

# Directrices para el riego y la fertilización de la alfalfa en el valle del Ebro

Necesidades de agua de riego y abonado en función de la producción y el suelo



Campo de alfalfa de regadío en el Valle del Ebro.  
Foto: Jaume Areny.

J.M. Villar, V. Altés y P. Villar. Universidad de Lleida.

Durante muchos años se han investigado las relaciones entre la producción de alfalfa y el uso del agua. Es un cultivo que puede utilizar anualmente grandes cantidades de agua de riego, ya que ocupa el suelo durante todo el año. Sin embargo, no es así en lo que se refiere a la fertilización, dado que al ser una leguminosa no necesita en la mayoría de los casos la aportación de nitrógeno, siendo el uso de análisis de suelos y plantas de gran ayuda en la toma de decisiones relacionadas con la cantidad de fertilizantes a utilizar. En este artículo se analizan de forma práctica las estrategias de riego y abonado de la alfalfa en función de los resultados de los análisis de suelo.

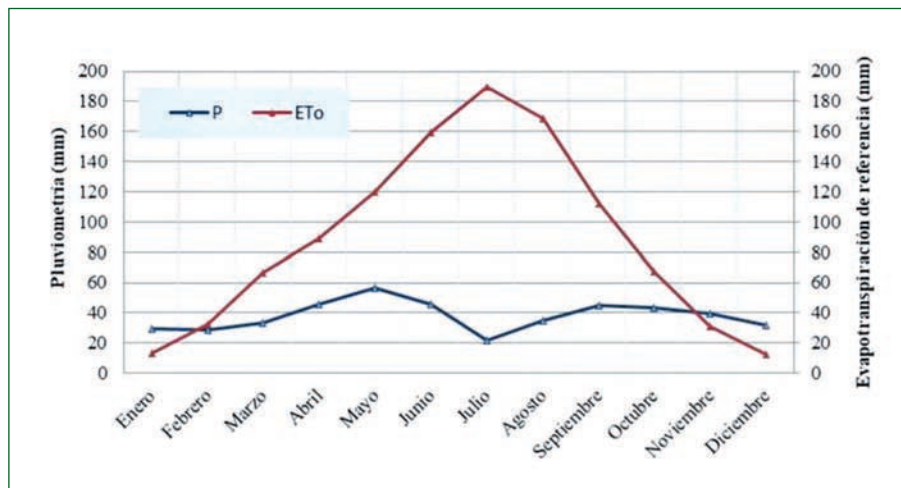
La alfalfa (*Medicago Sativa* L.) es una especie de la familia de las fabáceas o leguminosas, y es el principal cultivo forrajero del mundo con miles de años de historia. En el mundo se cultivan más de 30 millones de hectáreas. Es un cultivo que se adapta muy bien a la rotación de cultivos extensivos y tiene un potencial productivo muy elevado si dispone de agua y nutrientes, a pesar de ser una planta del tipo C<sub>3</sub> y leguminosa.

En los cultivos forrajeros, la acumulación de materia seca con el mayor valor nutritivo es, a diferencia de la mayoría de cultivos, el principal objetivo agronómico. La

alfalfa tiene un importante valor económico y su principal destino es la alimentación de rumiantes, aunque también forma parte de piensos compuestos que se utilizan en algunos monogástricos. Se consume en fresco (pastoreo), henificado, ensilado y deshidratado. El contenido de proteína bruta es uno de los criterios importantes para evaluar la calidad del forraje junto a la ausencia de malas hierbas. El cultivo de alfalfa tiene un interés añadido a sus propias cualidades y es que permite aumentar la sostenibilidad de los sistemas agrarios. Entre sus beneficios ambientales hay que destacar, la fijación del  $N_2$  atmosférico (autoabastecimiento de las necesidades de N y cesión de créditos de N al siguiente cultivo de la rotación), un balance carbono positivo (secuestro de C superior a otros cultivos extensivos como el maíz), una raíz pivotante que junto a una alta densidad de plantas permite una elevada absorción de agua y nutrientes (disminuye el exceso de nutrientes en el suelo), y también minimiza los efectos de la erosión (hídrica y eólica). Esta fijación de N se ha estimado en valores entre 174 kgN/ha y 466 kgN/ha (Kelner *et al.*, 1997).

