



Introducción a la evapotranspiración del agua en las plantas cultivadas



UNIÓN EUROPEA
Fondo Europeo Agrícola
de Desarrollo Rural. FEADER



**GOBIERNO
DE ARAGON**

Departamento de Desarrollo Rural
y Sostenibilidad

1. La evaporación del agua

La evaporación del agua es un proceso físico, muy frecuente en la naturaleza, por lo que sus efectos son muy conocidos. Por la evaporación, el agua cambia su estado, pasando del estado líquido al estado gaseoso o de vapor. El agua que se evapora pasa a la atmósfera circundante, si se dan las condiciones apropiadas para que el fenómeno pueda efectuarse. La evaporación se incrementa cuando lo hace la radiación solar que alcanza la superficie que se evapora, la temperatura del ambiente, la velocidad del viento y la superficie evaporante, y por el contrario disminuye con el incremento de la humedad de la atmósfera.

En la superficie terrestre, el agua se evapora de diferentes zonas como en los suelos húmedos, la vegetación mojada, los lagos, los ríos, y sobre todo los mares y los océanos.



Para que la evaporación pueda realizarse, las moléculas de agua necesitan de la energía necesaria para vencer la tensión superficial del líquido que las contiene.

Esta energía la suministra la radiación solar, bien como radiación directa o como calor del ambiente, en el caso de la evaporación del agua de los suelos y las plantas. Por tanto la temperatura del aire es un factor importante en el proceso de evaporación, de forma que se produce más rápidamente a temperaturas del aire elevadas.

Para que el vapor de agua pase a la atmósfera circundante es necesario que el ambiente tenga la posibilidad de aceptar dicho vapor, es decir que la atmósfera tenga poder evaporante. Por tanto, si el ambiente está saturado de humedad, como ocurre en algunas circunstancias en las mañanas de rocío a la salida del sol o en los días de niebla, cuando la capacidad evaporante de la atmósfera es prácticamente nula, no será posible la evaporación del agua.

Otro factor que influye en la capacidad de evaporación del agua es la velocidad del viento, de forma que cuanto mayor sea su velocidad, mayor será la capacidad de la atmósfera de sustituir el aire saturado que se encuentra justo encima de la superficie que se evapora.

Así como el agua se evapora de un cuerpo, el vapor le roba calor a dicho cuerpo, por lo que el cuerpo se enfría.

En las superficies donde se evapora el agua, normalmente los factores limitantes son una mala ventilación, la falta de disponibilidad de agua y la falta de energía para que tenga lugar el proceso. Por lo tanto las superficies secas y a la sombra con vientos en calma evaporarán menos agua que las superficies bien ventiladas, humedecidas con frecuencia y al sol.



Por todo lo anterior, para intentar poder determinar la evaporación de una superficie necesitamos conocer los parámetros climatológicos siguientes: radiación solar que alcanza la superficie, la temperatura del aire, la humedad de la atmósfera y la velocidad del viento a una altura próxima a la superficie que se evapora. En la figura 1 adjunta podemos ver una estación meteorológica automática para la obtención de dichos datos.



Figura 1. Estación meteorológica.

Las unidades que expresan la evaporación serán por tanto, unidad de masa o volumen de agua por unidad de superficie y por unidad de tiempo. Así unidades frecuentes de evaporación del agua serán por ejemplo: litros por metro cuadrado y día ($l/m^2/día$) que equivale a milímetros por día ($mm/día$), metros cúbicos por hectárea (m^3/ha) y mes, metros cúbicos por hectárea y campaña etc.

2. La transpiración del agua en las plantas.

Es el proceso por el cual el agua se evapora, sobre todo desde los tejidos internos de las hojas de las plantas, una vez que ha pasado, junto con ciertos nutrientes, desde el suelo a las raíces de las plantas y de ellas a través de los tallos a la atmósfera. Por tanto se trata de un proceso con una cierta similitud al de la evaporación.

La gran mayoría del agua que entra en la planta se pierde, sobre todo en las hojas, por evaporación a través de unos pequeños orificios denominados estomas, que facilitan la comunicación del interior de la planta con el ambiente exterior, lo que garantiza el intercambio de gases como el vapor de agua (H_2O), anhídrido carbónico (CO_2), oxígeno (O_2), etc. Estos pequeños orificios se cierran y abren dependiendo de numerosos factores como la luz, el estado hídrico de la planta, el contenido interno de anhídrido carbónico de la planta, etc.

