

## EL USO EFICIENTE DEL AGUA EN EL CAMPO EN CATALUNYA. EL PACREG, UN SOFTWARE PARA MEJORAR LA GESTIÓN DEL AGUA DEL RIEGO

Jaume SIÓ\*, Antonio GÁZQUEZ\*\*, Miquel PERPINYÀ\*\*\*,  
Juan Carlos PEÑA\*\* y Josep Maria VIRGILI\*

\* *Departament d'Agricultura, Ramaderia i Pesca (DARP). Generalitat de Catalunya.*

\*\* *Servei Meteorològic de Catalunya (METEOCAT). Departament de Medi Ambient. Generalitat de Catalunya.*

\*\*\* *PENTA MSI, S.A.*

### RESUMEN

La necesidad de mejorar el uso de un bien escaso como es el agua, motivó que el *Departament d'Agricultura, Ramaderia i Pesca de la Generalitat de Catalunya* (DARP), haciendo uso de los datos suministrados por la *Xarxa Agrometeorològica de Catalunya* (XAC), diese la posibilidad de dar una orientación a los regantes. El resultado, una herramienta informática llamada PACREG, que permite responder a dos preguntas fundamentales, en tiempo real y a nivel de parcela, en base al método del balance hídrico: ¿Cuándo se ha de regar? y ¿Qué cantidad de agua se ha de aplicar?. El software, además, incluye los principales cultivos de Catalunya, proponiendo unas características de los mismos que pueden ser modificados por el usuario. La definición de las características de la parcela como unidad de manejo del riego, permite al programa ajustarse a las diferentes situaciones que se puede encontrar el usuario.

**Palabras clave:** Balance hídrico; Riego; PACREG; *Xarxa Agrometeorològica de Catalunya* (XAC)

### ABSTRACT

*The need to improve water management, specially critical in a Mediterranean rainfall regime, lead to the Agriculture Department of the Generalitat de Catalunya to develop a tool for the agricultural users based on data provided by the Agrometeorological Network of Catalonia (XAC). The software developed, PACREG, addresses two fundamental questions, in real time and for a particular plot, based on hydrological balance approach: when should irrigation be started? And, Which amount of water should be used? The software includes the most usual crop types in Catalunya and some of their characteristics, which may be customized by the user. By setting the characteristics of each plot as an irrigation unit, the software may account for different situations considered by the user.*

**Key words:** hydrological balance; Irrigation; PACREG; Agrometeorological Network of Catalonia (XAC).

## 1. INTRODUCCIÓN

El aumento de la conciencia colectiva de la importancia del agua como vehículo del desarrollo de todas las actividades económicas y sociales, junto con la creciente demanda de este recurso para el resto de las actividades de la sociedad y unas exigencias mayores de la calidad medio ambiental por parte de los ciudadanos, hace que el riego sea señalado como una de las principales causas de malgastamiento de este recurso.

Dentro de este entorno, muchas veces se olvida cuáles son las funciones del riego en zonas con una falta de recursos hídricos y una irregular distribución de las lluvias a lo largo del año. En Catalunya, se ha de tener presente que normalmente en la mayor parte de las zonas agrícolas, la aportación del agua a través de las precipitaciones es muy inferior al consumo potencial de este elemento que tienen los cultivos. La magnitud de estos déficits justifica que el agua sea el factor determinante de la producción agrícola y de toda la industria agroalimentaria que de ella depende, representando un factor básico en el reequilibrio del territorio.

Esta importancia tanto económica como social, no excluye que la agricultura de regadío haya de hacer todos los esfuerzos necesarios en mejorar la eficiencia en el uso del agua del riego y, de esta manera, dar respuesta a planteamientos más globales de los recursos hídricos y a la creciente demanda de agua para finalidades no agrícolas.

## 2. LA PROGRAMACIÓN DE RIEGOS A TRAVÉS DE LA UTILIZACIÓN DE INTERNET. LAS NUEVAS TECNOLOGÍAS EN EL CAMPO

Si se considera que del agua que se deriva para el riego de los cultivos de los cursos superficiales (ríos y embalses) sólo entre un 50 y el 60 % es aprovechado a nivel de parcela es lógica la preocupación para aumentar esta eficiencia. La mejora de los sistemas de conducción y de los riegos a presión permiten incrementarla, si bien queda aún un gran margen de posibilidades de mejoras que nada más pueden ser abordadas por métodos de programación del riego.

