechter (1993) indican que la relación entre el tamaño de fruto y el número de frutos por árbol es variable, reflejando diferencias debidas al vigor del árbol y condiciones de crecimiento de éste. Marini *et al.* (2002) señalan que estimaciones más exactas del peso medio del fruto pueden ser obtenidas usando el análisis de covarianza, donde la variación

en el peso de la fruta que se asocia a la carga frutal obtenida a cosecha es removida. Por tal razón, se utilizó la carga frutal como covariable para el análisis estadístico de tamaño de fruto entre los tratamientos.

Por el método de las variables dummy, se concluyó que no existían diferencias significativas entre las pendientes de ambos grupos de tamaño de árbol, para las tres formas de expresión de la carga frutal (figuras 3; 4 y 5), lo que es requisito para aplicar correctamente el análisis de covarianza, como lo indica Marini *et al.* (2002).

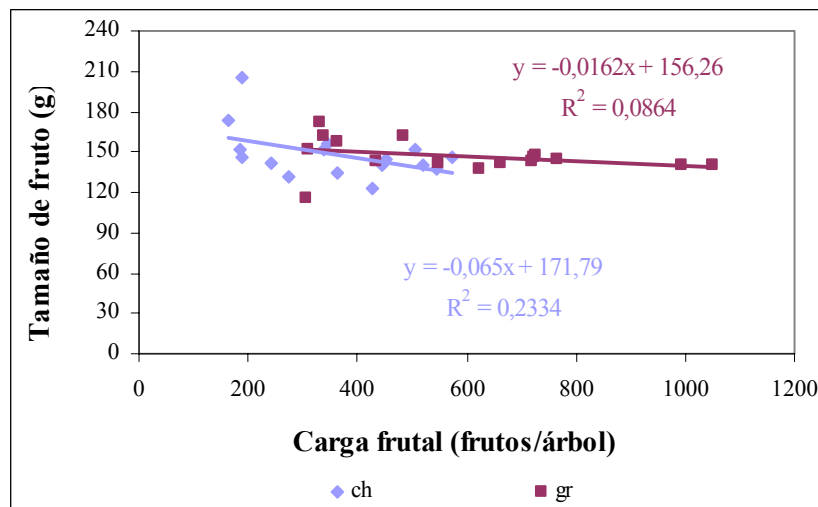


Figura 3. Tamaño de fruto en función de la carga frutal, expresada como frutos/árbol para los dos tratamientos de tamaño de árbol de manzano.

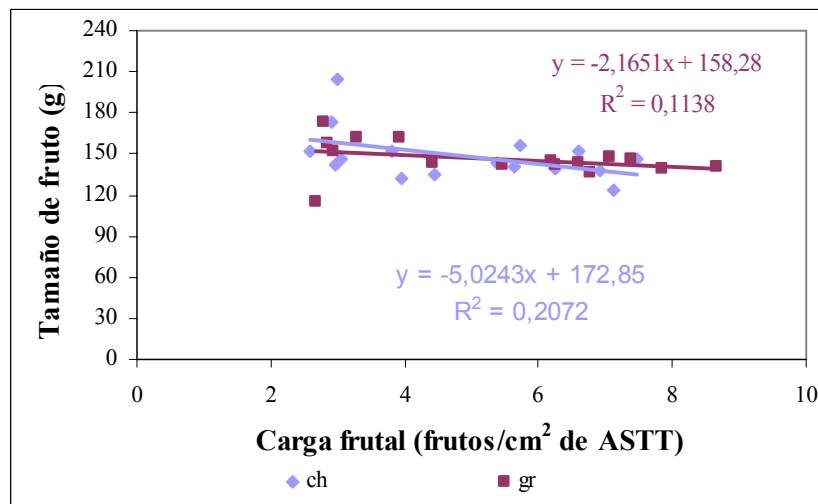


Figura 4. Tamaño de fruto en función de la carga frutal, expresada en frutos/cm² de ASTT para distintos tratamientos de tamaño de árbol de manzano.

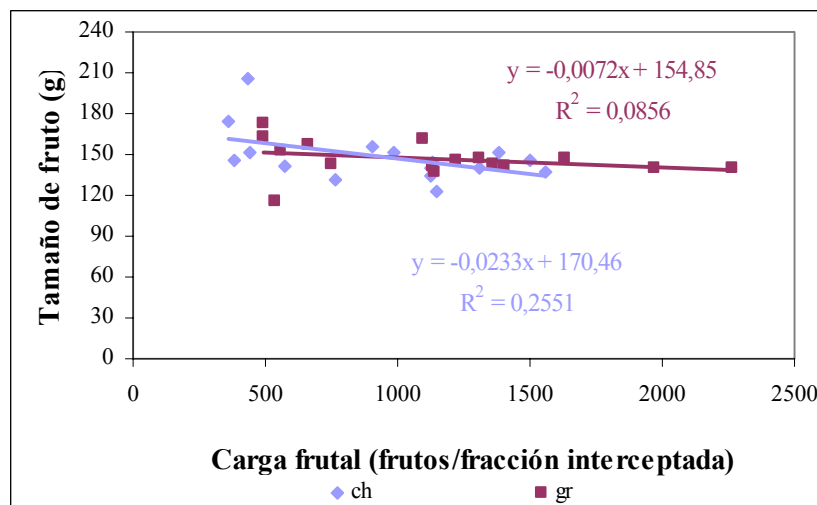


Figura 5. Tamaño de fruto en función de la carga frutal, expresada en frutos/fracción interceptada a cosecha para ambos tratamientos en manzanos.