Las características y el número de estos estomas por unidad de superficie foliar, así como la superficie foliar expuesta al sol, la forma y el tipo de hoja y la superficie foliar total de la planta, tienen una gran influencia en la cantidad de transpiración y pérdida de agua por la planta, ya que el agua transpirada por la planta es la cantidad más importante del agua absorbida del suelo. De esta agua que circula por la planta, únicamente una pequeña parte se convierte en parte de los tejidos formadores de la propia planta.

Todas estas particularidades, dependen del tipo de planta y determinan, junto con otras cualidades de defensa ante la pérdida de agua y practicas agronómicas de manejo, su capacidad de adaptación al medio donde se encuentran.



El cierre de estomas como consecuencia de una falta importante de agua en el suelo u otro motivo, momentáneo o duradero, producirá una disminución o restricción de la entrada de anhídrido carbónico en la planta y por tanto una disminución de la fotosíntesis, lo que implica una disminución de la capacidad de la planta de producir biomasa.



Si mantenemos los estomas abiertos los valores de la transpiración de las plantas estarán controlados por las mismas variables atmosféricas que controlan la evaporación, que se han indicado con anterioridad, es decir la disponibilidad de energía, el déficit de humedad y la velocidad del viento.

La transpiración como se desprende de lo anterior, es también un fenómeno de superficie. Por lo que la valoración del proceso no solamente depende de la capacidad evaporativa de la atmósfera sino también del tipo de cultivo, estado de desarrollo vegetativo, vigor, manejo del cultivo y microclima creado dentro de la cubierta vegetal.

En la evaluación de la transpiración de las plantas cultivadas también influyen todos los factores que pueden ser limitantes del crecimiento de la cubierta vegetal de las plantas, como pueden ser las temperaturas extremas, tanto máximas como mínimas para cada tipo de plantas, el contenido de agua del suelo, la falta de aireación de los suelos y por tanto falta de un buen desarrollo radicular, la disponibilidad de nutrientes (sobre todo el nitrógeno) para el crecimiento y desarrollo, la profundidad y la capacidad del suelo de aportar agua a las raíces, así como la salinidad de los suelos y del agua de riego.



3. La evapotranspiración de los cultivos (ET).

El concepto de evapotranspiración nace como consecuencia de la dificultad de separar e identificar la evaporación del suelo y la transpiración de los cultivos de una superficie amplia y uniforme.

En las primeras fases de desarrollo de un cultivo después de la siembra, como consecuencia de la falta de cubierta y sombreado del suelo por las plantas y si la disponibilidad de agua en la superficie del suelo es suficiente, las pérdidas de agua se producen fundamentalmente como consecuencia de la evaporación. Del mismo modo es razonable pensar que la evaporación del agua del suelo en un cultivo herbáceo, después de un riego por superficie o aspersión antes de que el cultivo cubra la tierra, es mucho mayor que en el caso de un riego por goteo de un cultivo leñoso, donde la zona húmeda creada por el goteo está a la sombra de la cubierta de los árboles.

Pero si el desarrollo del cultivo es elevado y cubre la superficie del suelo casi en su totalidad, la captación de energía solar por las plantas estará cerca del máximo, y por lo tanto la evaporación del suelo irá disminuyendo conforme se incremente la transpiración.

En la figura 2 adjunta, presentada por el estudio de la FAO de riegos y drenajes nº 56 en la publicación "*Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*", se representa como se divide la evapotranspiración en sus dos componentes (evaporación y transpiración) dependiendo del desarrollo de la cubierta vegetal expresada como índice de área foliar del cultivo.