Además la alfalfa mejora propiedades físicas del suelo (como la estructura) y la diversidad microbiológica del suelo (California Alfalfa and Forage Association, 2022). Todo ello contribuye a reducir el impacto ambiental, disminuye la eutrofización de las aguas y la contaminación de masas de agua subterránea, al minimizar las pérdidas de nitratos y, además, desde el punto de vista económico, tiene menores costes de cultivo. En el congreso mundial de la alfalfa celebrado en San Diego (California, EE.UU) en noviembre de 2022, el lema del congreso fue: "La producción rentable de alfalfa protege el medio ambiente". Las actas del congreso se encuentran disponibles en la siguiente página web <https://>

**FIG. 1** Datos históricos de evapotranspiración (ET<sub>o</sub>) y de lluvia en La Litera, Huesca. (Datos de Martínez-Cob *et al.*, 1998).



[alfalfa.ucdavis.edu/+symposium/2022/index.aspx](http://alfalfa.ucdavis.edu/+symposium/2022/index.aspx).

El proceso de convertir la radiación solar en biomasa materia seca se puede evaluar con el índice *eficiencia en el uso de la radiación solar interceptada* (EUR), que se estima que tiene un valor entre 1 y 1,2 g/MJ. Es decir, una producción de 1 o 1,2 gramos de materia seca por m<sup>2</sup> y por cada mega julio (MJ) de radiación que intercepte el cultivo por m<sup>2</sup> de suelo. Con radiaciones anuales del orden de los 5.000 MJ/m<sup>2</sup>/año, sin otras limitaciones ambientales (por temperatura y agua en el suelo) y si se consiguiera interceptar toda esta radiación, el límite potencial estaría en una producción anual de 50 t/ha, muy alejado de los rendimientos convencionales inferiores a las 20 t/ha/año. Sin embargo en climas semiáridos con riego y un buen manejo se han descrito producciones excepcionalmente de 35 t/ha.

En las condiciones de insolación de la Península, la radiación solar no es el factor limitante de la producción. La producción de forraje viene condicionada por la cantidad de agua evapotranspirada. Por ello es conveniente utilizar otro índice denominado eficiencia en el uso del agua de la alfalfa (EUA), también llamada pro-

ductividad del agua, que varía en función de las condiciones meteorológicas, de las características del suelo (profundidad, textura, salinidad, entre otros) y del manejo del cultivo.

De este modo, las diferentes zonas agroclimáticas (considerando principalmente la pluviosidad, la temperatura y la humedad ambiental) son el primer condicionante a considerar. En segundo lugar, se encuentra la disponibilidad de agua de riego, el sistema de riego y la calidad del agua de riego. En tercer lugar cabría considerar las necesidades nutritivas, y en cuarto lugar el estado sanitario y la presencia de malas hierbas. Evidentemente el material vegetal disponible juega un papel importante y los programas de mejora se centran en aspectos como la producción de materia seca, el contenido en proteína bruta y la proporción de fibra compuesta de celulosa y lignina (ADF). La secuencia genómica completa de la alfalfa está disponible desde 2020 (Chen *et al.*, 2020) y abre las puertas a mejoras significativas del cultivo.

La eficiencia media anual en el uso del agua (EUA/WUE) de la alfalfa que se ha determinado experimentalmente es variable y se encuentra entre 10 y 30

kg/ha/mm. Si se considera un valor medio de 20 kg de materia seca por hectárea y por milímetro, se podría considerar que si la evapotranspiración (ET) es de 1.000 mm (es decir 10.000 m<sup>3</sup>/ha), el potencial productivo sería de 20t/ha. Normalmente en ambientes mediterráneos las eficiencias más altas se dan en primavera. A diferencia de otros cultivos como el maíz y la remolacha azucarera que tienen eficiencias en el uso del agua estacionales mucho más altas, la alfalfa es el cultivo con mayor eficiencia en el uso del agua respecto a la materia seca que se cosecha. Otro aspecto interesante de la alfalfa, y otras plantas forrajeras, es que la producción de materia seca crece linealmente con la cantidad de agua evapotranspirada. Por este motivo hay que conseguir un buen grado de cobertura del suelo y minimizar la presencia de malas hierbas. Por tanto, la falta de agua por sequía, se puede considerar el principal factor abiótico que limitará la producción de forraje. Otros factores abióticos desfavorables son la salinidad en el suelo o del agua de riego y el exceso de agua. La **figura 1** muestra los datos históricos de evapotranspiración de la ET<sub>0</sub> y de la precipitación en La Litera (Huesca).

