

B-11-2023

Comunicación científico-técnica

Estimación del coeficiente de cultivo basal de una plantación joven de almendros a partir de la cobertura vegetal y la altura

Estimation of the basal crop coefficient of a young almond orchard based on canopy cover and height

López-Urrea, R.^{1*}; Montoya, F.¹; Simón, LL.¹; Valentín, F.¹; González-Piqueras, J.²; Sánchez, J.M.²

¹Instituto Técnico Agronómico Provincial de Albacete, Parque Empresarial Campollano, 2ª Avda. Nº61, 02007 Albacete. *email: rlu.itap@dipualba.es

²Universidad de Castilla-La Mancha, Instituto de Desarrollo Regional, Campus Universitario s/n, 02071 Albacete.

Resumen: En los últimos años se está produciendo un crecimiento significativo de la superficie cultivada de almendros en zonas áridas y semiáridas de la cuenca Mediterránea con escasez de recursos hídricos. Este crecimiento está siendo exponencial en algunas zonas de España, como es el caso de Castilla-La Mancha. Las principales razones han sido la mecanización de la recolección, un considerable incremento de la demanda global, que ha llevado a un aumento gradual del precio pagado al agricultor, y la introducción de nuevas variedades de floración tardía y extra-tardía que reducen el riesgo de pérdidas de producción por heladas primaverales. Muchas de estas nuevas plantaciones se cultivan en condiciones de regadío, por lo que la determinación precisa de los coeficientes de cultivo es necesario para optimizar la programación del riego e incrementar la eficiencia en el uso del agua de este cultivo. El objetivo de este estudio fue estimar los valores del coeficiente de cultivo basal, K_{cb} , (componente transpirativa) para una plantación joven de almendros regados por goteo al 100% de sus necesidades hídricas y sin ningún otro tipo de estrés. Para ello, se utilizó la metodología propuesta por Allen&Pereira (2009), basada en medidas de la fracción de suelo cubierta por vegetación (f_c) y la altura del cultivo (h). El experimento se llevó a cabo durante tres campañas consecutivas (2019-2021) en una parcela comercial de 12,5 ha de almendros (*Prunus dulcis* (Mill.) D.A. Webb) localizada en Hellín (Albacete). Los árboles de la variedad 'Penta' se injertaron sobre el patrón GF-677 en 2018. El marco de plantación fue de 6 m entre filas de árboles y 5 m entre plantas de la misma fila, dando lugar a 333 árboles ha⁻¹. Las medidas de f_c y h se llevaron a cabo cada 15 días a lo largo de las tres campañas experimentales. Los valores directamente medidos de f_c se convirtieron a valores de fracción de cobertura efectivos ($f_{c\text{eff}}$) a

partir del ángulo de inclinación del sol (β) cerca del mediodía solar. Los valores medios de $f_{c\text{ eff}}$ durante la fase de mitad de temporada variaron entre 0,16 en 2019 y 0,38 en 2021, mientras que la altura media en esta fase osciló entre 2,36 m en 2019 y 3,45 m en 2021. Estos valores de $f_{c\text{ eff}}$ y h dieron lugar a unos valores medios del coeficiente de cultivo basal en la fase de mediados de temporada ($K_{cb\text{ mid}}$) de 0,30 en 2019, 0,45 en 2020 y 0,55 en 2021. Los valores de $K_{cb\text{ mid}}$ fueron ajustados a las condiciones climáticas templadas estándar (humedad relativa mínima del 45% y velocidad del viento de 2 m s^{-1}), lo que permite transferirlos a otras zonas con condiciones climáticas diferentes.

Palabras clave: Método de Allen&Pereira, fracción de cobertura efectiva, programación de riegos, coeficiente de densidad, condiciones climáticas estándar.