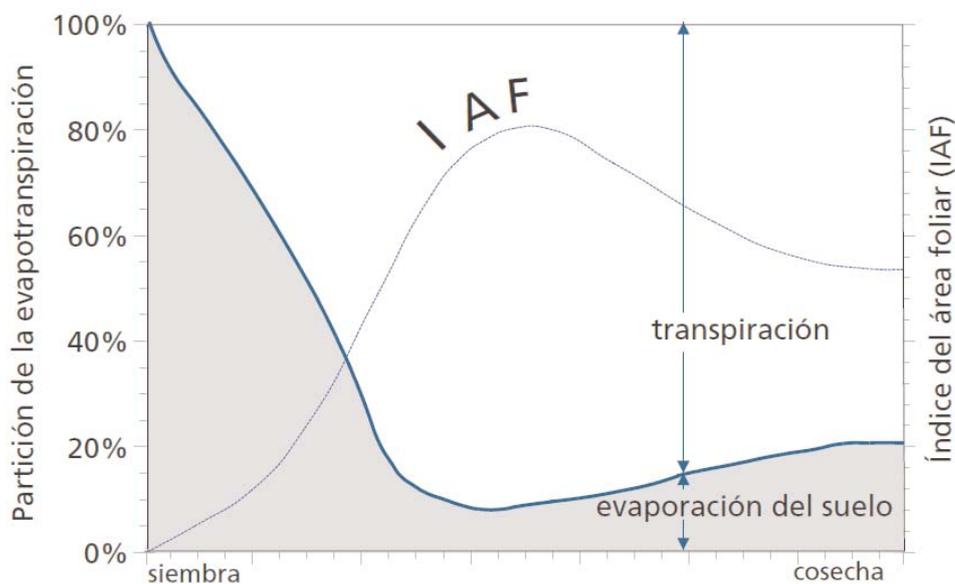


Figura 2. Representación del reparto de la evapotranspiración en sus dos componentes, evaporación y transpiración, durante una campaña desde siembra a recolección en un cultivo herbáceo anual. Fuente FAO-56.

Como se aprecia en la figura 2, en el momento de la siembra y los días posteriores, casi la totalidad de la evapotranspiración se produce en forma de evaporación, pero cuando la cubierta vegetal se va desarrollando y cubre el suelo la evaporación disminuye y se incrementa de forma notable la transpiración, hasta alcanzar casi el 90% del valor de la evapotranspiración.

Como se ha comentado con anterioridad en la evaporación, las unidades en que se expresa normalmente la evapotranspiración de los cultivos son los milímetros (mm) equivalente a litros por metro cuadrado (l/m^2) por unidad de tiempo expresada en horas, días, mes, año o campaña.

Otra forma de expresar la evapotranspiración es en m^3/ha y tiempo. Para ello tendremos en cuenta que si una hectárea tiene $10.000 m^2$ y 1 milímetro equivale a 0,001 m, si se produce una evapotranspiración de 1 milímetro en un día significa que se ha perdido por evapotranspiración $10 m^3/ha$ y día, equivalente a 10.000 litros/ha y día.

Como se aprecia en la figura 3, el clima, los factores específicos propios del cultivo, el manejo y las condiciones o medio donde se desarrolle el cultivo son factores que determinan la evapotranspiración.

Con los datos meteorológicos disponibles actualmente de radiación, temperatura, humedad y velocidad del viento se ha desarrollado, después de muchos años de grandes esfuerzos de investigación, una serie de procedimientos para determinar la evapotranspiración de los cultivos.

La fuerza evaporativa de la atmósfera de una zona o localidad determinada, que resume las características de las variables climáticas, puede determinarse por la evapotranspiración de un cultivo tomado como referencia (hierba, alfalfa) que sirve para poder comparar las características climáticas de esa zona con otras.

Estos valores de la evapotranspiración del cultivo de referencia, denominada como ET_o , se obtienen de los datos meteorológicos del lugar, y representan la evapotranspiración posible en ese lugar de un cultivo de hierba que no tiene ningún déficit de agua, con una altura de 12 centímetros y que crece activamente (ver ejemplo en la figura 4). Por tanto ET_o es una referencia climática, que se obtiene de los datos del clima y disponible en las oficinas de información de riego, en Aragón en la Oficina del Regante. Dicha oficina maneja los datos de una red de estaciones agroclimáticas automáticas, repartidas por las diferentes comarcas de Aragón, con superficies regadas importantes.

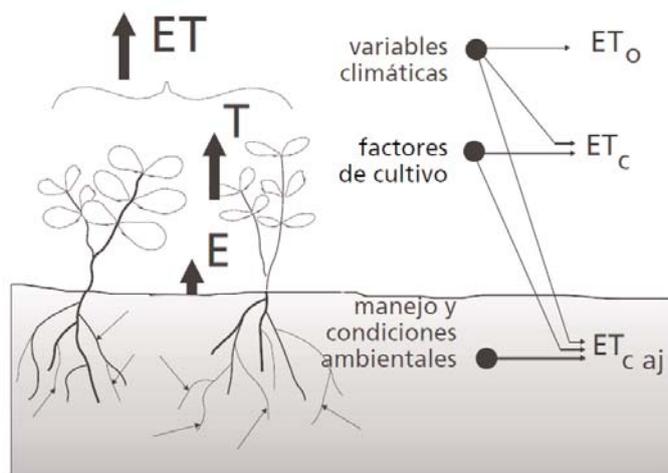


Figura 3. Representación de los factores que afectan a la evapotranspiración en sus diferentes conceptos. Fuente FAO-56.

