

VALIDACIÓN DE MODELOS PREDICTIVOS CONOCIENDO EL VIGOR, CARGA DE PODA Y DENSIDAD DE PLANTACIÓN

Determinación precoz de la producción potencial de plantaciones de peral

El objetivo principal de la poda y del aclareo del peral es acercar la producción real a la potencial para un determinado calibre de fruto. La producción potencial de una plantación está directamente relacionada con la variedad, la luz y el potencial fotosintético de las hojas que, a su vez, depende de la disponibilidad de nutrientes, agua y del estímulo de los frutos.

A partir de los datos obtenidos durante cinco años en parcelas de peral de la variedad Conferencia situadas en el valle del Ebro, se elaboraron y validaron modelos que permiten estimar la capacidad de producción de una parcela de peral a partir del vigor, la carga de poda y la densidad de plantación, parámetros fácilmente medibles durante el reposo vegetativo.



J. Bernardo Royo, Carlos Miranda, y L. Gonzaga Santesteban.

Departamento de Producción Agraria.
Sección Fruticultura y Viticultura Universidad Pública de Navarra.

El objetivo principal de cualquier operación de cultivo en el peral es acercar la producción real a la potencial, es decir, a la máxima esperable en las condiciones concretas del cultivo y para un determinado calibre de fruto. La producción potencial de una plantación frutal está directamente relacionada con su capacidad para elaborar fotoasimilados que, para una determinada variedad, está relacionada con la luz y con el potencial fotosintético de las hojas, dependiente a su vez fundamentalmente de la disponibilidad de nutrientes, de agua y del estímulo que representa la presencia de frutos.

La luz influye sobre la inducción y la diferenciación floral así como sobre el crecimiento y el color de los frutos. La proporción de superficie foliar bien expuesta a la luz es mayor cuando el vigor de los árboles y la densidad de plantación son menores. Además la diferencia de iluminación entre zonas del árbol



Plantaciones de peral Conference sobre patrón BA29 con similar VP ($12 \text{ cm}^2 \text{ ST/m}^2 \text{ S}$). La de la izquierda tiene una carga de poda muy baja ($1.5 \text{ cbos/cm}^2 \text{ ST}$) mientras que la de la derecha la tiene normal ($2.5 \text{ cbos/cm}^2 \text{ ST}$). La capacidad de producción estimada sería de 26.5 t/ha (izq) y 34.9 t/ha (derecha).

será mayor cuando éste sea más grande y esté mejor formado. No obstante, como la respuesta de las hojas a la luz es muy rápida (5-15 s), las hojas del interior también suelen resultar relativamente eficientes en la medida que les incide esporádicamente algún rayo de luz (Lakso y Barnes, 1978). A lo largo del día se producen intensas variaciones en la fotosíntesis neta: al amanecer ésta suele ser muy alta y va descendiendo a lo largo del día en la medida que el potencial hídrico foliar disminuye y las temperaturas aumentan.

La fotosíntesis neta es máxima en el rango de temperatura de $20-30^\circ\text{C}$ (con radiación PAR saturante), comienza a disminuir a los 30°C y prácticamente cesa a partir de los 35°C . Por otra parte, hay que tener en cuenta que cuando la temperatura desciende de -1.3°C , las hojas sufren un shock fisiológico importante y necesitan 10-15 días para recuperar su nivel normal de actividad (Faust, 1989).

La disponibilidad de nitrógeno influye mucho en el potencial fotosintético, de manera que se encuentra una relación muy positiva entre el contenido de N en hoja y la fotosíntesis neta. Sin embargo, hay que tener en cuenta que los aportes de N provocan también mayor crecimiento vegetativo, más sombra y, en consecuencia, menor cantidad de carbohidratos disponibles para los frutos. De la misma forma, la disponibilidad de agua ejerce también un papel de primer orden; cuando el potencial hídrico foliar es inferior a -0.8 MPa , la fotosíntesis se ralentiza drásticamente (Faust, 1989).