La programación de riegos, es decir, conjunto de técnicas que sirven para determinar la cantidad de agua con que se ha de regar y en qué momento, es un instrumento fundamental para un uso eficiente del agua.

Su aplicación permite:

- Un ahorro del agua, disminuyendo la cantidad de agua derivada de los ríos, embalses y acuíferos.
- Una mejora de la producción agrícola, tanto en cantidad como en calidad.
- Una disminución de los posibles efectos de la contaminación, especialmente de nitratos y pesticidas, en las aguas.
- Un ahorro en abonos.

El *Departament d'Agricultura, Ramaderia i Pesca de la Generalitat de Catalunya* (DARP), con el objetivo de poder llegar al máximo de situaciones posibles, se decidió a finales de la década

de los 80, por un método agrometeorológico, en concreto el del balance hídrico, para el cual se necesitaba:

- Conocer las necesidades hídricas de las plantas.
- Conocer las características del suelo que afectan al riego.
- Disponer de una herramienta que permita hacer los cálculos de cuándo se ha de regar y de qué cantidad de agua se ha de aplicar, en función de las características específicas de cada parcela.

Para conseguir estos objetivos se iniciaron tres líneas de trabajo que, entre otras cosas, permiten llegar a cumplirlos de manera eficiente, y que son las siguientes:

- La *Xarxa Agrometeorològica de Catalunya (XAC)*
- El mapa de suelos de Catalunya a escala 1/25000
- La aplicación informática PACREG

La XAC es un conjunto de estaciones meteorológicas automáticas que en tiempo real, via modem telefónico, facilitan información sobre diversos parámetros meteorológicos (temperatura, humedad, precipitación y radiación global) y agrometeorológicos (velocidad del viento a 2 metros, temperatura y agua del subsuelo, humectación y evapotranspiración de referencia, este último principal estimador de las necesidades hídricas de los cultivos). Las diferentes estaciones se encuentran distribuidas en las principales zonas agrícolas de Catalunya, contando hasta estos momentos con un total de 90 observatorios. En estos momentos la XAC se encuentra en la página web del Sevei Meteorològic de Catalunya, a través de la que se puede acceder a todos los datos, tanto en tiempo real como históricos, de las estaciones. Esta red fue pionera en España no tan solo en aplicaciones de la meteorología en el ajuste y optimización de la programación de riegos, sino también en dar disponibilidad en tiempo real de registros meteorológicos aplicables a la lucha contra las plagas y enfermedades de los cultivos, las heladas y la previsión del riesgo de propagación de incendios forestales. Con posterioridad se han desarrollado sistemas similares en otras Comunidades Autónomas.

Para poder programar el riego, hace falta conocer las características del suelo. Con este fin se puso en marcha el Mapa de Suelos de Catalunya, a escala, 1/25000, primero para las zonas regadas y más adelante para las zonas de secano en transformación o previsión de implantación generalizada de los riegos. Actualmente se dispone de la cartografía de unas 150000 ha de tierras actualmente en regadío, que permiten conocer a una escala de detalle suficiente, las propiedades hidrológicas del suelo en relación con el riego. Esta iniciativa es única en el Estado español tanto por la escala de detalle como por su enfoque hacia tierras de regadío.

Una vez consolidadas estas dos líneas, en 1991 se empezó a desarrollar una aplicación informática para la programación del riego que recibió el nombre de PACREG.

Tabla 1: Buenas prácticas agrarias en relación al riego.