## Crecimiento y desarrollo de la alfalfa

La temperatura es la variable ambiental que condiciona el crecimiento y desarrollo de la planta de alfalfa. El tiempo que necesita la semilla para germinar y emerger, o el tiempo entre cortes o siegas depende de las temperaturas del suelo y del aire. En agronomía se utilizan los grados días acumulados (GDA) para estimar el desarrollo del cultivo de alfalfa. Este índice se puede estimar fácilmente con la **ecuación 1**.



Detalle de agua de rocío en alfalfa. Foto: Maite Oses.

### Ecuación 1.

$$GDA = \int_1^n (T_m - 5)$$

Donde T<sub>m</sub> es la temperatura media diaria y 5°C es la temperatura base de la alfalfa (aunque este valor puede variar según la fuente).

Por debajo de 1,5°C cesa el crecimiento y desarrollo. Esta técnica junto con las



Campo de alfalfa. Foto: Maite Oses.

medidas directas del cultivo en campo, son de utilidad para estimar el crecimiento y desarrollo del cultivo y facilitar la toma de decisiones a la hora de realizar los cortes y ver la influencia de las condiciones meteorológicas.

La cantidad de materia seca, la tasa de crecimiento del cultivo, la relación hoja/tallo, el número de hojas por tallo, y el índice de área foliar (IAF/LAI) son características agronómicas que se han evaluado para estimar el efecto de los factores abióticos en el crecimiento y desarrollo del cultivo. Es un cultivo que responde al fotoperiodo (planta de día largo) y tiene también un fototropismo positivo. Según las condiciones ambientales la alfalfa se puede llegar a cortar entre 1-12 veces al año. Analizando datos en el valle del Ebro, entre 5 y 7 cortes por año no muestran diferencias significativas con la producción total anual de biomasa. La caída estival de producción (en inglés conocido como *summer slump*) típica de los veranos en zonas semiáridas, aun disponiendo de agua de riego, se produce sobre todo a partir de los 37°C, condiciones que se dieron ampliamente en verano del 2022, afectando a los rendimientos obtenidos, inferiores a la producción media.

## Riego

Durante muchos años se han investigado las relaciones entre la producción de alfalfa y el uso del agua (Moot *et al.*, 1912; Hanks, 1983; Grimes *et al.*, 1992). Por ello la respuesta del cultivo de alfalfa al riego está bastante bien establecida. La alfalfa es un cultivo que puede utilizar anualmente grandes cantidades de agua de riego, ya que ocupa el suelo durante todo el año. Siguiendo la metodología FAO (Allen, R.G. *et al.*, 1998) con el uso de coeficientes de cultivo, la evapotranspiración de la alfalfa sería la que muestra la **ecuación 2**.

### Ecuación 2.

$$ET_{alfalfa} = K_c \cdot ET_o$$

El coeficiente de cultivo de la alfalfa en los días anteriores al corte llega a valores de 1,15 - 1,2, respecto a la evapotranspiración del cultivo de referencia ( $ET_o$ ) que proporciona la ecuación de Penman-Monteith gracias a la red de estaciones agrometeorológicas automáticas (EAA) disponibles. Estudios diversos han concluido que en el cómputo anual se puede considerar que el  $K_{c\text{ anual}} = 1$ . (Loomis y Wallinga, 1991) (**ecuación 3**).

### Ecuación 3.

$$ET_{alfalfa\text{-anual}} = ET_o$$

El número de cortes o siegas en un año varía en promedio entre 5 y 6 en los regadíos del valle del Ebro, según tempera-

turas y distribución de lluvias. En zonas de montaña y de secano el número de cortes es mucho menor y en ocasiones se combina con el pastoreo.

Para una zona media del valle del Ebro con una  $ET_o$  anual de 1.100 mm, la  $ET_{alfalfa}$  sería equivalente. Un buen estimador de la pluviometría efectiva ( $P_e$ ) en las zonas semiáridas del valle del Ebro podría ser del orden de 150 mm al año. Las necesidades netas de riego (NNR) anuales medias serían por tanto del orden de las mostradas en la **ecuación 4**.

### Ecuación 4.

$$\begin{aligned} NNR &= ET_{alfalfa} - P_e = \\ &= 1100 - 150 = 950 \text{ mm} \end{aligned}$$

Si consideramos una eficiencia de un sistema moderno de riego ( $E_f$ ) por aspersión

del 89%, las necesidades brutas de riego serían las calculadas en la **ecuación 5**.