Abstract: In recent years, there has been a significant growth in irrigated almond orchards planted in arid and semiarid areas of the Mediterranean basin with water resources scarcity. This growth is being exponential in some areas of Spain, such as Castilla-La Mancha. The main reasons have been mechanization of harvesting, a considerable increase in global demand, which has led to a gradual increase in prices paid to the grower, and the introduction of new cultivars of late and extra-late flowering, which reduces the risk of production loss because of spring frost. Many of these new orchards are grown under irrigated conditions, thus, estimating accurate crop coefficients becomes critical for optimizing the irrigation scheduling and improving water use efficiency of this fruit tree. The goal of this study was to estimate the basal crop coefficient (K_{cb}) values (crop transpiration) of drip-irrigated young almond trees under non-limiting soil water content conditions and without any further stress. This was done using the methodology proposed by Allen and Pereira (2009) (hereafter, A&P approach), based on measurements of fraction of ground covered by the canopy (f_c) and tree height (h) (approach proposed by Allen and Pereira (2009)). A field experiment was carried out during three consecutive seasons (2019-2021) in a ~12.5 ha commercial young almond (*Prunus dulcis* (Mill.) D.A. Webb) orchard located in Hellín, Albacete (SE Spain). Almond trees were planted in 2018 with 'Penta' grafted onto the GF-677 rootstock. Tree spacing was 5 m (within row) and 6 m (inter-row), resulting in 333 trees ha^{-1} . Field measurements of f_c and h were performed periodically (every 15-day) during the three experimental seasons. The f_c values as measured from directly overhead were converted to the effective fraction of ground covered by vegetation ($f_{c\text{ eff}}$) using the mean angle of the sun above the horizon (β) near solar noon. Average values of $f_{c\text{ eff}}$ during mid-season stage ranged between 0,16 in 2019 and 0,38 in 2021, whereas average h values for this stage ranged between 2,36 and 3,45 m in 2019 and 2021, respectively. These values of $f_{c\text{ eff}}$ and h resulted in average mid-season basal crop coefficients ($K_{cb\text{-mid}}$) of 0,30 in 2019, 0,45 in 2020 and 0,55 in 2021. $K_{cb\text{ mid}}$ values were adjusted to the standard temperate climate conditions (i.e., minimum relative humidity (RH_{min}) of 45 % and wind speed (u_2) of 2 m s^{-1}), making it possible to transfer them to other areas under different weather conditions.

Keywords: Allen&Pereira approach, effective canopy cover, irrigation scheduling, density coefficient, standard climate conditions

A-17-2021

Scientific-technical communication

1. Introducción

En los últimos años, la superficie mundial cultivada de almendros se ha expandido significativamente por varias razones, incluyendo la mecanización de la cosecha, un aumento considerable de la demanda mundial, lo que ha llevado a un aumento gradual de los precios pagados al productor (Goldhamer y Fereres, 2017), y la introducción de nuevos cultivares de floración tardía, lo que reduce el riesgo de pérdida de producción debido a heladas primaverales. En todo el mundo se cultivan más de 2,2 millones de ha de almendros, siendo España el país líder con más de 744.000 ha, seguido de los Estados Unidos de América (EE. UU.) con unas 534.000 ha. Sin embargo, EE.UU. es el primer productor mundial de almendra con una cuota del 55% de la producción mundial en 2021, mientras que en España esta cuota es del 9%. Esto se debe a que, aunque la superficie de regadío en España casi se ha triplicado en los últimos 5 años, las plantaciones tradicionales de secano de bajo rendimiento siguen representando más del 80% de la superficie cultivada (MAPA, 2021). Esto explica por qué los rendimientos medios de almendra sin cáscara en España son muy inferiores ($0,49 \text{ t ha}^{-1}$) a los de EE.UU. ($4,10 \text{ t ha}^{-1}$) (FAOSTAT, 2022), donde la mayoría de las plantaciones de almendro son regadas sin déficit y se manejan en condiciones óptimas. En la región de Castilla-La Mancha (es decir, la zona de estudio), la superficie cultivada de almendro ha crecido exponencialmente, alcanzando las 141.000 ha en 2020, de las cuales sólo el 17% son de regadío. Sin embargo, la mayoría de las nuevas plantaciones se cultivan en zonas tradicionales de regadío, sustituyendo a cultivos de regadío menos rentables (Mirás-Avalos et al., 2023).

En zonas áridas y semiáridas con escasez de recursos hídricos, crecimiento demográfico y creciente competencia por el agua con otros sectores, como el industrial y el urbano, la mejora de la gestión del agua en un cultivo como el almendro es necesario. Además, en un escenario global de cambio climático, esta situación parece empeorar, debido principalmente al aumento de las temperaturas, la disminución de las precipitaciones anuales y el aumento del número de fenómenos meteorológicos extremos (IPCC, 2022). En este contexto, en la zona de estudio, donde los recursos hídricos (principalmente subterráneos) son limitados y se encuentran en grave riesgo de sobreexplotación, en muchos casos no es posible aplicar regímenes de riego que cubran las necesidades hídricas potenciales del cultivo del almendro. Por ello, medir o estimar la evapotranspiración del cultivo del almendro (ET_c), y derivar sus coeficientes de cultivo con la mayor precisión posible, se convierte en un objetivo clave para optimizar la programación del riego de este árbol frutal.