Prácticas correctas a realizar	Acciones a realizar
Ajustar el suministro de agua a las necesidades del cultivo	Utilizar algún método de programación de riegos
Mejorar la eficiencia del agua procedente de la lluvia	Hacer una práctica de conservación del suelo que aumente la infiltración y reduzca la la escorrentía superficial
Aumentar la uniformidad y la eficiencia de la aplicación del agua del riego	Hacer un diseño y un mantenimiento adecuado del sistema de riego en parcela
Limitar la contaminación y la pérdida de calidad del agua de retorno (agua de drenaje)	Ajustar las fracciones de agua de lavado y hacer un uso racional de los fertilizantes y pesticidas
Aumentar la eficiencia en el uso del agua	Utilizar cultivos o rotaciones adaptadas a las disponibilidades de agua y muy eficientes en su uso
En el riego por superficie, hacer una buena nivelación de las parcelas	Adecuar la forma de las tablas de riego a los caudales disponibles y a las características de los suelos y el cultivo
Aumentar la eficiencia del agua de riego	Ajustar el volumen de agua aplicado a la capacidad de retención de agua en el suelo y a la profundidad donde están situadas las raíces del cultivo

### 3. EL PROGRAMA PACREG (VERSIÓN 4.1)

La necesidad de mejorar la eficiencia del riego, motivó que el DARP, aprovechando los datos suministrados por la XAC, llevase a término la posibilidad de dar una orientación a los regantes a través de consejos de riego. Para materializar esta consejo de riego se creó la aplicación informática PACREG, programa que pretende responder a dos preguntas:

- ¿Cuándo se ha de regar?
- ¿Qué dosis se ha de aplicar?

Los objetivos que se pretendían resolver quedarían resumidos en el tabla 1, donde se relacionan las prácticas correctas a aplicar junto con las acciones a realizar, siempre en relación a un uso eficiente del agua del riego.

El PACREG permite elaborar el consejo de riego para cada parcela, ya sea el riego por superficie o localizado, según las características del agua del riego, del cultivo, del suelo y de los datos meteorológicos asociados (precipitaciones y  $ET_0$ ), teniendo en cuenta las siguientes consideraciones:

1. El consumo de agua de un cultivo es la suma de dos componentes: la evaporación directa del agua desde el suelo hacia la atmósfera y la evaporación del agua desde los estomas de la planta hacia la atmósfera. La suma de ambos componentes se denomina Evapotranspiración del cultivo ( $ET_c$ ), calculando este parámetro a partir de la  $ET_0$  y de la siguiente expresión:

$$ET_c = K_c \cdot ET_0$$

donde  $K_c$  es el denominado coeficiente de cultivo que es variable para cada cultivo, especie y estado fenológico, mientras que la  $ET_0$  es calculada a partir de la ecuación FAO Penman-Monteith que permite la estimación del parámetro para intervalos de tiempo a nivel horario:

$$ET_0 = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{37}{T_{hr} + 273} u_2 (e_0 - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34u_2)}$$

donde:

$ET_0$ : evapotranspiración de referencia en mm/hora

$R_n$ : Radiación neta sobre una superficie de raigrass, en MJ/m<sup>2</sup> hora

$G$ : Densidad de flujo de calor del suelo, en MJ/m<sup>2</sup> hora

$T_{hr}$ : Temperatura media horaria del aire, en °C

$\Delta$ : Pendiente de la curva de la presión de vapor de saturación para la  $T_{hr}$ , en kPa/°C

$\gamma$ : Constante psicométrica, en kPa/°C

$e_0$ : Presión de vapor de saturación para la  $T_{hr}$ , en kPa

$e_a$ : Presión de vapor media horaria real, en kPa

$u_2$ : velocidad del viento a 2 metros de altura

Cada uno de estos parámetros se pueden estimar a partir de ecuaciones empíricas, las cuales sería tarea farragosa describirlas en estas líneas, pudiéndose encontrar todas ellas en la correspondiente publicación de la FAO del año 1998 (ALLEN *et al.*, 1998).

2. El método de programación que utiliza el PAGREG se basa en el del balance hídrico propuesto por la FAO (1998), en base a las figuras 1 y 2, y teniendo en cuenta si el riego es por superficie o localizado.