En efecto, en el análisis estadístico del tamaño de fruto, la carga frutal como covariable resultó ser significativa ($p \leq 0,05$) para las tres expresiones antes mencionadas. De manera que las diferencias entre los árboles chicos y grandes están dadas por la carga frutal y no por el tamaño del árbol (Cuadro 4).

Cuadro 4. Tamaño de fruto (g), usando la carga frutal como covarianza, para los dos tamaños de árboles de manzano.

Tratamiento	Tamaño de fruto (g)		
	frutos/árbol	frutos/cm ² de ASTT	frutos/ PAR <i>f</i> a cosecha
Chicos	145,2 ^x a ^z	147,5 a	147,2 a
Grandes	150,0 a	147,7 a	148,0 a
Coefficientes de covarianza			
Carga frutal	-0,05*	-3,35*	-0,01*

^xValores promedio ajustados al análisis de la covarianza. ^z Letras distintas en la vertical indican diferencias estadísticas significativas. *, **, ***, **** Indican coeficientes de covarianza significativos, con p-valor $\leq 0,05$; 0,01; 0,001 y 0,0001.

El que no existiesen diferencias entre los grupos de árboles, indicaría que en el huerto se establecieron niveles de carga similares durante el período en que se define en gran parte el tamaño final del fruto. Además, estos resultados concuerdan con Frías (2002), quien establece que el peso promedio de Gala es de 140g; por su parte, Palmer *et al.* (2002) obtuvieron resultados similares, con un peso promedio de fruto de 140 g, sobre patrón M 9.

Forshey y Elfving (1989), citado por Elfving y Schechter (1993), señalan que los factores que influyen en el crecimiento del fruto del manzano incluyen efectos relacionados con el clima, la variedad, portainjerto, carga frutal, vigor del árbol y causas de años anteriores. De acuerdo a estos resultados, el primer factor que influye en el tamaño del fruto de Royal Gala es su capacidad genética. Ésta es una variedad temprana (Reginato *et al.*, 1992), que en forma natural produce fruta chica, por lo que resulta difícil pretender obtener calibres que alcanzan las variedades de plena temporada, por muy bien que se maneje el huerto (Razeto, 2006). Otra consideración puede ser la fecha en que se realizó el raleo manual en el huerto, porque, tal como lo menciona Ebert y Bender (1986), citado por Franck (1998) y Reginato (1997; 1998), para el corto período de crecimiento de la variedad Gala resulta particularmente importante esta labor, dado que el tamaño del fruto es tanto o más dependiente de la carga frutal temprana, que aquella que queda posterior al raleo químico y previo al repase manual, y que permanece hasta la cosecha. Al respecto, Gil (1992) señala que el tamaño potencial del fruto está fijado desde muy temprano, incluso durante el desarrollo de la flor, de modo que un fruto inicialmente grande lo será también en la madurez y uno relativamente chico mantendrá esa condición.

También se podría suponer que el tamaño de fruto obtenido en este ensayo pudiera ser producto de un nivel de carga frutal alto al momento de la cosecha, pues numerosos estudios en diferentes variedades de manzano (Odi, 2000; Nilo, 1999; Pozo, 1994 y Reginato, 1998), establecen que existe una relación inversamente proporcional entre la carga frutal y el peso del fruto. No obstante, al analizar la respuesta del tamaño del fruto como función de la carga frutal (figuras 3; 4 y 5), se muestra que en los rangos de carga evaluados en este ensayo, ésta relación no es muy marcada.

Distribución de calibres

De acuerdo a lo anteriormente descrito, la variedad Royal Gala, se encuentra limitada naturalmente para producir frutos de gran tamaño. La familia de manzanos Gala son productores de frutas de tamaño mediano a pequeño (Reginato *et al.*, 1992), 140 g, en promedio, con rango entre 90 y 260 g (Frías, 2002); situación que se observa en la distribución de calibre de este ensayo. Al respecto, en el Cuadro 5, se muestra que no existen diferencias estadísticas significativas entre los dos tamaños de árboles para ninguno de los tres grupos de calibre, obteniéndose un 49,9; 46,3 y 4,4%, promedio de ambos grupos, de frutos de tamaño chico, mediano y grande, respectivamente.

Cuadro 5. Tamaño de frutos de manzano, expresado como proporción de frutos (%), para diferentes grupos de calibre.

Tratamiento	Proporción de frutos		
	Calibre grande	Calibre medio	Calibre chico
		%	
Chicos	50,8 ± 14,8 a ^x	45,7 ± 13,2 a	3,3 ± 3,6 a
Grandes	48,8 ± 17,3 a	46,7 ± 14,8 a	4,3 ± 4,4 a
Promedio	49,9	46,3	4,4

^x Valores con letras diferentes en la vertical indican diferencias estadísticas significativa ($p \leq 0,05$). En cada columna se muestra el promedio ± error estándar.