Los frutos, dado su fuerte efecto sumidero, estimulan la producción y el transporte de fotoasimilados de las hojas; cada fruto influye en todas las hojas ubicadas en las proximidades (20-50 cm) a donde se ubica (Palmer y cols, 1991). Además la proporción de fotoasimilados destinados a las raíces y a las partes perennes del árbol es menor cuando éstos soportan una carga de frutos mayor. En definitiva, los árboles con más frutos producen más materia seca y son más eficientes.

El objetivo de este trabajo fue elaborar unos modelos que, partiendo de parámetros fácilmente medibles durante el periodo de reposo vegetativo, estimasen la capacidad de producción de cualquier parcela de peral Conference y que permitieran ajustar la carga de poda en cada circunstancia.

Material y método

Los trabajos se iniciaron el año 1997 y duraron cinco años. En total se analizaron 45 parcelas ubicadas a lo largo del valle del Ebro (La Rioja, Navarra, Zaragoza, Huesca y Lleida)

La metodología descrita propone el uso de unidades de medida homogéneas que pueden ser muy útiles para comparar potencialidades de parcelas diferentes

en las que, en todos los casos, las prácticas culturales eran las habituales en la zona. En cada parcela se elegían 15-20 árboles y, en cada uno, tras la poda de invierno y antes de la floración, se midieron los siguientes parámetros:

- Vigor del árbol (ST). Condiciona la intercepción de la luz, la superficie foliar y la capacidad para extraer agua y nutrientes. Se estima mediante la sección de los troncos medida a unos 15 cm por encima del injerto y se expresa en cm^2 .

- Intensidad de ocupación del terreno (VP). Este parámetro integra el vigor del árbol y la densidad de plantación, pues la intercepción de la luz y la capacidad para extraer nutrientes también dependen de la superficie de suelo asignada a cada árbol. Se estima por la ST en relación al marco de plantación y se expresa en $\text{cm}^2 \text{ ST/m}^2$ superficie.

- Carga de yemas de flor del árbol (DFT) y de la parcela (DFS). Se estima como el cociente entre el número de ramos productivos (lamburdas) del árbol y, respectivamente, el vigor del árbol y el marco de plantación. Se expresan como n^o de corimbos de flor/ $\text{cm}^2 \text{ ST}$ (DFT) y n^o de corimbos de flor/ m^2 superficie (DFS).

En la época de recolección, se midió la carga de fruta, es decir, el número de corimbos con fruta presentes en cada árbol, y el peso de los frutos y se calcularon los parámetros carga de fruta del árbol (CFT) y de la parcela (CFS). CFT se expresa como n^o de corimbos con fruta/ $\text{cm}^2 \text{ ST}$ y CFS como n^o de corimbos con fruta/ m^2 superficie.

CUADRO I.

Principales características agronómicas de las parcelas empleadas en el estudio (n=45)

Parámetro	Valores medios	Rango de valores extremos		Rango de valores más frecuentes	
		Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Vigor del árbol (ST, cm ²)	80,9	28,6	193,0	52,6	109,3
Intensidad de ocupación del terreno (VP, cm ² ST/m ² S)	13,3	6,6	23,5	7,6	19,1
Carga de flor de los árboles (DFT, corimbos con flor/cm ² ST)	2,7	0,3	8,0	0,8	4,7
Carga de flor de la parcela (DFS, corimbos con flor/m ² S)	41,7	13,9	123,6	20,6	55,7
% Corimbos con fruta	47,9	12,6	94,6	33,6	74,7
Carga de frutos del árbol (CFT, corimbos con fruta/cm ² ST)	1,2	0,5	2,2	0,8	1,7
Carga de frutos de la parcela (CFS, corimbos con fruta/m ² S)	17,3	6,5	34,7	8,5	21,4
Peso del corimbo (Pm Cbo, g)	254,0	128,6	413,6	238,0	317,5
Producción por hectárea (t/ha)	33,1	20,0	56,2	25,1	39,2