La figura 1 muestra el balance de agua que se produce en la capa límite atmósfera-suelo, considerando este punto de contacto como un sistema abierto, donde las principales entradas, es decir aquella cantidad de agua que tiene disponible la planta (lluvia efectiva, riego neto y ascensión capilar), son procesadas por el sistema, especialmente por las especies vegetales para su desarrollo (provocando una variación de agua en el suelo) y dando una serie de salidas en forma de evapotranspiración, percolación profunda y escorrentía superficial.

Conociendo el funcionamiento de este sistema, el PAGREG ayuda a que el cultivo tenga sus necesidades plenamente cubiertas desde un punto de vista hídrico, teniendo en cuenta que siempre este funcionamiento óptimo se realizará cuando el suelo esté en capacidad de campo. Tal como muestra la figura 2 habrá una cantidad de agua que la planta puede acceder a ella de una manera fácil (agua fácilmente disponible), por lo que cubrir exactamente esta cantidad será lo que se persiga para un uso eficiente del agua, minimizando en todo

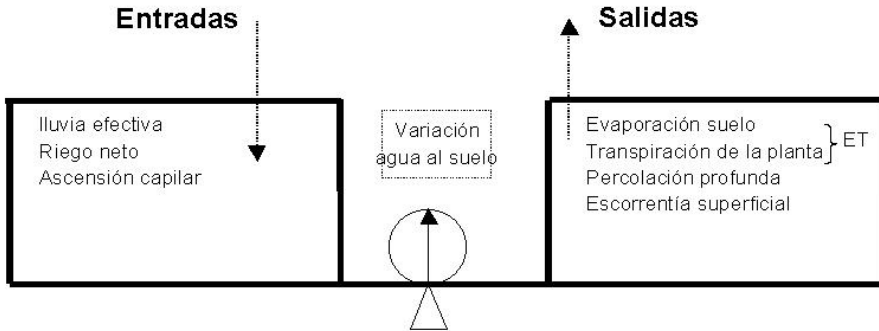


Figura 1: Principios en que se basa el PACREG: El Balance de agua en el suelo.

lo posible las pérdidas por percolación profunda, que puede llevar a problemas de contaminación del suelo, al contener el agua componentes en disolución procedentes de abonos y tratamientos preventivos ajenos a la composición del suelo, y por escorrentía superficial, cuyo efecto principal sería la erosión, dando problemas de pérdida de calidad de ese suelo, especialmente en forma de nutrientes. Esta cantidad de agua (necesidades de agua de riego) viene determinada por las condiciones meteorológicas, del cultivo, del sistema de riego y de las características del suelo.

Descrito el funcionamiento del sistema, simplemente falta ayudar al usuario para que según el sistema de riego que utilice (por superficie o localizado), optimice el uso del agua lo máximo posible:

- El riego por superficie utiliza el balance hídrico para calcular la reserva de agua en el suelo en un día determinado, es decir, la Reserva de Agua Fácilmente Utilizable (RFU). Para calcular este parámetro, el programa utiliza los datos reales de la ETo y la lluvia total, datos proporcionados por la XAC, calculándolo desde el día de inicio de la simulación hasta el día de inicio de programación del riego. A partir de este día se modeliza el riego a partir de datos medios de ETo y de lluvias efectivas, que proceden de un fichero climatológico de datos medios. De esta manera, se visualiza la evolución diaria de los diferentes parámetros que intervienen (ETo, Kc, ETc, lluvia, riego, balance hídrico y RFU). De esta manera, el usuario puede tener conocimiento de lo que realmente ha pasado desde el inicio de la programación y hacer la simulación de riegos que tendrá que hacer en el futuro.
- La programación del riego localizado se puede hacer de dos maneras:
  - a) Riego localizado sin balance hídrico (RLSBH): Esta modalidad es la adecuada cuando se quiere regar todos los días, al no considerar la reserva de agua en el suelo y las lluvias sólo intervienen el día después de producirse, por lo que no es aconsejable utilizar este modelo en situaciones en que el agua cubra una parte significativa de las necesidades del cultivo.