### Ecuación 5.

$$NBR = \frac{NNR}{E_f} = \frac{950}{0,89} = 1.067 \text{ mm}$$

Para mantener la  $ET_{alfalfa}$  y asegurarse la máxima productividad hay que evitar en verano que el contenido de agua del suelo disminuya por debajo del 40-55% del agua disponible total (ADT) (Allen, R.G. *et al.*, 1998; Martín, D.L. *et al.*, 1990).

El hecho de ser un cultivo que cubre totalmente el suelo y tener un consumo de agua tan directamente asociado a la  $ET_o$  que proporcionan las EAA implica una programación de riegos más sencilla que con otros cultivos. En fincas grandes es conveniente monitorizar el contenido de

¿LENTO?  
¡LOS DEMÁS!

Con nuestros productos EPSO, se asegura de que sus cultivos reciban magnesio y azufre por la vía más rápida.

EPSOTop®

EPSOCombitorp®

EPSOMicrotop®

K+S Minerals and Agriculture GmbH  
A K+S Company

www.kpluss.com ·    K+S Agrar



K+S

agua en el suelo en algunos puntos de control.

Actualmente existen sensores como el teros 10 y el teros 12 (Meter Environment, Pullman, EE.UU) que permiten medir de forma instantánea el agua en el suelo con la ayuda del móvil.

Por tanto, en condiciones de un establecimiento adecuado del cultivo, libre de plagas, roedores, enfermedades y de malas hierbas, se podrían alcanzar anualmente unas 22 t de materia seca por hectárea, un valor que se ha alcanzado en experimentos en el valle del Ebro (Lloveras *et al.*, 2020), si bien los rendimientos medios en el valle del Ebro están por debajo de las 14 t de materia seca por hectárea, debido, entre otros aspectos, a las aplicaciones de riego inferiores a las necesarias.

Hay experiencias positivas en el uso del riego localizado subterráneo en alfalfa, ya que entre otras ventajas permite no tener que interrumpir los riegos durante el proceso de corte y henificado. Algunas fuentes indican incrementos del orden del 22% por este motivo. Esta tecnología requiere más investigación para adaptarla a las diversas condiciones medioambientales.

La respuesta productiva estacional de la alfalfa se estima con el modelo de FAO de la **ecuación 6**.

**Ecuación 6.**

$$\left(1 - \frac{R_a}{R_m}\right) = k_y \cdot \left(1 - \frac{ET_{real}}{ET_{alfalfa}}\right)$$

El coeficiente  $k_y$  es la pendiente de la relación entre la pérdida de rendimiento que se produciría con una evapotranspiración ( $ET_{real}$ ) por debajo de la  $ET_{alfalfa}$ . El  $k_y$  de la alfalfa se estima en 1,1. Si con una  $ET_{alfalfa}$  de 11.000 m<sup>3</sup>/ha se obtuvieran 22 t de materia seca/ha de rendimiento máximo ( $R_m$ ), el rendimiento alcanza-



Campos de alfalfa antes de cosecha. Foto: Jaume Areny.

ble ( $R_a$ ) para una  $ET_{real}$  de 7.500 m<sup>3</sup>/ha (considerando una dotación de riego de 6.000 m<sup>3</sup>/ha y una  $P_e$  de 1.500 m<sup>3</sup>/ha) sería de 14,3 t/ha de acuerdo con el modelo. Es razonable utilizar este criterio en los planes de contingencia frente a la sequía que preparan las comunidades de regantes para evaluar las pérdidas de producción esperables con menores dotaciones de riego.

**Fertilización**

El uso de análisis de suelos y plantas ayuda en la toma de decisiones relacionadas con las recomendaciones de la cantidad de fertilizantes a utilizar. El análisis de plantas y la producción de biomasa nos ayudan a evaluar la respuesta a la aplicación de nutrientes.

En un estudio realizado en el valle del Ebro, entre la Universidad de Lleida y la empresa Nafosa, se analizaron 87 muestras de planta recolectadas en 2021, entre varios cortes y de unas 40 parcelas. Los datos medios se presentan en el **cuadro I**. Las plantas se recolectaron antes del corte y con un 10% de floración. Se tomaron entre 25 y 30 plantas por muestra, sanas, bien desarrolladas y representativas de la parcela. Se cortaron con tijeras los 15 cm superiores de la planta. El estudio demostró que las concentraciones de nutrientes en planta eran adecuadas en todos los casos.

La proteína bruta (PB) se calcula multiplicando la concentración de  $N_{kjeldahl}$  por 6,25. Un contenido medio de 4,61% de  $N_{kj}$  equivaldría a un 28,8% de PB, un contenido en proteína excelente.