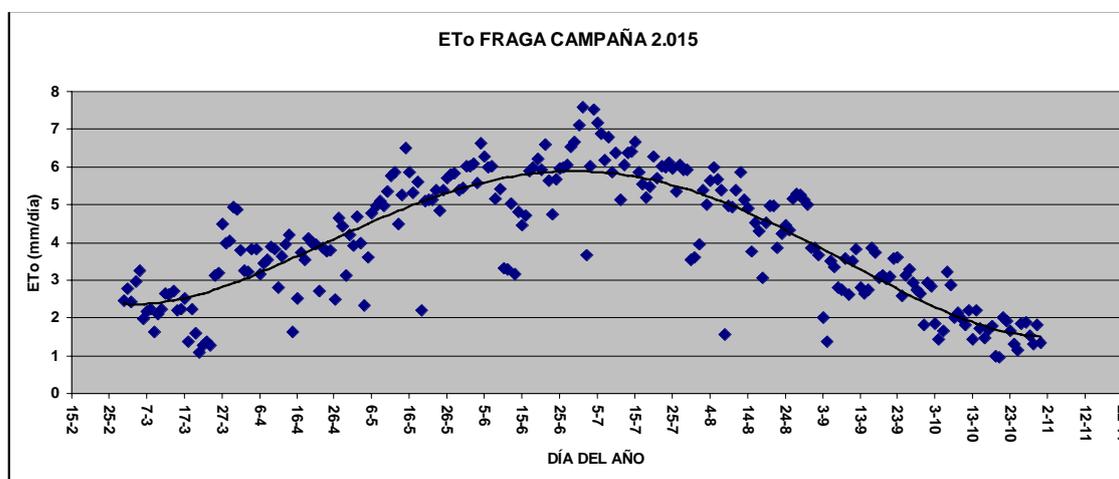


Figura 4. Valores de evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_o) en milímetros día, en la localidad de Fraga (Huesca) en la campaña de 2.015. Fuente de datos, Oficina del Regante de Aragón.

Las características propias de las superficies foliares de los diferentes cultivos, así como la duración de las fases de desarrollo de la cubierta de la copa en el caso de que no sufran ninguna limitación ambiental, se deben de tener en cuenta para la determinación de su evapotranspiración (ET). Así, las diferencias en los diferentes cultivos de la resistencia al paso del vapor de agua por los estomas en la transpiración, la cubierta del suelo por la copa, la altura del cultivo, las características aerodinámicas del cultivo, la capacidad de reflejar la luz solar de las hojas (albedo) y las características del sistema radicular del cultivo determinan diferentes valores de ET para cultivos que se encuentran en las mismas condiciones de clima.

Por tanto, para tomar en consideración todos los parámetros anteriores de los diferentes cultivos y determinar la ET de cada cultivo (ETc), se utiliza una serie de coeficientes específicos para cada cultivo y fase de desarrollo de su cubierta (Kc), que aglutinan todas estas consideraciones y que determinan junto con los valores de clima (ETo), unos valores de ETc estándar.

Estos son valores de un cultivo que se desarrolla en superficies grandes, que crece bajo condiciones de agua en el suelo inmejorables, que no sufre ningún déficit de agua (motivo por el cual las características del suelo y capacidad de almacenamiento de agua del suelo no tienen importancia), ni tiene falta de fertilizantes, ni sufre de salinidad, falta de aireación del suelo, ni tiene plagas, enfermedades, malas hierbas y no sufre de temperaturas extremas. Por tanto se trata de un cultivo que puede alcanzar un desarrollo vegetativo óptimo, o tiene una capacidad de producción de biomasa máxima, siendo capaz de captar la mayor parte de la energía solar que alcanza el suelo en las condiciones climáticas del lugar.