Para explicar los valores de la proporción de corimbos con fruta y del peso de los frutos de los corimbos, se construyeron modelos de regresión lineal usando como variables independientes los parámetros indicados anteriormente. El método empleado fue el de eliminación sucesiva, con el que se consigue eliminar de la ecuación todo aquel parámetro que no explica de forma significativa a la variable dependiente (Neter y col., 1996). La capacidad predictiva de los modelos, así como la influencia relativa de cada parámetro sobre la variable dependiente se estimaron de acuerdo con la metodología descrita en Miranda y Royo (2003). Posteriormente,

dichos modelos fueron validados en un nuevo conjunto de 25 parcelas distintas a las anteriores.

Resultados y discusión

En el **cuadro I** se resumen las características de las parcelas utilizadas en cuanto a vigor, carga y producciones, indicando los valores medios y los extremos, así como el rango que incluye al mayor número de parcelas. Como puede observarse, en conjunto, se ha abarcado un amplio intervalo de situaciones que incluyen a la mayor parte de las que es posible encontrar en plantaciones comerciales del valle del Ebro.

Modelo para la estimación de la proporción de corimbos con fruta

La proporción de corimbos que llevan fruta en recolección (%CF) resultó depender de los factores: grado de ocupación del terreno (VP) y carga de poda de la parcela (DFS) y la relación se explica por la **expresión 1**.

Expresión 1.

$$\%CF = 52,22 - 0,40*DFS + 0,94*VP$$

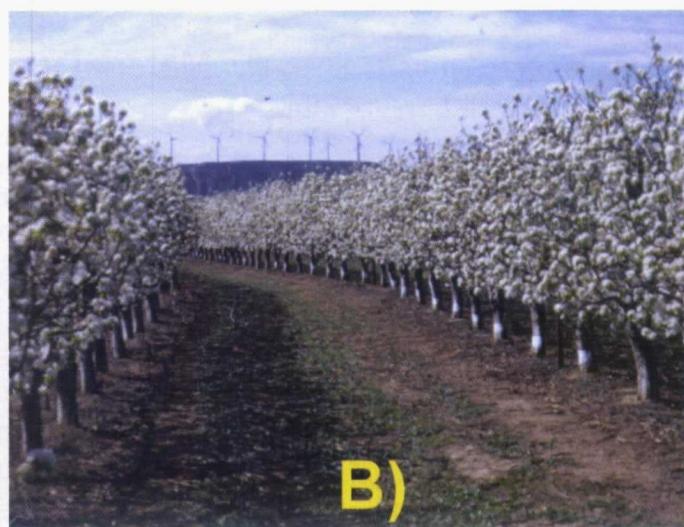
(R²=0,69 P<0,0001)

La expresión estima con bastante precisión el cuajado y es válida para un intervalo de vigores y cargas muy amplio (**cuadro I**). El cuajado es mayor a menor carga de poda y a mayor grado de ocupación del terreno, aunque este último parámetro tiene menor influencia (alrededor de tres veces menos).

El efecto negativo de la carga de poda se produce como consecuencia de que, a mayor cantidad de flores, la competencia por los recursos que se establece entre las flores o frutos recién cuajados es mayor. El efecto positivo del grado de ocupación del terreno se explica porque, en parcelas correctamente podadas, la cantidad de flores por unidad de sección de tronco (DFT) que es posible dejar es menor cuanto que el valor de VP es mayor (Miranda y Royo, 2003) lo que, en parcelas normales, compensa sobradamente la influencia negativa derivada de la mayor competencia entre árboles y peor distribución de la luz.