En la última década, algunos estudios se han centrado en la medición de las necesidades hídricas del almendro (Stevens et al., 2012; López-López et al., 2018), sin embargo, los estudios en plantaciones de almendros jóvenes y nuevos cultivares de floración tardía y extra-tardía son escasos (Sánchez et al., 2021). La ET_c suele calcularse con el método estándar del manual FAO56 (Allen et al., 1998), basado en el producto de la evapotranspiración del cultivo de

referencia (hierba) (ET_0) y un coeficiente de cultivo único (K_c) o dual; este último distingue entre la transpiración de la planta (coeficiente de cultivo basal, K_{cb}) y la evaporación del suelo (coeficiente de evaporación, K_e). Posteriormente, Allen y Pereira (2009) desarrollaron un método para estimar los coeficientes de cultivo a partir de la fracción de suelo cubierta por vegetación (f_c) y la altura (h), conocido como método A&P, que funciona especialmente bien para árboles frutales y viñedos. Recientemente, este método fue validado y parametrizado utilizando datos observados y de teledetección (Pereira et al. 2020, 2021a).

El objetivo de este estudio fue estimar los valores del coeficiente de cultivo basal de almendros jóvenes regados por goteo en condiciones estándar (sin ningún tipo de estrés), basándose en mediciones de la fracción de suelo cubierta por el dosel vegetal (f_c) y la altura del árbol (h), con el fin de optimizar la programación del riego y hacer un uso más eficiente y sostenible del agua.

2. Materiales y métodos

Descripción de la zona de estudio

Este estudio se llevó a cabo durante tres campañas consecutivas (2019-2021) en una plantación comercial de almendro joven de 12,5 ha situado en Albacete (SE de España) ($38^{\circ} 29' N$, $1^{\circ} 47' O$, 550 m s.n.m.). El clima es mediterráneo templado semiárido con predominio de veranos secos y cálidos. La precipitación media anual histórica es de unos 320 mm y la ET_0 acumulada anual es de unos 1259 mm. El suelo está clasificado como Aridisol con textura franca (Soil Survey Staff, 2014). La profundidad media del suelo de la parcela de almendros es de 1,2 m. La superficie de la parcela de almendros se mantuvo con suelo desnudo. El laboreo del suelo se realizó con diferentes pases de cultivador a lo largo de las campañas experimentales, siendo la profundidad de laboreo de unos 10 cm. El espacio entre árboles se mantuvo sin malas hierbas utilizando herbicida. Los almendros (*Prunus dulcis* (Mill.) D.A. Webb) se plantaron en 2018 con el cv. Penta injertado sobre el patrón GF-677. La distancia entre árboles fue de 5 m (dentro de la hilera) y 6 m (entre hileras), resultando 333 árboles ha^{-1} . Durante el experimento se suministró riego por goteo superficial en determinadas sub-parcelas y en otras, riego por goteo subterráneo.

Las condiciones meteorológicas durante los 3 años del experimento se midieron con una estación agrometeorológica situada en la parcela experimental. Se midieron las siguientes variables: temperatura y humedad relativa del aire (modelo HC2A-S3, Campbell Scientific Instrument, Logan, UT, EE.UU.), velocidad y dirección del viento (modelo 03002-Wind-Sentry, R.M. Young, Traverse City, MI, EE.UU.), radiaciones de onda corta incidente y reflejada (modelo CM14, Kipp & Zonen, Delft, Países Bajos) y de onda larga descendente y ascendente (modelo CG2, Kipp & Zonen, Delft, Países Bajos), y la precipitación (modelo 52203 Rain Gauge, R.M. Young, Traverse City, MI, EE.UU.). Todos los datos meteorológicos se almacenaron en un data-logger CR1000 (Campbell Scientific, Inc., Logan, Utah, EE.UU.). Además, los valores de ET_0 se calcularon diariamente con la ecuación FAO56 Penman-Monteith (Allen et al. 1998), utilizando los datos climáticos proporcionados por la estación meteorológica más cercana perteneciente al sistema español de información Agroclimática para el regadío (SIAR, 2022). El

presente estudio se realizó en el marco de un ensayo de riego llevado a cabo en una superficie de 0,9 ha dentro de la plantación comercial de almendros (Montoya et al., 2022).