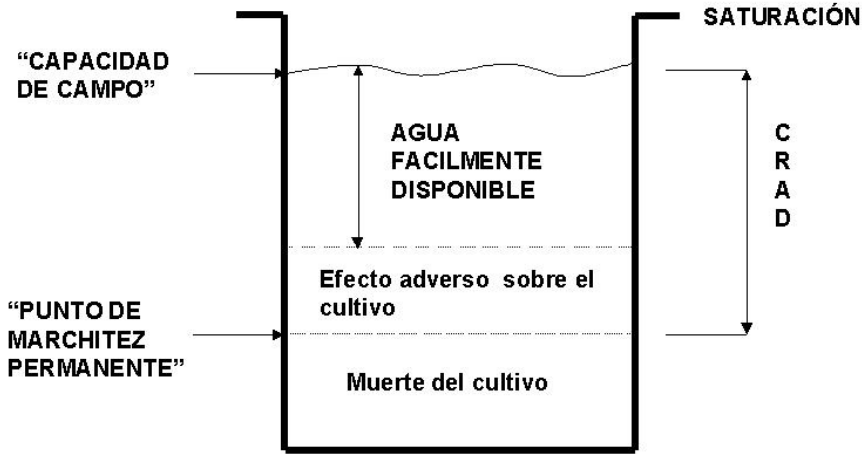


Figura 2: Capacidad de retención de agua disponible en el suelo.

b) Riego localizado con balance hídrico (RLABH): Este modelo es el indicado para aquellas zonas donde la lluvia cubre una parte significativa de las necesidades del cultivo. Además, este tipo de programación es la opción a escoger en el caso de riego de apoyo. Las dificultades que plantea simular el balance hídrico en riego localizado o en situaciones de estrés, puede comportar errores que se tendrán que evaluar en cada caso.

3. El programa está diseñado para que en base de los datos de la parcela y los datos de ETo y lluvia que suministra la XAC, para facilitar su uso, tiene definidos los principales cultivos de Catalunya (excepto el arroz), una base de datos histórica de la ETo y de lluvia, así como aspectos que afectan al sistema de riego. En el caso que el usuario disponga de datos propios sobre alguno de los aspectos hasta ahora indicados, o bien, avances recientes que aconsejen modificar algún dato (coeficientes de cultivo, lluvia efectiva, etc.), el programa permite una total flexibilidad en modificar los parámetros definidos.
4. La programación basada en datos climáticos (ETo y precipitaciones) es una primera aproximación que puede ser completada para hacerla más exacta en base a medidas de agua del suelo (tensiómetros, métodos gravimétricos) o bien, con métodos más innovadores y en muchos casos a nivel experimental de medidas en la planta.

#### 4. CONCLUSIONES

Se ha presentado una aplicación informática, el PACREG en su versión 4.1, que permite hacer una cuidadosa programación de riegos a nivel de parcela. En base a dos líneas desarrolladas por

el DARP, la Xarxa Agrometeorològica de Catalunya y el mapa de suelos a escala 1/25000, los consejos de riego tienen en cuenta los siguientes aspectos:

- El tipo y densidad del cultivo
- El tipo y constitución del suelo
- El sistema de regadío utilizado (superficie, localizado o deficitario)
- Los datos de precipitación (aportación de agua al suelo) y de evapotranspiración (consumo de agua)

De esta manera, la aplicación permite responder a dos preguntas básicas, como son, cuándo habría que regar y qué cantidad de agua se habría de utilizar, para hacer un uso eficiente del agua del riego, dado que casi el 80 % del consumo anual es destinado a este tipo de uso.

Las consideraciones principales del PAGREG (versión 4.1) son las siguientes:

- Programación de riegos por ordenador. Entorno Windows
- Permite el consejo de riego a nivel de cada parcela individual
- Incluye los principales cultivos de exterior y permite definir nuevos cultivos (coeficiente de cultivo, profundidad cultivable y factor de agotamiento del agua disponible en el suelo)
- Adaptación a las condiciones reales de la parcela (suelo, sistema y calidad del sistema de riego y de cultivo)
- Contempla riego de superficie utilizando la estimación del balance de agua en el suelo
- Riego localizado, con o sin balance de agua en el suelo y con la posibilidad de la definición de periodos de riego deficitario controlado
- Programación con datos de ETo medios (base de datos histórica) y actuales (tiempo real). También incluye precipitaciones efectivas medias
- Incorporación automática de los ficheros de ETo y lluvia diaria que genera la XAC
- Posibilidad de generar ficheros de datos medios (históricos) con la introducción de la ETo y las lluvias mensuales de otras estaciones o localidades no cubiertas por la XAC