**CUADRO I.** NIVELES DE NUTRIENTES DE LAS PLANTAS DE ALFALFA EN UN MUESTREO LLEVADO A CABO EN EL VALLE DEL EBRO EN 2021.

Parámetro	Media	Desviación típica	CV (%)	Interpretación
Humedad (%)	54,58	22,61	41	
Materia orgánica (%)	88,76	1,23	1	
Cenizas (%)	11,24	1,23	11	
Nitrógeno <sub>kj</sub> (%)	4,61	0,46	10	Adecuado/alto
Fósforo (%)	0,32	0,05	17	Adecuado
Potasio (%)	2,24	0,47	21	Adecuado
Magnesio (%)	0,26	0,05	20	Adecuado
Calcio (%)	1,93	0,30	16	Adecuado
Azufre (%)	0,22	0,06	28	Bajo/Adecuado
Zinc (ppm)	30,76	5,17	17	Adecuado
Cobre (ppm)	12,01	4,53	38	Adecuado
Manganeso (ppm)	31,83	6,45	20	Adecuado
Hierro (ppm)	99,99	26,68	27	Adecuado
Boro (ppm)	38,85	7,52	19	Adecuado
Molibdeno (ppm)	1,29	0,99	77	Adecuado
Silicio (ppm)	20,37	12,02	59	
Sodio (ppm)	1.022,26	641,57	63	



# WELGRO<sup>®</sup>

## CUAJE



ABONO CE-ABONO PK 14-10 CON BORO (B) Y MOLIBDENO (Mo)

## Inductor del Cuajado de los Frutos.



COMERCIAL QUÍMICA MASSÓ, S.A.  
C/ Viladomat, 321, 5a planta 08029 Barcelona Tel.: 934 952 500 - Fax: 934 952 502  
E-mail: masso@cqmasso.com www.massoaagro.com

Más Massó Agro en:



**CUADRO II.** CRITERIOS DE APLICACIÓN DE FÓSFORO Y POTASIO SEGÚN EL NIVEL DE NUTRIENTES EN EL SUELO (P MÉTODO OLSEN Y K EXTRAÍDO CON ACETATO AMÓNICO). PRODUCCIÓN OBJETIVO DE 15 t/ha.

Niveles de P (ppm)	Niveles de K (ppm)	Interpretación	Criterio de aplicación	Recomendación de fertilizantes Kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> - kg K <sub>2</sub> O por hectárea
< 12	< 125	Bajo	Criterio de suficiencia	No es aplicable
			Criterio de mantenimiento	100-200
			Criterio de acumulación	120-300
12-24	125-175	Medio	Criterio de suficiencia	No hay respuesta clara al abonado
			Criterio de mantenimiento	75-150
			Criterio de acumulación	100-200
24-36	175-250	Óptimo	Criterio de suficiencia	No hay respuesta al abonado
			Criterio de mantenimiento	50-100
			Criterio de acumulación	75-150
36-80	250-350	Alto	Criterio de suficiencia	No hay respuesta al abonado
			Criterio de mantenimiento	25-50
>80	> 350	Muy alto El nivel de P y K supera el límite ambiental	Suspensión temporal de la aplicación de fertilizantes fosfatados y potásicos	

En relación a la presencia de macronutrientes en el suelo, no es habitual analizar la presencia de nitratos ya que la fertilización nitrogenada de la alfalfa en general no es necesaria. Únicamente en casos extremos cabría esperar una respuesta clara al N. Por ello nos centraremos en el fósforo y el potasio, en suelos calcáreos, profundos y moderadamente profundos y con textura media-fina. Los análisis de suelos hay que realizarlos preferentemente antes de la siembra de la alfalfa, y cada 4 o 5 años. El nuevo Real Decreto 1051/2022, de 27 de diciembre, establece normas para el aporte sostenible de nutrientes en los suelos agrarios y sienta las bases para mejorar la fertilización. Una muestra cada 3 o 4 ha puede ser suficiente, pero ello depende de la variabilidad presente. En el **cuadro II** se presentan la interpretación de los resultados para P y K. Experiencias realizadas por Lloveras *et al.* (2020), partiendo de niveles medio-bajos, demuestran que no abonar con fósforo y potasio lleva en ocasiones a una disminución significativa de la producción de forraje y que a partir de dosis crecientes de 100 kg K<sub>2</sub>O/ha no observaron diferencias significativas en la producción de materia seca, pero si en las extracciones de potasio, demostrando

**CUADRO III.** EXTRACCIONES MEDIAS DE NITRÓGENO, FÓSFORO Y POTASIO, EXPRESADO COMO UNIDADES FERTILIZANTES EN EL VALLE DEL EBRO.