Manejo del riego y determinaciones en suelo y árboles

El riego de la parcela se manejó para mantener un elevado contenido de agua en el suelo que evitase cualquier estrés hídrico; para ello, se llevó a cabo una programación diaria del riego basada en el balance de agua del suelo según el método FAO56. La evapotranspiración del cultivo (ET_c) se calculó multiplicando la evapotranspiración de referencia (ET_o) por un coeficiente de cultivo dual, compuesto por un coeficiente de cultivo basal (K_{cb}) que representa la transpiración del cultivo ($T_c = K_{cb} \times ET_o$) y un coeficiente de evaporación (K_e), que representa la evaporación del suelo ($E_s = K_e \times ET_o$) (Allen et al., 1998, 2005). Los valores de K_{cb} utilizados fueron: $K_{cb\ ini}$ (fase inicial): 0,15; $K_{cb\ mid}$ (fase media): 0,85 y $K_{cb\ end}$ (final de temporada): 0,35 (que representa el K_{cb} para un 50% de las hojas caídas). El K_{cb} medio se ajustó a las condiciones climáticas locales cuando se diferenciaron de las condiciones estándar (es decir, humedad relativa mínima (RH_{min}) del 45% y velocidad del viento (u_2) de 2 m s^{-1}), y se redujo utilizando el factor de sombreado (K_r) propuesto por Fereres et al. (1981).

El contenido volumétrico de agua del suelo se midió a 15, 30, 45 y 60 cm de profundidad con cuatro sensores FDR (modelo 10HS, Decagon Devices, WA, EE.UU.), instalados en cuatro puntos diferentes de la parcela y cerca de la línea de goteo. Todos los datos horarios se almacenaron en cuatro data-loggers (EM50, Decagon Devices, WA, EE.UU.).

Las determinaciones del potencial hídrico del tallo (Ψ_{tallo}) a mediodía se realizaron con una cámara de presión (modelo 600, PMS Instrument Company, Albany, OR, EE.UU.), calibrada antes del inicio de cada campaña, en una hoja de 16 árboles. Las mediciones se realizaron cerca del mediodía solar en hojas maduras situadas en el tercio superior del dosel vegetal, que se cubrieron con una bolsa de aluminio durante al menos una hora antes de ser arrancadas del árbol (Fulton et al., 2014). El número total de días de medición fue de 10, 12 y 9 en 2019, 2020 y 2021, respectivamente.

El estado fenológico de los árboles se determinó siguiendo la escala de Thomas (2018). Las observaciones se realizaron cada 10-15 días comenzando a finales de febrero hasta mediados de diciembre en cada ciclo vegetativo del cultivo. Las determinaciones de f_c se realizaron 9 veces a lo largo de cada ciclo de cultivo en 16 árboles cada día de medida. Se tomaron fotografías digitales al mediodía solar en vertical desde una altura aproximada de 3,0 m por encima de la copa del árbol. Se utilizó el software CANOPEO (Patrignani y Ochsner, 2015) para obtener el valor f_c de cada imagen. Además, se midió la altura del árbol (h) cada 10-15 días en los mismos 16 árboles durante las tres campañas.

Breve descripción del método de Allen&Pereira

Allen y Pereira (2009) propusieron un método (método A&P) para determinar los coeficientes de cultivo a partir de f_c y h . Según este método el K_{cb} puede expresarse en términos de un coeficiente de densidad (K_d) mediante la siguiente expresión:

$$K_{cb} = K_{c \min} + K_d(K_{cb \text{ full}} - K_{c \min}) \quad (1)$$

donde $K_{c \min}$ es el K_c basal mínimo para suelo desnudo ($K_{c \min} \sim 0,15$ en condiciones agrícolas típicas), $K_{cb \text{ full}}$ es el K_c basal estimado durante el pico de crecimiento de la planta en condiciones de cobertura casi total del suelo (o $LAI > 3$). K_d puede estimarse como una función de la fracción de suelo cubierto de la siguiente manera:

