

DESARROLLO DE UN MODELO MATEMÁTICO PARA CALCULAR LA CAPACIDAD PRODUCTIVA DE LOS OLIVOS EN AMBOS MARCOS

Comparación del potencial productivo de las plantaciones intensivas y superintensivas

Grupo de Investigación TAPC (España).

En este trabajo se ha desarrollado un modelo matemático que tiene en cuenta las características del desarrollo y del potencial de producción de las plantaciones de olivos, y se ha demostrado que las plantaciones superintensivas de olivar al cabo de muy pocos años alcanzan su máximo potencial productivo y no pueden sobrepasarlo incluso en los medios de cultivo más idóneos. En cambio, en medios de cultivo favorables, las plantaciones intensivas tienen mayor potencial productivo.

Los autores de este trabajo entienden por potencial productivo de un olivar su capacidad para producir cosecha, calculada como función lineal de la superficie exterior de la copa de los olivos. Por plantaciones intensivas de olivar, entienden aquéllas que se han realizado dirigiéndolas hacia la recolección de la aceituna con vibradores, y por plantaciones superintensivas, aquéllas que se han realizado pensando en la recolección de aceituna con vendimiadoras.

Relatan los impulsores de las plantaciones superintensivas que se pueden lograr, a muy corto plazo, producciones abundantes, que se puede conseguir la mecanización integral de la recolección de aceituna, que permiten reducir el empleo de mano de obra, que minimizan costes de cultivo, que hay clones especialmente adaptados para este tipo de plantaciones y que hay incluso variedades enanas, pero a nuestro juicio deberían añadir que:

- Llegar a muy corto plazo a conseguir producciones abundantes no es algo característico de las plantaciones superintensivas de olivar. Esto es lo que ha ocurrido siempre que los olivos se han plantado con gran densidad.
- Para poder cosechar con vendimiadora los olivos es necesario aplicarles una poda tan severa que les impide su normal vegetación.
- Que la vendimiadora tiene un elevado coste horario de funcionamiento.
- Las plantaciones superintensivas exigen una mano de obra especializada, lo que hace incómodo cultivar esos olivos, ya que si el agricultor tiene dificultades para encontrar personas para la recolección, más difícil será que encuentre podadores capaces de realizar una poda con los requerimientos específicos de estas plantaciones.
- En España la propagación del olivo es, y ha sido siempre, clonal, ya que los españoles para propagar olivos utilizamos propagación ve-



Plantaciones de tipo superintensivo.

getativa, con lo que se conservan los caracteres de la planta madre. Distinto es en Italia donde es frecuente propagar el olivo sobre patrones producidos a partir de semillas. Ahora bien, si se trata de que todos los olivos utilizados en una misma plantación proceden de una misma planta madre, no decimos que esto sea malo, pero tampoco podemos decir que esto sea lo mejor (olivos tan uniformes pueden dar graves problemas). Lo que realmente sería deseable, es poder asegurar que las características de las plantas utilizadas son tales que se distinguen positivamente de los demás olivos, incluso de los de su propia variedad y que presentan cualidades que justifican su venta como plantas especiales.

• Que los investigadores hayan obtenido plantas enanas representa un avance, pero para que merezca la pena utilizar plantas enanas en las plantaciones superintensivas deberían dar mayores producciones por metro cuadrado de superficie que recibe radiación solar y, en su desarrollo, no superar el tamaño del túnel de vareo de la cosechadora. Como estos detalles aún no están claros, habrá que esperar a ver qué pasa.

• Las plantaciones superintensivas tienen unos elevadísimos costes de implantación, una vida efímera y, lo que es peor, de los factores limitantes fundamentales para cualquier planta, agua, suelo y luz, al cabo de algunos años (muy pocos si el medio de cultivo es adecuado), la luz se convierte en un factor tan limitante que hace que los olivos de las plantaciones superintensivas compitan por ella, desequilibren su crecimiento, crezcan fundamentalmente en altura y, lo que es, si cabe, peor aún, hay que limitar su volumen, con lo que su potencial productivo está limitado por las dimensiones del túnel de vareo.