A)

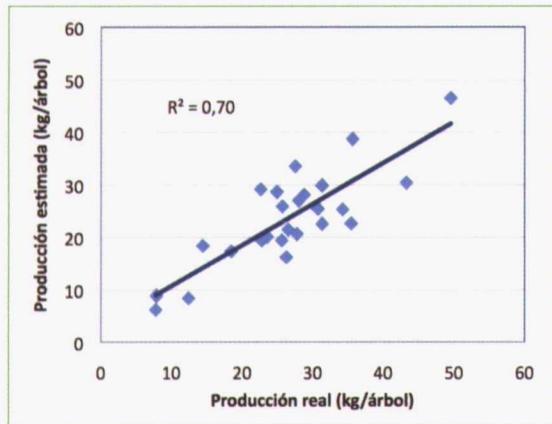


B)

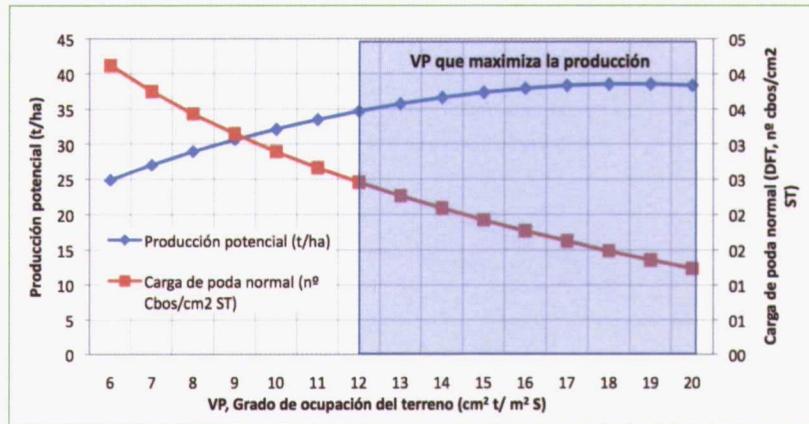
Plantaciones de peral Conference sobre patrón BA29 con diferente VP y carga. La foto de la izquierda tiene un VP de 4,2 cm² ST/m² S y una carga de 3,1 cbos/cm² ST y la de la derecha 11,2 y 4,4, respectivamente. La capacidad de producción estimada sería de 16,1 t/ha (izq) y 36,7 t/ha (der).

FIGURA 1.

Relación entre las producciones reales y las estimadas con el método en las 25 parcelas de validación.

**FIGURA 2.**

Carga de poda normal y producción potencial estimada con el método en función del grado de ocupación del terreno.



Modelo para la determinación del peso de los corimbos

El peso de los corimbos quedaba bien explicado a partir de la carga de flor de la parcela (DFS) y de la carga de fruta de los árboles (CFT), por medio de la **expresión 2**.

Expresión 2.

$$Pm\ Cbo\ (g) = 319,54 - 1,60 * DFS - 35,45 * CFT \quad (R^2=0,68 \ P<0,0001)$$

Ambos parámetros, como es lógico, influyen negativamente sobre el peso final de los frutos pero la carga dejada en poda (DFS) resultó influir sobre el peso final de los corimbos unas tres veces más que la cantidad de corimbos con fruta. Lo anterior pone de manifiesto la gran influencia que tiene el crecimiento inicial (durante las 7-9 primeras semanas) sobre el tamaño final de los frutos y, por tanto, que es de gran importancia fijar bien los criterios de poda al objeto de ajustar adecuadamente ésta con las posibilidades del árbol.

Estimación de la producción potencial de árboles de peral Conferencia

De acuerdo con las relaciones anteriores, la producción potencial de un árbol de esta variedad se puede estimar por la **expresión 3**.

Expresión 3.

$$\text{Prod. Potencial (kg/arb)} = \text{Sección de tronco (cm}^2\text{)} * DFT \ (\text{n}^{\circ} \text{ de Cbos/cm}^2 \text{ ST}) * \%CF * Pm\ Cbo\ (g) * 10^{-5}$$

En la **figura 1** se representa la relación entre las producciones reales y las que el método estimaba en las 25 parcelas de validación y se puede observar la fiabilidad del método puesto que, además de que la relación tenía un alto coeficiente de determinación ($R^2=0,70$), la producción esperada en cada parcela difirió menos del 15% de la que realmente se midió en recolección.