Producción y productividad

En cuanto a la producción por árbol (kg/árbol), se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos, siendo los árboles grandes un 63,4% más productivos que los árboles chicos (Cuadro 6). Sin embargo, la productividad calculada como producción normalizada por el tamaño del árbol, como kg/cm² de ASTT o kg/PAR *f*, no presentó diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos, lo que indicaría que la diferencia existente en los kg/árbol producidos son respuesta al tamaño del árbol, pues ésta desaparece al normalizar por las variables de ASTT y PAR *f*, es decir, ambos grupos tiene igual desempeño productivo. El valor promedio de la productividad se encontró dentro del rango señalado por Reginato (1998, 2002) de 0,3-0,8 kg/cm² de ASTT.

Cuadro 6. Producción en función del árbol, y productividad expresada en función del ASTT y de la fracción de radiación solar interceptada, para ambos grupos de tamaño de árboles de manzano.

Tratamiento	Producción		Producción		Productividad	
	por árbol	Productividad	relativa	Productividad	relativa	
					por árbol	relativa
	kg	ASTT	PAR <i>f</i> *	ASTT	PAR <i>f</i> *	PAR <i>f</i> *
Chicos	52,2 ± 18,8 a ^x	0,71 ± 0,22 a	136,6 ± 55,1 a	100,0	100,0	100,0
Grandes	85,3 ± 32,5 b	0,77 ± 0,27 a	163,4 ± 73,7 a	163,4	108,5	119,6

Valores promedios ± desviación estándar ^x Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0,05$). * PAR *f* a cosecha.

Efecto de la carga frutal sobre la producción y productividad

La falta de diferencias en productividad (Cuadro 6) refleja la similitud de la carga frutal en ambos grupos de árboles, dado que diversos estudios en manzanos (Reginato, 1998) han establecido que existe una relación directamente proporcional entre la productividad y la carga frutal (Odi, 2000; Nilo, 1999 y Pozo 1994), existiendo mayor productividad a mayor carga frutal.

Al igual que para el tamaño de fruto, la producción y productividad se analizaron por medio de regresión como función de la carga frutal (figuras 6, 7 y 8). Así, se observan resultados similares a los previamente descritos por los autores antes mencionados, evidenciándose una relación lineal positiva entre la carga frutal y producción o productividad, para ambos tamaños de árboles, en función de las tres expresiones de carga frutal antes mencionadas.

Para las regresiones de las figuras 6; 7 y 8 se determinó, por el método de variables dummy, que no existían diferencias estadísticas entre las pendientes de ambos grupos de árboles, por lo que se realizó un análisis de covarianza para la productividad, utilizando la carga frutal a cosecha como covariable.

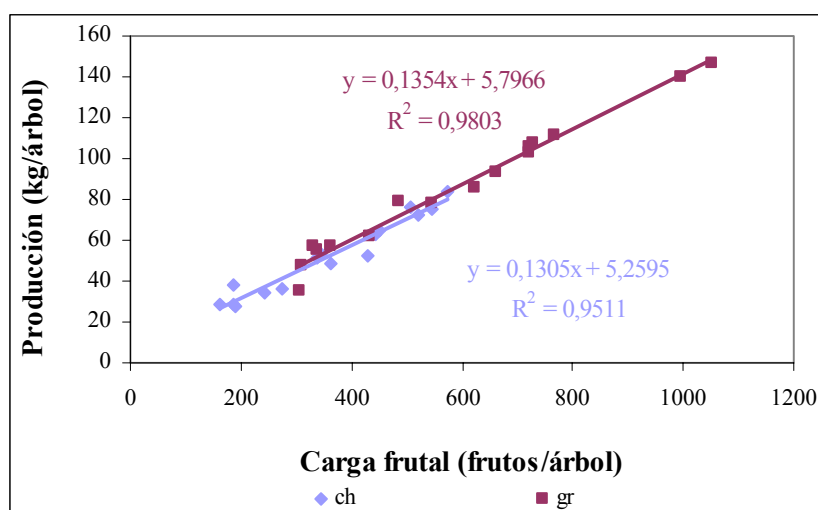


Figura 6. Productividad en función de la carga frutal, expresada como frutos/árbol para ambos tratamientos de tamaño de árbol de manzano.

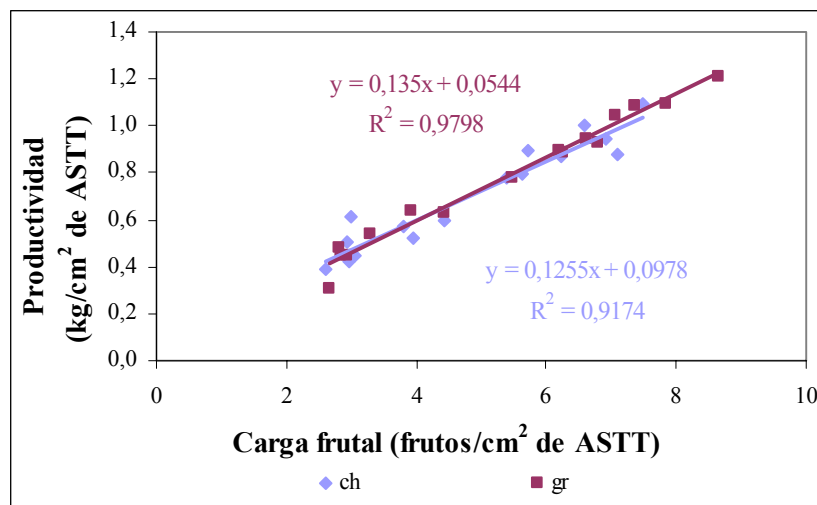


Figura 7. Productividad en función de la carga frutal, expresada en función del tamaño del árbol, como frutos/cm² de ASTT, para ambos tamaños de árboles de manzano.