En este trabajo, se ha desarrollado un modelo matemático que tie-

Cuadro I.

Coefficientes de las ecuaciones MMF para cada volumen de copa considerado.

Volumen de copa	a	b	c	r ²
40 m ³	40,83	1.623,71	1,61	0,99
50 m ³	51,88	1.025,50	1,46	0,99
60 m ³	61,35	1.388,95	1,57	0,99

Cuadro II.

Evolución en el tiempo del volumen de copa en m³ de los olivos.

Años transcurridos	0	1	2	3	4	5	6	7
m ³ /olivo	0	0,2	0,8	3	11,3	27	37	40
	0	0,27	1,3	3,9	13,1	31	45	50
	0	0,31	1,3	5	16,8	40	55	60

Cuadro III.

Ecuaciones de cálculo utilizadas en función del desarrollo de los olivos.

Condición de desarrollo de los olivos	Ecuación de cálculo de la superficie externa
$(2 \cdot R \leq a; 2 \cdot R \leq d; 2 \cdot R < h)$	$S = 4 \cdot \pi \cdot R^2$
$(2 \cdot R > a; 2 \cdot R < d; 2 \cdot R < h)$	$S = 4 \cdot \pi \cdot R^2 - 2 \cdot 2 \cdot \pi \cdot r_{ca} \cdot h_{ca} + 2 \cdot \pi \cdot r_c^2$
$(2 \cdot R > a; 2 \cdot R > d; 2 \cdot R < h)$	$S = 2 \cdot (2 \cdot R \cdot d) + 2 \cdot (a \cdot d)$
$(2 \cdot R > a; 2 \cdot R < d; 2 \cdot R > h)$	$S = 2 \cdot (a \cdot h) + 2 \cdot (2 \cdot R \cdot h) + 2 \cdot (a \cdot 2 \cdot R)$
$(2 \cdot R > a; 2 \cdot R > d; 2 \cdot R > h)$	$S = 2 \cdot (d \cdot h) + 2 \cdot (a \cdot d)$

R: radio de la copa de los olivos.
r_{ca}: radio del casquete esférico.
a: anchura del túnel de la vendimiadora.
h_{ca}: altura del casquete esférico

d: mínima distancia entre olivos.
r_c: radio del círculo al quitar el casquete.
h: altura del seto.

ne en cuenta las características del desarrollo y del potencial de producción de las plantaciones de olivos, y se ha demostrado que las plantaciones superintensivas de olivar al cabo de muy pocos años, alcanzan su máximo potencial productivo y no pueden sobrepasarlo incluso en los medios de cultivo más idóneos. En cambio, las plantaciones intensivas, en medios de cultivo favorables, tienen mayor potencial productivo. En el modelo matemático desarrollado solamente se ha considerado la capacidad productiva de los olivos. Si la reducción de cosecha que produce la poda que requieren las plantaciones superintensivas se hubiese tenido en cuenta los resultados serían aún más favorables para las plantaciones intensivas.

Materiales y métodos

Para establecer el modelo matemático de cálculo se han tenido en cuenta los siguientes aspectos.

Volumen de copa/ha y años necesarios para el desarrollo

El volumen que alcanzan los olivos al final de su desarrollo depende, entre otros, de factores edáficos, climáticos y de cultivo, es decir, del medio de cultivo. Para el trabajo se han considerado tres volúmenes de copa: 40, 50 y 60 m³/olivo, y un período de 7 años para que los olivos alcancen su pleno desarrollo.

Las curvas de crecimiento de los olivos, como en tantos fenómenos biológicos, se han considerado del tipo logístico y entre ellas se ha op-

tado por la de Morgan-Mercer-Freeman (MMF) (**ecuación 1**)

$$y = \frac{a}{1 + b \cdot e^{-cx}} \quad \text{siendo: } \begin{matrix} x = \text{edad de plantación en años} \\ y = \text{volumen de copa en m}^3 \end{matrix}$$

Los coeficientes utilizados para obtener un valor de r²>0,99 han sido los que se presentan en el **cuadro I**.