Pero hay que tener en cuenta que, si bien se ha buscado que el programa se ajuste al mayor número de situaciones posibles, existen algunas en que no funciona. Éstas serían las siguientes:

- Cuando una parte importante del agua que absorbe la planta procede de una capa freática
- Cuando una pequeña fracción de las necesidades totales de agua de la planta son cubiertas por el riego, es decir, cuando el riego sólo tiene la función de apoyo.



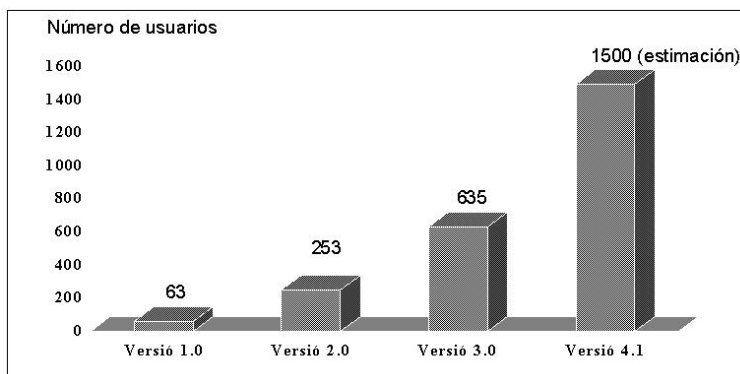


Figura 3: Evolución de los usuarios.

- Cuando la planta se encuentra en condiciones de estrés por otros motivos: granizadas, heladas o carencia de oxígeno.
- Por último, es especialmente crítico en todo el programa la estimación de los coeficientes de cultivo para el cálculo de la ETC y en el cálculo por riego localizado, si bien estas consideraciones se han de solucionar a partir de un laborioso y riguroso trabajo de campo.

La figura 3 muestra la evolución de los usuarios en las diferentes versiones del PACREG.

Finalmente, remarcar que la generalización en el uso de herramientas de trabajo como son el PACREG y la XAC, así como de otras que se generen el futuro, ha de permitir compatibilizar un desarrollo sostenible con una competitiva agricultura de regadío.

## 5. BIBLIOGRAFÍA

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. (1998): *Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements*. Irrigation and drainage paper, 56. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Roma, 300 pp.

BOIXADERA, J. (1994): Millora de la gestió de l'aigua de reg. *Catalunya Rural i Agrària*, 2. Departament d'Agricultura, Ramaderia i Pesca. Generalitat de Catalunya, pp. 28- 29.

GÁZQUEZ, A; SIÓ, J. (1999): L'ús eficient de l'aigua de reg. *Catalunya Rural i Agrària*, 59. Departament d'Agricultura, Ramaderia i Pesca. Generalitat de Catalunya, pp. 28-31.

LLASSAT, M.C. (1997): *Meteorologia agrícola i forestal a Catalunya. Conceptes, estacions i estadístiques*. Departament d'Agricultura, Ramaderia i Pesca. Generalitat de Catalunya, 298 pp.

PEIX, J. (2001): Els regadius a Catalunya: millora de la renda agrària. *Catalunya Rural i Agrària*, 79. Departament d'Agricultura, Ramaderia i Pesca. Generalitat de Catalunya, pp. 19-28.

PEIX, J. (2001): Els regadius a Catalunya: modernització de l'empresa agrària. *Catalunya Rural i Agrària*, 80. Departament d'Agricultura, Ramaderia i Pesca. Generalitat de Catalunya, pp. 19-26.

SIÓ, J.; GÁZQUEZ, A.; PALLARÉS, J. (2000): PAGREG, un software per a millorar la gestió de l'aigua de reg. *IV Congreso del ICEA*. Tarragona, pp. 31-36