$$K_d = \min(1, M_L f_{c \text{ eff}}, f_{c \text{ eff}}^{(1/h)}) \quad (2)$$

donde $f_{c \text{ eff}}$ es la fracción efectiva de suelo cubierto por vegetación [0,01-1] cerca del mediodía solar, M_L es un multiplicador de $f_{c \text{ eff}}$ que describe el efecto de la densidad del dosel vegetal en el sombreado y en la evapotranspiración (ET) relativa máxima por fracción de suelo sombreado [1,0-2,0], y h es la altura media de los árboles en m. $f_{c \text{ eff}}$ se estimó utilizando la f_c medida y el ángulo medio del sol sobre el horizonte durante el periodo de ET máxima descrito por Allen et al. (1998).

$K_{cb \text{ full}}$ para su uso con la ET_o se puede estimar de la siguiente manera:

$$K_{cb \text{ full}} = F_r (\min(1 + 0.1h, 1.20) + [0.04(u_2 - 2) - 0.004(RH_{\min} - 45)](h/3)^{0.3}) \quad (3)$$

donde h es la altura máxima media de la planta en m, u_2 es el valor medio de la velocidad del viento a 2 m de altura durante la mitad de la estación en $m \text{ s}^{-1}$, RH_{\min} es el valor medio de la humedad relativa mínima diaria durante la fase de mediados de temporada en %, y F_r [0-1] es un factor de ajuste relativo al control estomático del cultivo. Una información más detallada del método A&P puede verse en Allen y Pereira (2009) y Pereira et al. (2020).

3. Resultados y discusión

Condiciones meteorológicas

La Tabla 1 muestra las condiciones meteorológicas para cada mes durante las campañas del cultivo de almendro (2019-2021). En general, los tres ciclos de cultivo en el sitio experimental fueron típicos de las condiciones meteorológicas medias históricas en el sureste de España, aunque las precipitaciones fueron especialmente intensas durante las tres campañas, siendo alrededor de un 28%, 68% y 32% más altas en 2019, 2020 y 2021, respectivamente, en comparación con la media de 20 años en la zona.

Tabla 1. Resumen de los datos meteorológicos medios mensuales durante los ciclos de crecimiento del almendro a lo largo de los tres años consecutivos del ensayo.

Año Mes	T _{med} (°C)	RH _{med} (%)	u ₂ (m s ⁻¹)	R _n (MJ m ⁻² d ⁻¹)	Precipitación* (mm)	ET _o (mm d ⁻¹)
2019						
Febrero	8,7	59,1	2,0	6,0	3,6	2,3
Marzo	11,1	51,8	1,8	7,8	15,0	3,1
Abril	12,8	65,8	2,2	7,9	136,0	3,1
Mayo	17,9	57,4	1,7	11,1	23,0	4,9
Junio	22,1	47,6	1,6	11,7	0,7	6,0
Julio	25,8	47,1	1,5	11,2	0,0	6,1
Agosto	25,3	56,4	1,2	10,4	14,5	5,3
Septiembre	21,1	71,2	1,1	7,4	114,7	3,4
Octubre	16,8	69,9	0,9	5,3	39,0	2,6
Noviembre	11,7	64,1	2,3	2,2	24,7	1,8
2020						
Febrero	11,0	70,5	1,7	5,7	0,2	2,1
Marzo	10,7	70,8	2,2	5,6	143,8	2,4
Abril	12,5	75,8	1,3	8,5	62,6	2,9
Mayo	17,9	63,4	1,3	12,4	53,0	4,5
Junio	22,3	52,6	1,2	14,2	4,3	5,6
Julio	25,1	57,0	1,1	14,6	3,8	5,8
Agosto	25,4	50,8	1,0	12,6	0,0	5,5
Septiembre	20,2	65,2	1,0	9,2	45,2	3,7
Octubre	14,9	65,0	1,0	5,9	16,0	2,6
Noviembre	15,0	64,7	0,3	5,5	120,0	1,3
2021						
Febrero	9,9	76,4	0,8	4,3	5,4	1,9
Marzo	10,7	70,1	1,0	7,4	25,6	2,5
Abril	12,9	78,2	0,9	9,7	42,0	2,7
Mayo	18,0	63,2	1,0	14,8	43,8	4,6
Junio	21,1	66,2	0,9	16,2	23,3	5,1
Julio	24,5	57,4	0,9	17,5	35,0	6,1
Agosto	24,9	62,3	0,8	13,3	6,6	5,0
Septiembre	21,3	72,8	0,7	10,7	119,6	3,5
Octubre	16,9	74,5	0,8	6,7	25,4	2,0
Noviembre	10,7	63,9	1,6	3,3	26,9	1,5

T_{med} es la temperatura media del aire, RH_{med} es la humedad relativa media, u₂ es la velocidad del viento medida a 2 m, R_n es la radiación neta, * es la precipitación total mensual, ET_o es la evapotranspiración de referencia calculada con la ecuación PM de la FAO56.