De las ecuaciones anteriores con sus respectivos coeficientes se han obtenido los valores que representan la evolución en el tiempo del volumen de copa de los olivos (**cuadro II**).

Las representaciones gráficas de la evolución anual del volumen de los olivos considerados son las se muestran en la **figura 1**.

Producción del olivar

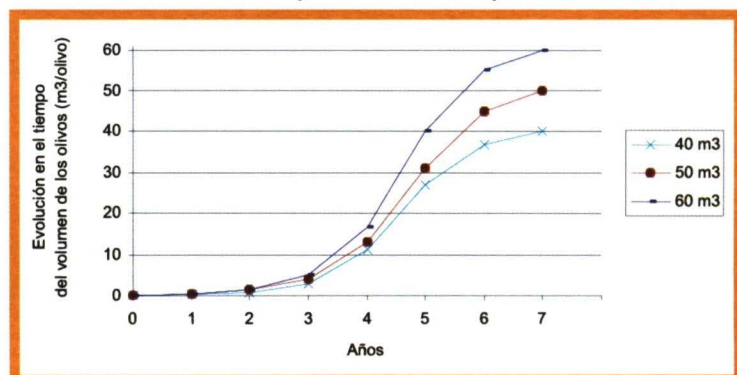
Se ha considerado que los olivos tienen una producción anual media de 0,5 kg de aceituna/m² de superficie exterior de copa.



Detalles de jóvenes plantaciones superintensivas.

Figura 1.

Curvas de evolución en el tiempo del volumen de copa de los olivos en m³.



Superficie exterior de la copa de los olivos

En los cálculos realizados se ha considerado que:

- Los olivos, si no se interfieren unos con otros, tienen tendencia natural a crecer como esferas y cuando los olivos no compiten por la luz y el número de olivos/ha es alto la superficie de captación de la radiación solar es muy elevada, lo que explica que las plantaciones superintensivas alcancen rápidamente producciones/ha con valores muy elevados.

- En las plantaciones superintensivas, al crecer los olivos, si el diámetro de la copa es menor que la mitad de la distancia entre los troncos y menor que la mitad de la anchura del túnel de vareo, se desarrollan con forma de esfera.

- En dichas plantaciones cuando el diámetro de la copa es mayor que la anchura del túnel de vareo, hay que podarlos para que las ramas no sobrepasen el límite permitido por la vendimiadora.

- Cuando dicho diámetro alcanza valores que superan la distancia entre los troncos, las ramas de los árboles empiezan a invadir el espacio natural de desarrollo de sus olivos vecinos, lo que hace que disminuya su superficie de captación de la radiación solar y, por tanto, que se reduzca su potencial productivo.

- Puede ocurrir que el diámetro de la copa sea mayor que la anchura del túnel y mayor que la distancia entre troncos, pero menor que la altura del túnel.

- Cuando la altura de los olivos supera la máxima que permite a la vendimiadora circular sobre ellos sin romper las ramas más altas y el diámetro es mayor que la anchura del túnel y/o mayor que la distancia entre troncos, hay que podarlos y conformarlos en seto. En este caso se hace necesario realizar podas que limiten su crecimiento, lo que impide que los olivos crezcan y florezcan normalmente y actúa en detrimento del potencial productivo.