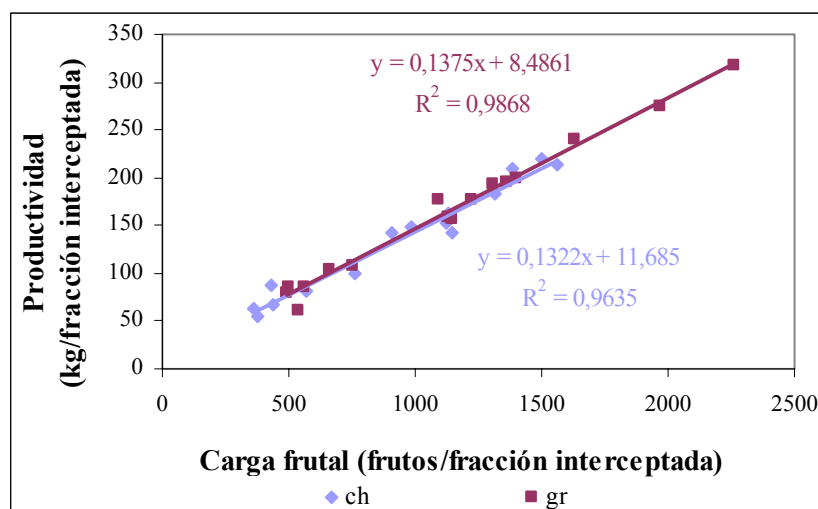


Figura 8. Productividad en función de la carga frutal, expresada como frutos/fracción interceptada, para los dos grupos de tamaño de árbol de manzano.

El análisis de covarianza para producción y productividad (Cuadro 7) mostró que no hay diferencias estadísticas significativas entre árboles chicos y grandes ($p \geq 0,05$) y que las diferencias numéricas encontradas anteriormente, para kg/árbol, desaparecen (Cuadro 6). Por lo tanto, las posibles diferencias que se presentan son principalmente respuesta a la carga frutal y no al tamaño del árbol.

Cuadro 7. Producción por árbol y productividad, expresada en función del ASTT y de la fracción de radiación solar interceptada, utilizando la carga frutal como covariable.

Tratamiento	Producción		Productividad
	kg/árbol	kg/cm ² de ASTT	kg/ PAR f a cosecha
Chicos	67,41 a ^x	0,74 a	148,9 a
Grandes	70,03 a	0,74 a	151,1 a
Coefficientes de covarianza			
Cargas frutales	0,13****	0,13****	0,14****

^x Valores promedios ajustados al análisis de la covarianza, letras distintas indican diferencias estadísticas significativas. *, **, ***, **** Coeficientes de covarianza significativos con p-valor ≤ 0,05; 0,01; 0,001; 0,0001.

Rendimiento como función de la radiación solar

La relación entre el rendimiento y el porcentaje de luz interceptada ha sido estudiada por muchos autores. Tustin (2003), Palmer *et al.* (2002), Palmer (1999), Wagenmakers y Callesen (1995), Robinson y Lakso (1991) y Barritt *et al.* (1991) indican que la interceptación lumínica está correlacionada linealmente con el rendimiento, por cuanto a mayor cantidad de luz interceptada por el conjunto de hojas de una planta, mayor es la cantidad de carbono asimilado. Esta relación es común para muchas investigaciones, y los datos se mantienen muy agrupados, mientras el porcentaje de interceptación no sobrepase el 60 a 70%. Sobre esta cifra se produce dispersión de la información, indicando que no es sólo la interceptación de la luz la única responsable del rendimiento, sugiriendo que puede haber otros factores responsables de la productividad. Para este ensayo no es posible representar gráficamente la relación directa entre estas variables, pues, como parte del estudio, se intervino la carga frutal, con un rango más amplio y más extremo que el realizado comúnmente en el huerto (descrito anteriormente), de modo que los rendimientos no representan los valores reales en condiciones de campo, que se pueden obtener en función del desarrollo del área foliar, y de los elementos vegetativos y productivos de cada unidad experimental.

Sin embargo, una forma de evidenciar lo dicho por estos autores, específicamente para este ensayo, es el relacionar la fracción interceptada (*PAR f*) y rendimiento (t/ha) de acuerdo a diferentes niveles de carga frutal, expresado como números de frutos/m² interceptado, como se muestra en la Figura 8A. Así, se tiene que para un nivel bajo, medio y alto de carga, esto es 20-50, 60-80 y 90-110 frutos/m² interceptado, respectivamente, es posible establecer una relación lineal entre la fracción interceptada y rendimiento por ha. De los niveles de carga observados en la Figura 8A, el que presenta la mejor relación entre las variables corresponde al nivel medio, comprendido entre 60-80 frutos/m² interceptado, con un valor de $R^2 = 0,91$. No obstante, para todos los grupos existe una relación lineal positiva, donde a una mayor fracción interceptada junto con una mayor carga frutal, mayor es el rendimiento del huerto.

Los mismos puntos de la Figura 8A, se presentan en la Figura 8B, pero separados por tamaño de árbol. En ella se muestra, claramente, que los árboles de tamaño chico son los que presentan una menor fracción interceptada en relación a los de tamaño grande, dentro de un mismo grupo de carga; situación parecida para el rendimiento (t/ha), donde los árboles chicos, en general, tienen menor producción para similar nivel de carga.