Evidentemente los valores de ETc (determinados como $ET_c = K_c * E_{T_o}$) de los diferentes cultivos propios de la zona, son los valores que se utilizan normalmente en el diseño de los sistemas de riego, ya que generarán los valores máximos de necesidades de riego teniendo en cuenta la precipitación efectiva del lugar, la eficiencia del sistema de riego y las necesidades adicionales de agua para el lavado de las sales del medio de cultivo.

Cuando la cantidad de agua en el suelo no se encuentra como en el caso indicado en el párrafo anterior, en donde alcanzan valores cercanos al máximo que puede admitir un suelo sin producir percolación profunda (capacidad de campo), bien por la falta de disponibilidad de agua o por un manejo intencionado u obligado por el sistema de riego, lo que causa un déficit más o menos severo de agua en ciertos momentos del cultivo y/o en el suelo existen factores como encharcamiento, salinidad, baja fertilidad, así como que se han realizado aportaciones limitadas de fertilizantes (sobre todo fertilización nitrogenada), y/o existe un suelo con una capacidad de almacenamiento de agua limitada por la poca profundidad y/o existen plagas o enfermedades, puede ser que el desarrollo vegetativo de la cubierta del cultivo no sea la máxima posible y por tanto la ETc del cultivo se reduzca como consecuencia de un desarrollo foliar limitado.

Como se refleja en la figura número 5, la ETc real del cultivo, se ajusta por medio de un coeficiente de estrés denominado en este caso Ks para reflejar bien el efecto del desarrollo limitado de la cubierta vegetal, o bien el efecto de cierre de estomas o la senescencia temprana de la cubierta, dependiendo del nivel de estrés de agua o ambiental.

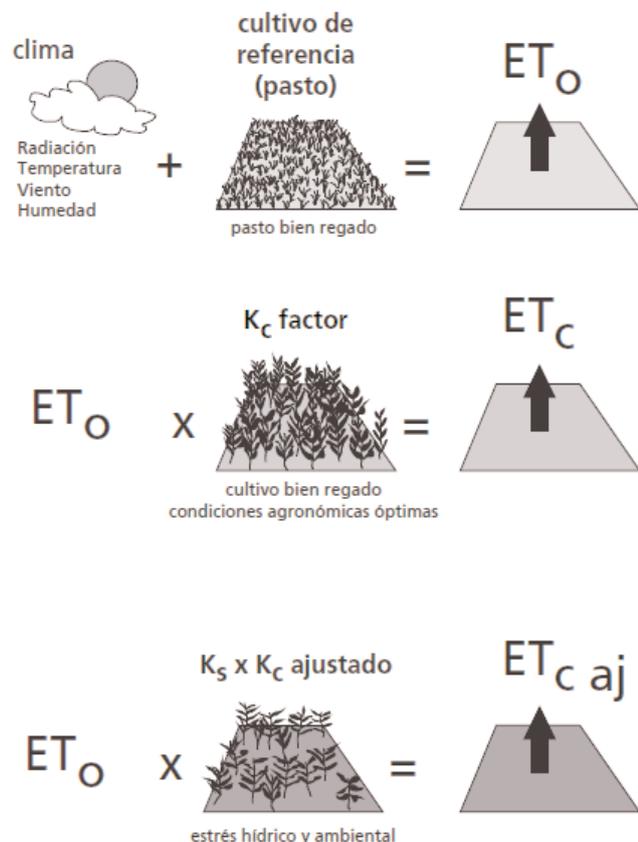


Figura 5. Representación esquemática de la evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_o), bajo condiciones agronómicas para un desarrollo vegetativo máximo (ET_c), y bajo unas condiciones diferentes a las de un desarrollo vegetativo máximo (ET_{c aj}). Fuente FAO-56.

4. Determinación de la evapotranspiración.

El valor de la evapotranspiración de un cultivo no es fácil de obtener.

Los métodos disponibles de campo son difíciles de realizar y manejar, con mantenimiento caro y delicado. Dentro de este grupo están los lisímetros (depósitos aislados llenos de suelo donde se desarrolla el cultivo) en los cuales se controla completamente la zona radicular del cultivo y se puede determinar de manera precisa la cantidad de agua que se pierde por evaporación y transpiración, siempre que la instalación se asemeje totalmente a un cultivo real.