La Figura 1 muestra la evolución de los valores de $f_{c\text{ eff}}$ a lo largo de cada ciclo de crecimiento. En las tres campañas se observa un aumento de $f_{c\text{ eff}}$ hasta finales de julio o principios de agosto y posteriormente comienza a disminuir, coincidiendo con la senescencia de los árboles. Los valores máximos de $f_{c\text{ eff}}$ alcanzados fueron 0,20, 0,28 y 0,41 en 2019, 2020 y 2021, respectivamente. La Figura 2 muestra la evolución de la altura de los árboles para las tres campañas experimentales. Los valores máximos de h alcanzados fueron 2,65, 3,40 y 3,55 m en 2019, 2020 y 2021, respectivamente. Los valores de $f_{c\text{ eff}}$ y h no mostraron diferencias

significativas entre el sistema de riego superficial (SUP) Y subterráneo (SUB) a lo largo de las tres campañas experimentales, por lo que los valores estimados de K_{cb} fueron los mismos para ambos sistemas de riego por goteo, tal y como se muestra en la Tabla 2.

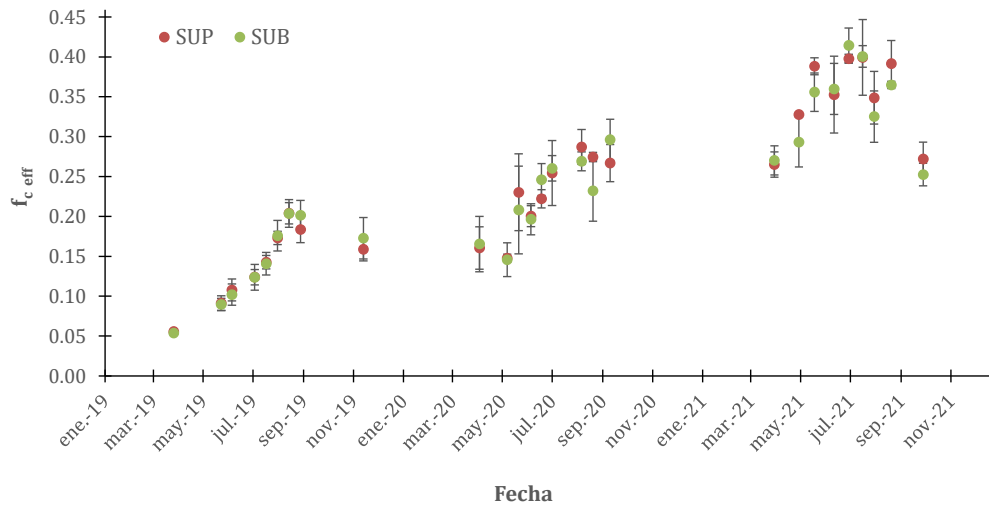


Figura 1. Evolución de la fracción efectiva de suelo cubierta por vegetación ($f_{c\text{ eff}}$) a lo largo de los tres ciclos de cultivo. Las barras verticales representan la desviación estándar de las observaciones. SUP: goteo superficial; SUB: goteo subterráneo.



Figura 2. Evolución de los valores de altura de los árboles a lo largo de las tres campañas (2019-2021). Las barras verticales representan la desviación estándar de las observaciones sobre el terreno. SUP: goteo superficial; SUB: goteo subterráneo.

Coeficiente de cultivo basal (K_{cb}) a partir de la fracción de cobertura y la altura

La Tabla 2 resume los valores de K_{cb} obtenidos para ambos sistemas de riego utilizando el método de A&P para las tres campañas de almendro, identificando las fases de crecimiento inicial, media y final del cultivo según el método FAO56 (Allen et al., 1998; Pereira et al., 2021b).