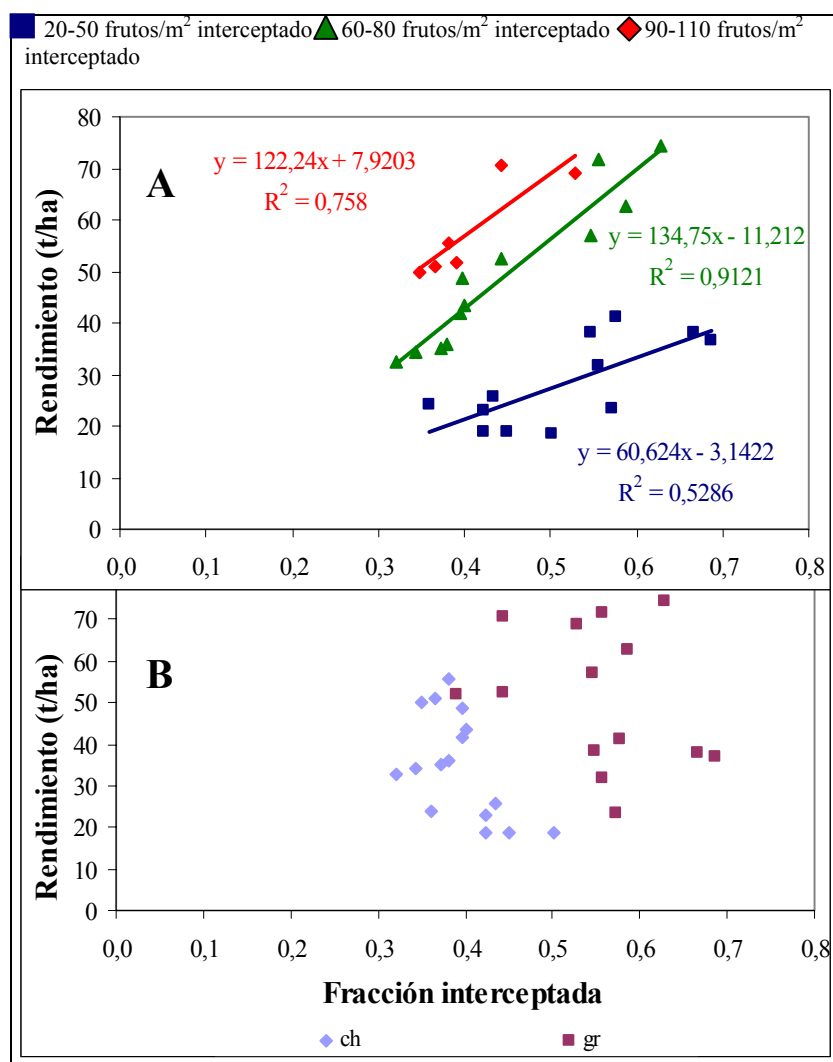
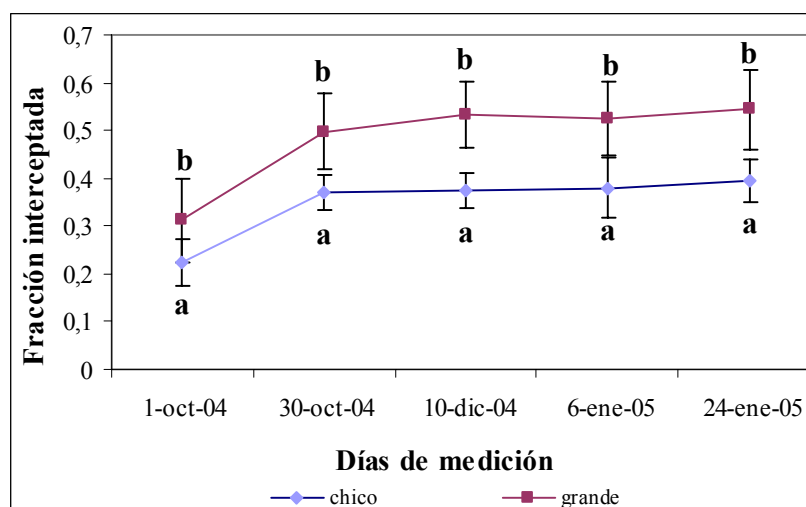


Figura 8. Rendimiento (t/ha) como función de la fracción interceptada (*PAR f*): A, para distintos niveles de carga frutal, expresada como frutos/m² interceptado; B, para diferentes tamaños de árboles usados en el estudio.

Fracción de radiación solar

Al inicio de las evaluaciones, la fracción de radiación solar interceptada alcanzó valores de 0,22 y 0,31, para árboles chicos y grandes, respectivamente. En los primeros 30 días, al 30 de octubre, existió un rápido incremento que se mantuvo hasta fines de temporada, con valores estables y constantes hasta cosecha, registrándose una fracción interceptada de 0,39 para árboles chicos y 0,54 para los grandes (Figura 9). Estos datos concuerdan con Palmer *et al.* (2002) y Cabrera (2006), presentando el mismo tipo de curva por ellos descrita, que se inicia con un rápido incremento, luego pasa por una estabilización hasta cosecha, cuando el crecimiento vegetativo completa su desarrollo, para posteriormente declinar, producto de la caída de hojas. Palmer *et al.* (2002) señalan, también, que durante el invierno, cuando los árboles están completamente defoliados, presentan una línea horizontal de interceptación, con un valor promedio de 9% para 'Royal Gala' sobre portainjerto M.9; indicando que la interceptación de radiación solar es mayoritariamente función del desarrollo de la cubierta vegetal (Cabrera, 2006).