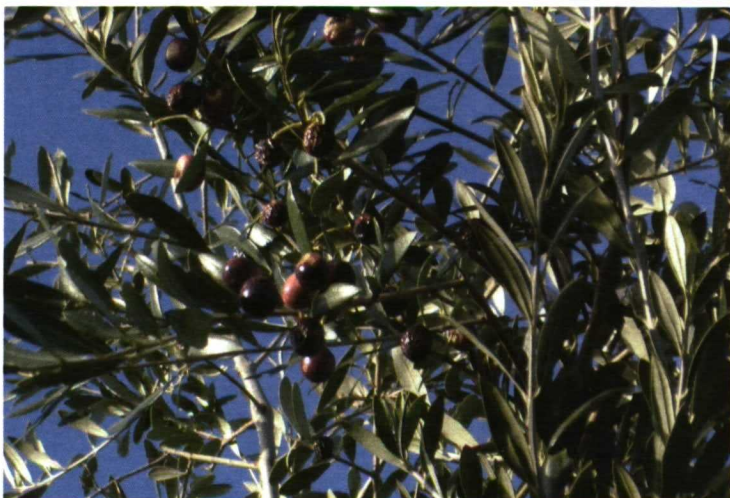
- Todos los cálculos se han realizado utilizando un programa informático desarrollado por los autores usando la hoja de cálculo Excel. Se han utilizado en función del desarrollo de los olivos las ecuaciones de cálculo de la superficie externa que se presentan en el **cuadro III**.



Detalle para valorar el tamaño de los olivos de las plantaciones superintensivas.

Recolección de aceituna con vibradores de troncos de paraguas invertido

Un vibrador puede vibrar con alta eficacia (superior al 90% de caída del fruto) olivos formados a un pie, con dos o tres ramas principales erguidas y con un volumen de copa que no debe superar 60 m³ para que su masa no supere la máxima tolerada por los vibradores, para que las



Aceituna caída al suelo (arriba) y restos de aceitunas que quedan en las zonas altas del árbol (abajo).

Cuadro IV.

Marcos de plantación considerados en las plantaciones intensivas.

Marco de plantación (m)	Número de olivos/ha
7 x 6	238
7 x 5,5	260
7 x 5	286

Cuadro V.

Marcos de plantación considerados en las plantaciones superintensivas.

Marco de plantación (m)	Olivos/ha
4 x 2	1.250
3,5 x 2	1.429
3,5 x 1,5	1.905

Cuadro VI.

Evolución de la productividad potencial de los olivos en kg/ha con volumen de copa de 40 m³/olivo.

Año	Intensivas			Superintensivas		
	Marcos de plantación			Marcos de plantación		
	7 x 6 m	7 x 5,5 m	7 x 5 m	4 x 2 m	3,5 x 2 m	3,5 x 1,5 m
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	200,89	219,15	241,07	1.054,67	1.205,34	1.607,12
2	501,55	547,15	601,86	2.633,15	3.009,32	4.012,42
3	1.199,99	1.309,08	1.439,99	7.478,81	8.547,22	8.690,85
4	2.879,45	3.141,21	3.455,34	8.125,00	9.285,71	9.285,71
5	5.116,55	5.581,69	6.139,86	8.125,00	9.285,71	9.285,71
6	6.299,27	6.871,93	7.559,13	8.125,00	9.285,71	9.285,71
7	6.631,88	7.234,78	7.958,26	8.125,00	9.285,71	9.285,71

Cuadro VII.

Evolución de la productividad potencial de los olivos kg/ha con volumen de copa de 50 m³/olivo.

Año	Intensivas			Superintensivas		
	Marcos de plantación			Marcos de plantación		
	7 x 6 m.	7 x 5,5 m.	7 x 5 m.	4 x 2 m.	3,5 x 2 m.	3,5 x 1,5 m.
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	244,89	267,16	293,87	1.285,69	1.469,36	1.959,15
2	691,00	753,82	829,20	3.893,06	4.449,21	5.932,28
3	1.426,86	1.556,57	1.712,23	8.924,85	10.199,83	9.153,52
4	3.174,51	3.463,10	3.809,41	8.125,00	9.285,71	9.285,71
5	5.605,00	6.114,55	6.726,00	8.125,00	9.285,71	9.285,71
6	6.740,85	7.353,65	8.089,02	8.125,00	9.285,71	9.285,71
7	7.684,18	8.382,74	9.221,01	8.125,00	9.285,71	9.285,71

Cuadro VIII.