En la **figura 2** se muestra la carga de poda normal para cada nivel de ocupación del terreno y la producción que el método de estimación propuesto en este trabajo estima con dicha carga en función del valor de VP. Las mayores producciones potenciales se consiguen con árbo-

les cuyo tamaño sea el necesario para que el valor de VP esté entre los 12 y los 20 $\text{cm}^2 \text{ ST}/\text{m}^2$ superficie. El valor de VP depende mayoritariamente del patrón, de la edad y de la densidad de plantación. El intervalo óptimo de VP se alcanza antes conforme la densidad de plantación es mayor, pero también se sobrepasa antes y, además aumenta el

FERTILIZANTES Y PRODUCTOS FITOSANITARIOS

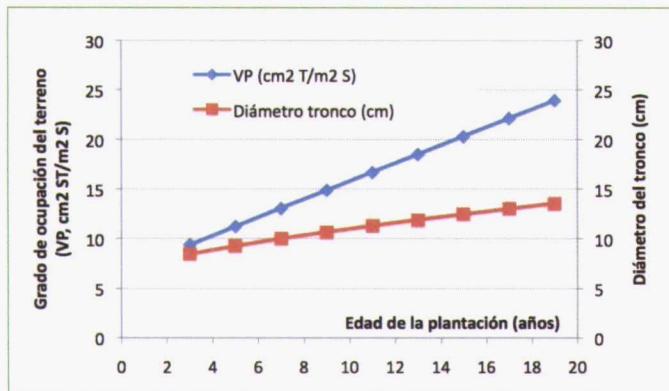
LUQSA
LERIDA UNION QUIMICA / SA

<http://www.luqsa.com>
info@luqsa.es

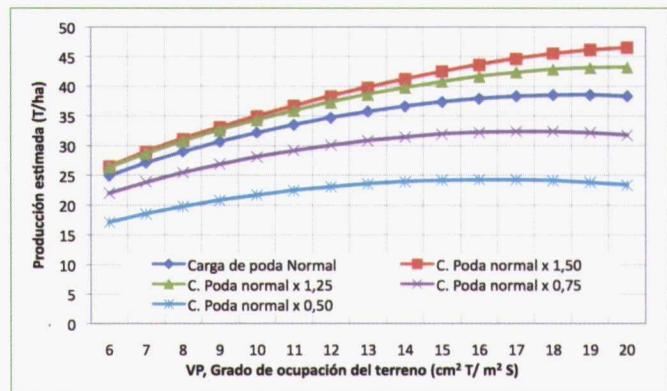
Afueras, s/n. 25173 SUDANELL (LLEIDA)
Tel. 973 25 82 56 - Fax 973 25 80 19

FIGURA 3.

Evolución normal del VP y el tamaño de los árboles durante la vida de plantaciones de Conferencia injertadas sobre BA 29 a una densidad de 6 m²/árbol.

**FIGURA 4.**

Producción potencial estimada en parcelas de Conferencia en función del grado de ocupación del terreno y la carga de flor.

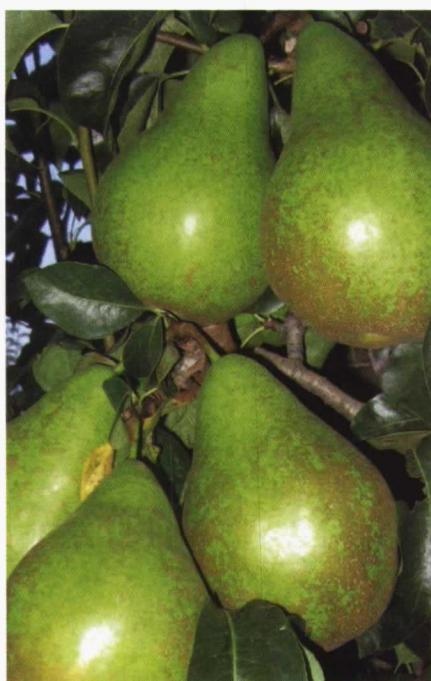


riesgo de desnudamiento de las partes bajas de los árboles y se hace más difícil dejar la carga de poda óptima.