Para cada una de las fechas de medición, se encontraron diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0,05$) entre los dos tamaños de árboles, con árboles grandes que interceptan entre un 9% y 16% de mayor fracción de radiación solar que los árboles chicos.



1/ letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0,05$).

2/valores promedio \pm desviación estándar.

Figura 9. Evolución de la fracción de radiación solar interceptada durante la temporada, para ambos tamaños de árboles de manzano.

Al obtener el PAR_0 , radiación incidente sobre el huerto, integrando la curva desde la salida

hasta la puesta del sol, para cada fecha de medición, y PAR interceptado para ambos tamaños de árboles (Figura 10), se observa claramente la superioridad de los árboles grandes en su capacidad de interceptar una mayor cantidad de radiación incidente que los árboles chicos, con una diferencia entre 4,21 a 9,86 mol/m^2 entre los dos grupos. A la vez, se muestra que existe una gran pérdida por no interceptación por parte de las estructuras de los árboles, tanto para los árboles chicos como para los grandes, con valores promedio de 64 y 51,7%, respectivamente, pérdida que puede estar justificada en el tamaño del árbol, forma de éste (altura y ancho) y por la distancia entre las copas (densidad de plantación) (Rom, 1991); o también, por la densidad del follaje de la copa (Robinson y Lakso, 1991).

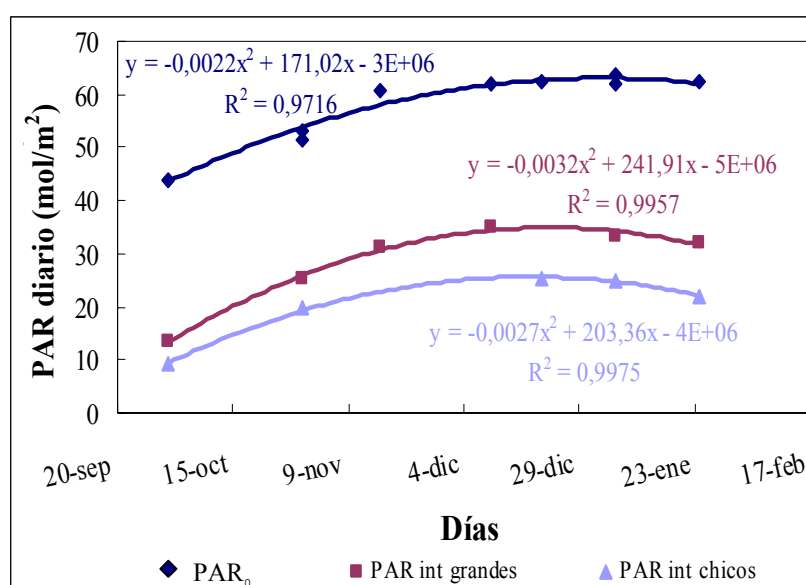


Figura 10. PAR interceptado para ambos tamaños de árboles y PAR_0 sobre el huerto, para cada fecha de medición.

La PAR_{ni} por los árboles se presenta en la Figura 11, donde se aprecia la evolución de esta variable durante la temporada, para ambos tamaños de árboles, hasta cosecha. En un comienzo, el nivel de radiación sobre el huerto (PAR_0) fue menor (Figura 10), como también lo eran, para entonces, el desarrollo foliar y estructural de los árboles, de manera que, para la primera fecha de medición, el 1 de octubre (Figura 11, A y B), se midió, a 20 cm del suelo, un alto nivel de PAR que no logró ser interceptado por los árboles, no generándose un sombreado bajo la copa en la parte central. Al alejarse hacia las entrehileras existe radiación no interceptada, no obstante, los niveles de PAR_{ni} son bajos, puesto que el PAR_0 lo es también para esta primera medición.