En las tres campañas estas fases se produjeron aproximadamente: inicial, desde principios de febrero hasta finales de marzo; fase media, desde principios de junio hasta la cosecha; y, final, desde la cosecha hasta octubre. Los valores máximos de K_{cb} se alcanzaron a mitad de temporada ($K_{cb\ mid}$) coincidiendo con los valores más altos de $f_{c\ eff}$ y h . Los promedios de $K_{cb\ mid}$ resultaron 0,30, 0,45 y 0,55 para las campañas 2019, 2020 y 2021, correspondiendo a valores de $f_{c\ eff}$ de 0,16, 0,26 y 0,38, respectivamente. Como era de esperar, los valores de $K_{cb\ ini}$, $K_{cb\ mid}$ y $K_{cb\ end}$ aumentaron cada año (1 a 3 años de edad de los árboles) a medida que los valores de $f_{c\ eff}$ y h fueron más altos. Estos valores están de acuerdo con los publicados por Espadafor et al. (2015) y son superiores a los mostrados por Sánchez et al. (2021) y Rallo et al. (2021) bajo diferentes condiciones de cultivo y variedades de almendro.

Tabla 2. Resumen de los coeficientes de cultivo basal (K_{cb}), cobertura efectiva del dosel vegetal ($f_{c\ eff}$), altura de los árboles (h), valores de M_L y F_r relativos a la estación inicial, media y final.

Año	$f_{c\ eff}$	h	M_L	F_r	K_{cb}
Etapas	(rango)	(rango)			(range)
2019					
Inicial	0,06	1,63	1,5	1,00	0,15
Media	0,16 (0,11-0,20)	2,36 (1,99-2,65)	1,3	1,00	0,30 (0,22-0,37)
Final	0,10	2,65	1,1	1,00	0,20*
2020					
Inicial	0,10 (0,06-0,12)	2,54	1,5	1,00	0,20 (0,16-0,27)
Media	0,26 (0,23-0,28)	3,22 (3,15-3,40)	1,3	1,00	0,45 (0,41-0,49)
Final	0,20	3,30	1,1	1,00	0,30*
2021					
Inicial	0,13 (0,09-0,17)	3,06	1,5	0,85	0,25 (0,19-0,31)
Media	0,38 (0,35-0,41)	3,45 (3,30-3,55)	1,4	0,75	0,55 (0,49-0,57)
Final	0,30	3,55	1,1	0,75	0,35*

* Los valores finales representan el valor de K_{cb} antes de la caída de la hoja.

4. Conclusiones

El método de A&P se utilizó para estimar los coeficientes de cultivo basales de una plantación joven de almendros regada por goteo (superficial y subterráneo) en el sureste de España, bajo condiciones climáticas mediterráneas semiáridas. Los resultados obtenidos son alentadores, por lo que podemos concluir que este método es especialmente interesante para estimar valores de K_{cb} en árboles frutales y vid, siendo útil para afinar el K_{cb} para diferentes condiciones de marco de plantación, tamaño y densidad de plantas que difieren de los valores estándar. Es necesario seguir investigando para validar nuestros resultados utilizando observaciones sobre el terreno y/o datos de teledetección.

5. Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por la Consejería de Educación, Cultura y Deporte (JCCM, España) (proyecto SBPLY/21/180501/000070) y la Agencia Estatal de Investigación (proyecto TED2021-130405B-I00) con co-financiación NextGenerationEU.

Referencias

- Allen, R.G.; Pereira, L.S.; Raes, D.; Smith, M. Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 56, 1998. (Rome, Italy: FAO), pp.300.