En la **figura 3** se muestra la evolución normal del VP durante la vida de plantaciones de Conferencia injertadas sobre el patrón BA 29 a una densidad de 6 m²/árbol. Como se observa, el valor inferior del intervalo óptimo de VP se suele alcanzar a partir del quinto año y se mantiene en el rango óptimo en torno a los diez años.

En la ya referida **figura 2** también se indica la carga que suele ser suficiente para alcanzar la producción potencial y, como se observa, el número de flores que se deben dejar en poda por cada unidad de crecimiento del árbol (cm² de sección de tronco) es menor cuanto que el grado de ocupación del terreno es mayor puesto que las conducciones son más largas, y la proporción de copa peor iluminada es también mayor.

En la **figura 4** se muestra la influencia del valor de la carga de poda sobre la producción potencial y, para ello, se muestran las que corresponderían a niveles de carga comprendidos entre la mitad y 1,5 veces más de lo que sería normal para cada valor de VP. En dicha figura se observa que cuando se dejan cargas superiores a la normal, la producción potencial aumenta muy poco (apenas un 10% en las parcelas de vigor moderado y no más del 20% en las de mayor vigor). Sin embargo el efecto negativo de las cargas bajas es mucho mayor pues las producciones disminuyen casi linealmente con la falta de carga. Lo anterior



pone de manifiesto la conveniencia de ajustar la carga de poda a las posibilidades de la plantación puesto que si se sobrepasa respecto a la que se indica en la **figura 2**, se aumenta poco la producción de ese año y se corre el riesgo de influir negativamente sobre la producción del año siguiente e iniciar un proceso de vejería. En determinadas condiciones es posible que aunque haya un número de yemas suficiente, el de las que se deban dejar en la poda tenga que ser inferior al que se indica en este trabajo, puesto que pueden estar mal repartidas o asentadas sobre ramos de vigor insuficiente.

Los resultados de este trabajo son de aplicación general aunque la producción final real podrá alejarse de la estimada por el método propuesto en las plantaciones en las que se produzcan condiciones excepcionales. La producción será sobreestimada cuando se produzcan condiciones desfavorables (mala polinización, condiciones climáticas desfavorables, mal reparto de la carga de poda, mala calidad de la flor, etc.) o, por el contrario, se subestimarán en parcelas excepcionalmente buenas. En cualquier caso el método descrito propone el uso de unidades de medida homogéneas que pueden ser muy útiles para comparar potencialidades de parcelas diferentes, o para evaluar el efecto de circunstancias excepcionales (climáticas o de otro tipo) o de determinadas prácticas de cultivo sobre la producción final. ●

BIBLIOGRAFÍA

- PALMER, J.W., Y.L. CAI y J. EDJAMO. 1991. Effect of part-tree flower thinning on fruiting, vegetative growth and leaf photosynthesis in 'Cox's Orange Pippin' apple. *J. Hort. Sci.* 66: 319-325
- FAUST, M. 1989. Physiology of temperate zone fruit trees. Ed Wiley. New York.
- LAKSO, A.N. y BARNES, J. E. 1978. Apple leaf photosynthesis in alternating light. *HortScience* 13:473-474.
- MIRANDA, C. y J.B. ROYO. 2003. A statistical model to estimate potential yields in pear cultivars 'Blanquilla' and 'Conference' before bloom. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 128:452-457.
- NETER, J., M.H. KUTNER, C.J. NACHTSHEIN y W. WASSERMAN. 1996. Applied linear regression models. 3rd ed. Irwin. Homewood III.