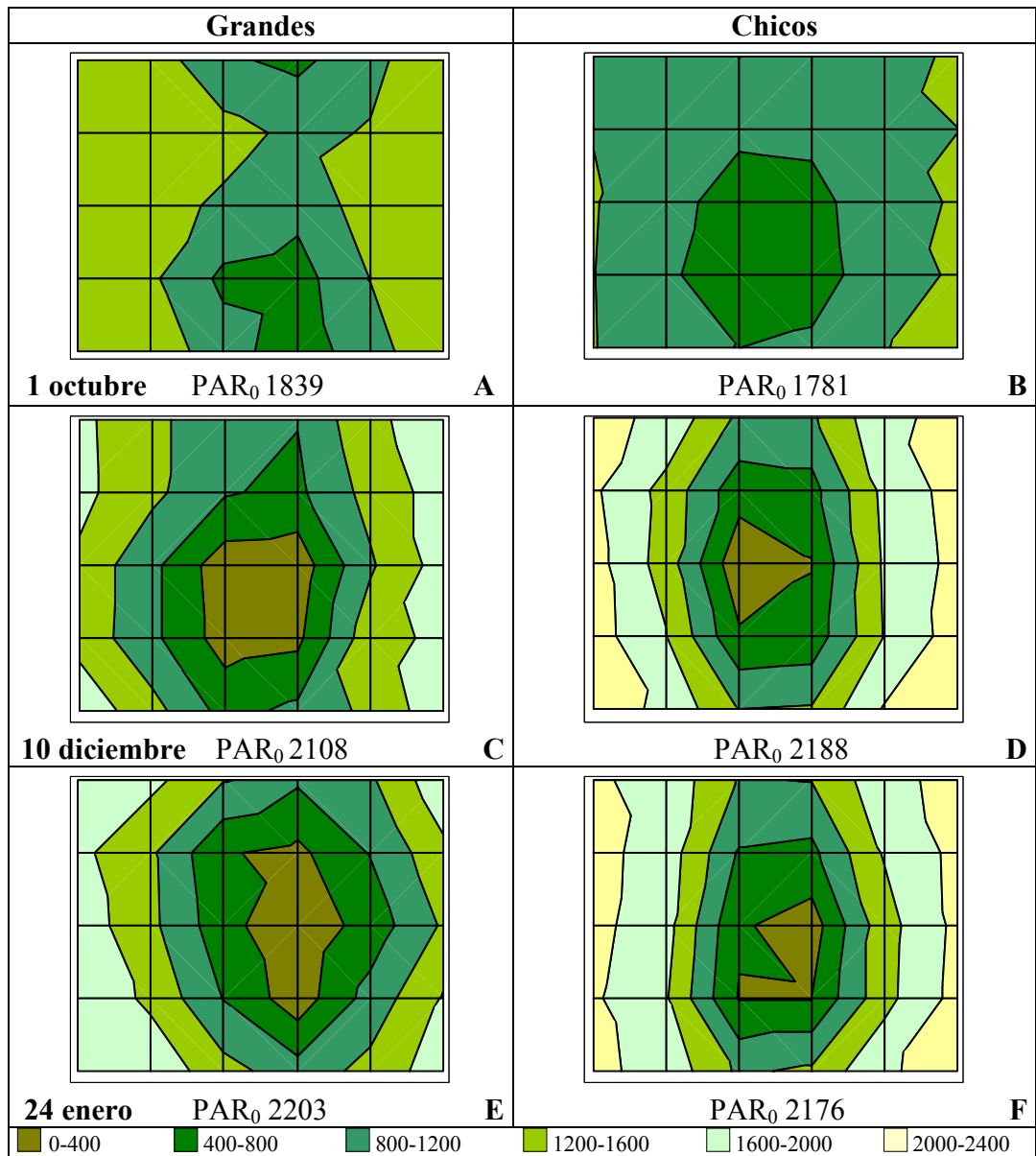


Figura 11. PAR_{ni} , sobre la superficie del suelo para ambos tamaño de árboles en tres fechas dentro de la temporada en manzano.

Para el 10 de diciembre (Figura 11, C y D) el nivel de radiación incidente sobre el huerto

(PAR_0) aumentó, y comienza a estabilizarse hasta cosecha (Figura 10), con valores similares a la última fecha de medición, 24 de enero (Figura 11, E y F). El desarrollo vegetativo y reproductivo de los árboles aumentó considerablemente con respecto a la primera medición, de modo que, los árboles logran interceptar una mayor fracción de radiación, generándose un sombreado en la parte central, donde el árbol logra mayor altura y, con ello, mayor número de estructuras que forman una cubierta al paso de la luz, obteniéndose así los niveles más bajos de PAR_{ni} ($0-400 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$). Esta situación es similar para ambos tamaños de árboles, y también lo es a medida que se avanza hacia la entrehilera, donde el número de estructuras que logran interceptar la radiación incidente es menor.

Sin embargo, al llegar a la parte media de la entre hilera, se produce la diferencia entre árboles chicos y grandes, que ocasiona la diferencia estadística detectada para el $PAR f$ promedio (Cuadro 2). Así, los árboles grandes cubren una mayor superficie del área asignada que los árboles chicos, con un mejor aprovechamiento del espacio, y mayor fracción de radiación interceptada, lo que se aprecia en un rango adicional de PAR_{ni} , sobre los $2000-2400 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ en los árboles chicos, que corresponde al área libre de la entrehilera, sin cobertura de la copa (Figura 11, D y F).

CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados de este ensayo se puede concluir lo siguiente:

El ASTT (cm^2) y la PAR_f ratifican la diferencia en tamaño entre los dos grupos de árboles seleccionados.

La fracción de radiación solar interceptada por los árboles (PAR_f) se relaciona de manera lineal y positiva con el tamaño de árbol (ASTT).

El tamaño de fruto no presenta una estrecha respuesta a la carga frutal, independiente si ésta se expresa como función de ASTT o de la fracción interceptada de radiación solar.

Los niveles de carga frutal probados en este ensayo están por debajo del punto en que el tamaño del fruto de la var. Royal Gala se ve afectado.

La productividad es función lineal de la carga frutal, expresada ya sea como frutos/ cm^2 de ASTT o como frutos/fracción interceptada.

La fracción de radiación solar interceptada (PAR_f) explica la producción por ha, sólo si se ajusta la carga frutal a niveles determinados.

La interceptación de PAR del huerto se incrementa rápidamente a inicios de temporada, para estabilizarse hacia fines de octubre y mantenerse constante hasta cosecha.

BIBLIOGRAFÍA

AUTIO, W. R; D. W. GREENE and W. J. LORD. 1996. Performance of "McIntosh" apple trees on seven rootstocks and a comparison of methods of productivity assessment. HortScience 31(7): 1160-1163.