Evolución de la productividad potencial de los olivos en kg/ha con volumen de copa de 60 m³/olivo.

Año	Intensivas			Superintensivas		
	Marcos de plantación			Marcos de plantación		
	7 x 6 m.	7 x 5,5 m.	7 x 5 m.	4 x 2 m.	3,5 x 2 m.	3,5 x 1,5 m.
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	268,27	292,66	321,93	1.408,43	1.609,63	2.146,18
2	691,00	753,82	829,20	3.893,06	4.449,21	5.932,28
3	1.681,11	1.833,94	2.017,34	8.125,00	9.285,71	9.285,71
4	3.740,95	4.081,03	4.489,13	8.125,00	9.285,71	9.285,71
5	6.631,88	7.234,78	7.958,26	8.125,00	9.285,71	9.285,71
6	8.183,08	8.926,99	9.819,69	8.125,00	9.285,71	9.285,71
7	8.666,77	9.454,65	10.400,12	8.125,00	9.285,71	9.285,71

ramas no lleguen a tocarse y para que el paraguas del vibrador pueda evolucionar con facilidad durante la recolección (**foto 5**). Para ello la mínima distancia entre olivos debe ser de unos 5 m y, para una cómoda conducción de la máquina, la anchura de calles debe ser de unos 7 m.

Para establecer comparaciones entre las plantaciones intensivas y superintensivas se han utilizado, en el caso de olivos recogidos con vibrador, los marcos de plantación que se presentan en el **cuadro IV**.

Recolección de aceituna con vendimiadoras

Una vendimiadora permite varear olivos, conformados mediante una poda drástica cuya anchura no debe superar 1,25 m, cuya altura máxima no debe superar 2,5 m y cuya altura de tronco debe ser de 0,5 m. La anchura de calles utilizada en los cálculos, considerada como necesaria para un cómodo manejo de la máquina, ha sido de 4 y de 3,5 m.

Para establecer las referidas comparaciones se han utilizado, en el



Detalle de vibrador con paraguas invertido.

caso de olivar superintensivo, los marcos de plantación que se presentan en el **cuadro V**.

Resultados y discusión

La aplicación del modelo matemático desarrollado ofrece los siguientes resultados, en cuanto al potencial productivo de los olivos:

- Olivos con volumen de copa de 40 m³/olivo (**cuadro VI**).
- Olivos con volumen de copa de 50 m³/olivo (**cuadro VII**).
- Olivos con volumen de copa de 60 m³/olivo (**cuadro VIII**).

Conclusiones

Potencial productivo

Sólo en medios de cultivo pobres (olivos de pequeño volumen de copa) y cuando la densidad de las plantaciones intensivas es baja las plantaciones superintensivas tienen mayor potencial productivo.

Con las plantaciones superintensivas de olivar es posible lograr a muy corto plazo producciones mucho más altas que las que se alcanzan con las plantaciones intensivas.

A partir del cuarto año, las plantaciones superintensivas alcanzan su máximo potencial productivo, en cambio el de las plantaciones intensivas sigue aumentando.

Necesidad de mano de obra

Pasado el tercer año, las plantaciones superintensivas requieren fuertes intervenciones con la poda, que no son necesarias aplicar en las plantaciones intensivas. Esto, además de que no minimiza los costes de cultivo, se convierte en un importante problema, de mano de obra y en pérdida de cosecha al cortar los brotes del año anterior.

Conclusión general

Sólo en medios de cultivo en los que los olivos no pueden superar volúmenes de 50 m³/olivo el potencial productivo de las plantaciones intensivas es menor que el de las superintensivas. ■

El grupo de investigación TAPC está formado por:

Andrés Porras Piedra, Ignacio Marcilla Goldaracena, Andrés Porras Soriano, Manuel León Egido, Ángel Redondo García, Manuel Tarifa Crespo, Ana María Marcilla Goldaracena y Juan Antonio Campos Gallego.