Unidad fertilizante	(kg/t)	10 t/ha	15 t/ha
N	40-50	400-500	600-750
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	8-10	80-100	120-150
K <sub>2</sub> O	20-35	200-350	300-525

el efecto denominado “consumo de lujo” de K. Hay que indicar que el ensayo se realizó en suelo poco profundo con un horizonte petrocálcico que no permite aprovechar las cualidades que tiene la alfalfa de explorar y extraer nutrientes de un volumen importante de suelo. También se ha demostrado que con niveles medio-altos no hay respuesta a la fertilización PK. Por ello seguir una estrategia basada en el uso de análisis de suelos tiene su recompensa tanto en los aspectos ambientales como en los económicos. Las recomendaciones mostradas en el **cuadro II** se indican para suelos moderadamente profundos y muy profundos, donde las probabilidades de respuesta a la aplicación de fertilizantes son menores. Las recomendaciones de fertilización se presentan en el mismo **cuadro II**, y se han tenido en cuenta las extracciones medias de P y K, obtenidas a partir de

análisis de plantas de alfalfa y promedio de diferentes cortes en el valle del Ebro (**cuadro III**).

Se pueden utilizar abonos complejos PK o fertilizantes simples como el superfosfato triple (46% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) o el cloruro potásico (60% K<sub>2</sub>O). También responde bien a las deyecciones animales bien sea en forma de purines o estiércoles y a la aplicación de compost. Se recomienda la lectura del manual Alfalfa (Lloveras *et al.*, 2020) y el apartado sobre fertilización de la alfalfa de la guía de fertilidad de suelos y nutrición vegetal (Villar & Villar, 2016) para profundizar más en el tema. ■

**BIBLIOGRAFÍA**

Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M. (1998). Crop Evapotranspiration. Guidelines for Computing Crop Water Requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 56. FAO, Rome, 300.

California Alfalfa and Forage Association (Ed.). (2022). Profitable Alfalfa Production Sustains the Environment. En 2022 World Alfalfa Congress (pp. 20-30). UC Davis. <http://alfalfa.ucdavis.edu>

Chen, H., Zeng, Y., Yang, Y., Huang, L., Tang, B., Zhang, H., Hao, F., Liu, W., Li, Y., Liu, Y., Zhang, X., Zhang, R., Zhang, Y., Li, Y., Wang, K., He, H., Wang, Z., Fan, G., Yang, H., ... Qiu, Q. (2020). Allele-aware chromosome-level genome assembly and efficient transgene-free genome editing for the autotetraploid cultivated alfalfa. *Nature Communications* 2020 11:1, 11(1), 1-11. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-16338-x>

Grimes, D. W., Wiley, P. L., & Sheesley, W. R. (1992). Alfalfa Yield and Plant Water Relations with Variable Irrigation. *Crop Science*, 32(6), 1381-1387. <https://doi.org/10.2135/CROPSCI1992.0011183X003200060015X>

Kelner, D. J., Vessey, J. K., & Entz, M. H. (1997). The nitrogen dynamics of 1-, 2- and 3-year stands of alfalfa in a cropping system. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 64, 1-10.

Lloveras, J., Delgado Enguita, I., & Chocarro, C. (2020). La alfalfa. *Agronomía y utilización* (J. Lloveras, I. Delgado Enguita, & C. Chocarro (Eds.); 1a ed.). Edicions de la Universitat de Lleida; Centro de Investigación y Tencología Agroalimentaria de Aragón. <https://www.publicacions.udl.cat/es/producte/alfalfa-agronomia-y-utilizacio/>

Loomis, R.S. And J. Wallinga. 1991. Alfalfa: Efficient Or Inefficient Users Of Water 1991, 21st California Alfalfa Symposium

Martin, D.L., Stegman, E.C., Fereres, E. (1990). Irrigation Scheduling Principles. En G.J. Hoffman et al. (Ed.), *Management of Farm Irrigation Systems*. ASAE Monograph.

Villar, J. M., Villar, P. (2016). Guía de la fertilitat dels sòls i la nutrició vegetal en producció integrada. Consell Català de la Producció Integrada. Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca i Alimentació. 126 pp.