2. Allen, R.G.; Pereira, L.S.; Smith, M.; Raes, D.; Wright, J.L. FAO-56 dual crop coefficient method for estimating evaporation from soil and application extensions. *J. Irrig. Drain. Eng.*, 2005. 131 (1), 2–13.
3. Allen, R.G.; Pereira, L.S. Estimating crop coefficients from fraction of ground cover and height. *Irrig. Sci.*, 2009. 28, 17-34.
4. Espadafor, M.; Orgaz, F.; Testi, L.; Lorite, I.J.; Villalobos, F.J. Transpiration of young almond trees in relation to intercepted radiation. *Irrig. Sci.*, 2015. 33, 265-275.
5. FAOSTAT (2022). Food and Agriculture Organization of the United Nations. Statistic Division. Available online <https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL>
6. Fereres, E.; Pruitt, W.O.; Beutel, J.A.; Henderson, D.W.; Holzapfel, E.; Shulbach, H.; Uriu, K. ET and drip irrigation scheduling. p.8-13. In: E. Fereres (ed.), *Drip Irrigation Management*. University of California, Div. of Agric. Sci., 1981. No 21259.
7. Fulton, A.; Grant, J.; Buchner, R.; Connell, J. Using the Pressure Chamber for Irrigation Management in Walnut, Almond and Prune; University of California, Agriculture and Natural Resources: Davis, 2014. CA, USA.
8. Goldhamer, D.A.; Fereres, E. Establishing an Almond Water Production Function for California Using Long-Term Yield Response to Variable Irrigation. *Irrig. Sci.*, 2017. 35, 169–179.
9. IPCC (2022). Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change 2022. Impacts, Adaptation and Vulnerability. Summary for Policymakers. IPCC 2022, 3676 pp.
10. López-López, M.; Espadafor, M.; Testi, L.; Lorite, I.J.; Orgaz, F.; Fereres, E. Water requirements of mature almond trees in response to atmospheric demand. *Irrig. Sci.*, 2018. 36, 271–280.
11. MAPA, 2021. Anuario de Estadística (2021). Available online <https://www.mapa.gob.es/es/estadistica/temas/publicaciones/anuario-de-estadistica/2021/default.aspx>.
12. Mirás-Avalos, J.M.; Gonzalez-Dugo, V.; García-Tejero, I.F.; López-Urrea, R.; Intrigliolo, D.S.; Egea, G. Quantitative analysis of almond yield response to irrigation regimes in Mediterranean Spain, *Agricultural Water Management*, 2023. 279, 108208.
13. Montoya, F.; Sánchez, J.M.; González-Piqueras, J.; López-Urrea, R. Is the Subsurface Drip the Most Sustainable Irrigation System for Almond Orchards in Water-Scarce Areas? *Agronomy*, 2022. 12, 1778.
14. Patrignani, A.; Ochsner, T.E. Canopeo: A Powerful New Tool for Measuring Fractional Green Canopy Cover. *Agron. J.*, 2015. 107, 2312–2320.
15. Pereira, L.S.; Paredes, P.; Melton, F.; Wang, T.; Johnson, L.; López-Urrea, R.; Cancela, J.; Allen, R. Prediction of crop coefficients from fraction of ground cover and height. Background and validation using ground and remote sensing data. *Agric. Water Manage.*, 2020. 41, 106197.
16. Pereira, L.S.; Paredes, P.; Melton, F.; Johnson, L.; Mota, M.; Wang, T. Prediction of crop coefficients from fraction of ground cover and height. Practical application to vegetable, field and fruit crops with focus on parameterization. *Agric Water Manage.*, 2021a. 252, 106663.
17. Pereira, L.S.; Paredes, P.; Hunsaker, D.J.; López-Urrea, R.; Jovanovic, N. Updates and advances to the FAO56 crop water requirements method. *Agricultural Water Management*, 2021b. 248, 106697.
18. Rallo, G.; Paço, T.; Paredes, P.; Puig, A.; Provenzano, G.; Massai, R.; Pereira, L.S. Updated single and dual crop coefficients for trees and vine crops. *Agricultural Water Management*, 2021. 250, 106645.
19. Sánchez, J.M.; Simón, L.I.; González-Piqueras, J.; Montoya, F.; López-Urrea, R. Monitoring Crop Evapotranspiration and Transpiration/Evaporation Partitioning in a Drip-Irrigated Young Almond Orchard Applying a Two-Source Surface Energy Balance Model. *Water*, 2021. 13, 2073.
20. SIAR, 2022. Sistema de Información Climática Para el Regadío. Available online: <https://portal.mapa.gob.es/websiar/SeleccionParametrosMap.aspx?dst=1>
21. Soil Survey Staff. Keys to Soil Taxonomy, 12th Edition, 2014. USDA-Natural Resources Conservation Service, Washington, DC.
22. Stevens, R.M.; Ewenz, C.M.; Grigson, G.; Conner, S.M. Water use by an irrigated almond orchard. *Irrig. Sci.*, 2012. 30, 189-200.
23. Thomas, D. Phenology Standard for Almonds; Shouth Australian Resarch & Development Institute PIRSA: Adelaide, Australia, 2018.