Otro método posible es intentar simular el balance de agua del suelo, donde el riego y la lluvia, junto con los posibles ascensos capilares de la capa freática y las escorrentías de entrada por debajo de la superficie son los valores positivos de entrada de agua en el balance, y la evaporación, transpiración, escorrentía superficial, percolación profunda y flujo de salida por debajo de la superficie son valores negativos del balance. Conocer todos los valores de flujos bajo la superficie, de ascenso capilar y percolación profunda es complejo, por lo que obtener la evaporación y transpiración del cultivo no es fácil y siempre serán valores para periodos largos.

Existen otros métodos como el método del balance de energía y el método micro climático utilizados sólo en investigación, los cuales no son de aplicación en estos supuestos.

En resumen, y como consecuencia de todo lo anteriormente indicado, los valores de E_{Tc} se establecen normalmente con los datos meteorológicos.

Después de una consulta de expertos realizada por la FAO en el año 1.990, la FAO recomienda el método de Penman-Monteith como el método patrón para definir y calcular los valores de la evapotranspiración de referencia E_{To} . La E_{Tc} del cultivo bajo las condiciones estándar se determina utilizando los coeficientes de cultivo K_c que relacionan la E_{Tc} con E_{To} . Cuando las condiciones no son las estándar los valores de E_{Tc} se ajustan o modifican con un coeficiente K_s de estrés hídrico o ambiental que modifica el coeficiente de cultivo, según la superficie foliar expuesta al sol de la cubierta verde del cultivo o su efecto sobre el cierre de los estomas o senescencia temprana de las hojas.

Por último señalar, que según la publicación de la FAO número 66 de riegos y drenajes "Respuesta del rendimiento de los cultivos al agua" las indicaciones anteriores del cálculo de los valores de E_{Tc} están referidas fundamentalmente para los cultivos herbáceos extensivos.



Los cultivos leñosos, como consecuencia de las características aerodinámicas propias de la arquitectura de la copa de estos cultivos, que la cubierta fotosintética activa del suelo sea solo parcial, los diferentes manejos por la poda de la cubierta vegetal, la necesidad de controlar el vigor para facilitar la entrada de la radiación solar en las ramas fructíferas y no generar madera improductiva con exceso de vigor, que sólo producirá auto sombreo, hace que se deban modificar los valores de E_{Tc} ajustándolos (E_{Tc} aj). Todo teniendo en cuenta el manejo del riego, la fertilización, sobre todo la nitrogenada, la fertilidad del suelo, la salinidad y profundidad del suelo, así como el vigor de las diferentes variedades y portainjertos para obtener cubiertas capaces de conseguir la captación solar máxima por aumento de la cobertura del suelo, lo que influye en la capacidad productiva, pero con el sombreo mínimo de las hojas de los tallos capaces de producir frutos y así garantizar la calidad de estos.



Sirva esta Información Técnica como agradecimiento a la labor realizada por Miguel Ortega Salinas, funcionario del Centro de Transferencia Agroalimentaria jubilado el pasado año.

Autores:

Pablo Bruna Lavilla *pbruna@aragon.es* Jefe Unidad de Monogástricos. Centro de Transferencia Agroalimentaria.

Miguel Ortega Salinas Centro de Transferencia Agroalimentaria.

Bibliografía básica utilizada y recomendada:

- Estudio FAO: riego y drenaje nº 56. Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación d los requerimientos de agua de los cultivos.
- Estudio FAO: riego y dreaje nº 66. Respuesta del rendimiento de los cultivos al agua.
- Kramer, P.J. & Boyer, J.S. (1995). Water relations of plants and soils.

Se autoriza la reproducción íntegra de esta publicación, mencionando sus autores y origen: Informaciones Técnicas del Departamento de Desarrollo Rural y Sostenibilidad del Gobierno de Aragón.

Para más información, puede consultar al CENTRO DE TRANSFERENCIA AGROALIMENTARIA:
Av. Montañana, 930 • 50059 Zaragoza • Teléfono 976 71 63 37 - 976 71 63 44

Correo electrónico: *cta.sia@aragon.es* - *agricultura@aragon.es*

■ **Edita:** Gobierno de Aragón. Departamento de Desarrollo Rural y Sostenibilidad. Dirección General de Desarrollo Rural. Servicio de Innovación y Transferencia Agroalimentaria.
■ **Composición:** Centro de Transferencia Agroalimentaria. ■ **Depósito Legal:** Z-3094/96. ■ **I.S.S.N.:** 1137/1730.