BARRITT, B. H; C. R. ROM; B. J. KONISHI and M. A. DILLEY. 1991. Light level influences spur quality and canopy development and light interception influence fruit production in apple. HortScience 26(8):993-998.

BARRITT, B. H. 2003. Selecting the components of an apple orchard system. The Compact Fruit Tree. 36:3-6.

CABRERA, A. 2006. Evolución del área foliar e interceptación solar de durazneros (*Prunus persica* (L. Batsch)) var. Ross a distintos niveles de carga frutal. Memoria Ingeniero Agrónomo. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas. Santiago, Chile. 30p.

ELFVING, D. C and I. SCHECHTER. 1993. Fruit count, fruit weight, and yield relationships in 'Delicious' apple trees on nine rootstocks. HortScience 28(8): 793-795.

FRANCK, B. N. 1998. Raleo de frutos en manzanos (*Malus domestica* Borkh.) var. Royal Gala. Memoria Ingeniero Agrónomo. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas. Santiago, Chile. 32p.

FRÍAS, M. 2002. Qué ha sucedido con la variedad Gala y sus clones, a más de 10 años de su introducción en Chile. Revista Frutícola 23(2):41-52.

FRÍAS, M. 2003. La interceptación lumínica en frutales de hoja caduca. Revista Frutícola 24(2):51-57.

GIL, G. 1992. El raleo químico de manzanos. Revista Frutícola 13(2):57-66.

MARINI, R. P; J. A. BARDEN; J. A. CLINE; R. L. PERRY and T. ROBINSON. 2002. Effect of apple rootstock on average 'Gala' fruit weight at four locations after adjusting for crop load. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 127(5): 749-753.

NILO, V. C. 1999. Efecto de la carga frutal y época de raleo sobre el peso del fruto y la productividad en manzano var. Fuji. Memoria Ingeniero Agrónomo. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas. Santiago, Chile. 34p.

ODI, L. M. 2000. Efecto de la carga frutal y época de raleo sobre el peso de frutos y productividad de manzano var. Braeburn. Memoria Ingeniero Agrónomo. Universidad de

Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas. Santiago, Chile. 19p.

PALMER, J. W. 1999. Light, canopies, fruit and dollars. *The Compact Fruit Tree* 32:119-122.

PALMER, J. W.; J. N. WÜNSCHE; M. MELAND and A. HANN. 2002. Annual dry-matter production by three apple cultivars at four within-row spacings in New Zealand. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology* 77(6):712-717.

POZO, G. J. 1994. Efecto de la carga frutal sobre el crecimiento de frutos de manzano cv 'Top red' y 'Granny smith'. Memoria Ingeniero Agrónomo. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas. Santiago, Chile. 45p.

RAZETO, M. B. 2006. Para entender la fruticultura. Cuarta Edición. Ediciones Bruno Razeto, Santiago. 518p.

REGINATO, G. 2002. Aproximación teórica-cuantitativa a la densidad de plantación y a la evaluación del comportamiento de huerto de manzanos. *Revista Frutícola* 23(3):93-96.

REGINATO, G. 1998. Tecnificación del raleo de pomáceas. *Revista Frutícola* 19(1):23-26.

REGINATO, G. 1997. Raleo químico de manzanas. *Revista Frutícola* 18(2):73-75.

REGINATO, G; F. IRARRÁZAVAL y P. MOLINOS. 1992. Fenología del cv. Royal Gala en la zona central de Chile. pp. 23-28. *In*: Producción y perspectivas de nuevos cultivares de manzano. Publicaciones Misceláneas Agrícolas n°39. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Santiago, Chile. 107p.

ROBINSON, T. L. 2003. Tree density and light interception-keys to early production and to high mature production. *The Compact Fruit Tree* 36:14-20.

ROBINSON, T. L. and A. N. LAKSO. 1991. Bases of yield and production efficiency in apple orchard system. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 116(2):188-194.

ROBINSON, T. L; A. N. LAKSO and Z. REN. 1991. Modifying apple tree canopies for improved production efficiency. *HortScience* 26(8):1005-1011.

ROM, C. R. 1991. Light thresholds for apple tree canopy growth and development. *HortScience* 26(8):989-992.

TUSTIN, S. 2003. Understanding the basic principles of crop physiology-the key to making an orchard system work. *The Compact Fruit Tree* 36:7-8.

WAGENMAKERS, P. and O. CALLESEN. 1995. Light distribution in apple orchard systems in relation to production and fruit quality. *Journal of Horticultural Science*

70(6):935-948.

WÜNSCHE, J. N and A. N. LAKSO. 2000. The relationship between leaf area and light interception by spur and extension shoot leaves and apple orchard productivity. HortScience 35(7):1202-1206.

WÜNSCHE, J. N; A. N. LAKSO and T. L. ROBINSON. 1995. Comparison of four methods for estimating total light interception by apple trees of varying forms. HortScience 30(2):272-276.

WÜNSCHE, J. N; A. N. LAKSO; T. L. ROBINSON; F. LENZ and S. S DENNING. 1996. The bases of productivity in apple production systems: The role of light interception by different shoot types. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 121(5):886-893.

YURI, J.A. 1997. Consideraciones en relación a la poda y manejo de canopia en pomáceas. Revista Frutícola 18(2):41-58.