



TEMA 2

Eficiencia energética

José Manuel Omaña. AIMCRA

Rosa M. Rodríguez González. Ingeniero Agrónomo, directora de Efi-Riego. Consultoría Agrícola

CONCEPTO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EL RIEGO

Entendemos por eficiencia energética en el riego, el conjunto de medidas que permiten conseguir una disminución del consumo energético en las instalaciones de riego, independientemente de la fuente de energía utilizada.

De forma práctica la eficiencia energética en el riego se puede abordar desde varios puntos de vista:

- Eficiencia eléctrica
- Eficiencia hidráulica
- Eficiencia hídrica

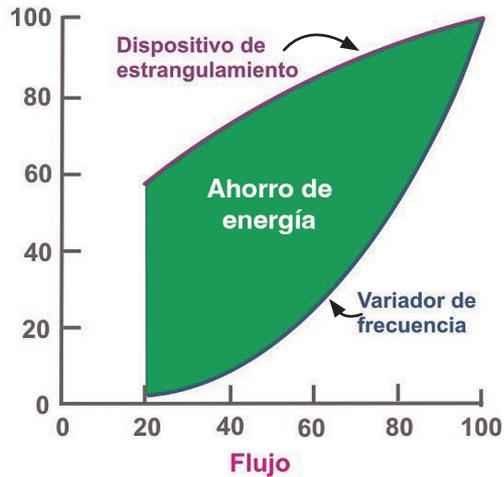
EFICIENCIA ELÉCTRICA

Hay diversos factores que pueden ayudar a mejorar la eficiencia desde el punto de vista del consumo eléctrico del bombeo: principalmente se basan en que la electrobomba tenga un rendimiento óptimo y en la utilización de un variador de velocidad, que permita ajustar la frecuencia del motor a las necesidades de caudal y presión en cada momento.

Variador de velocidad

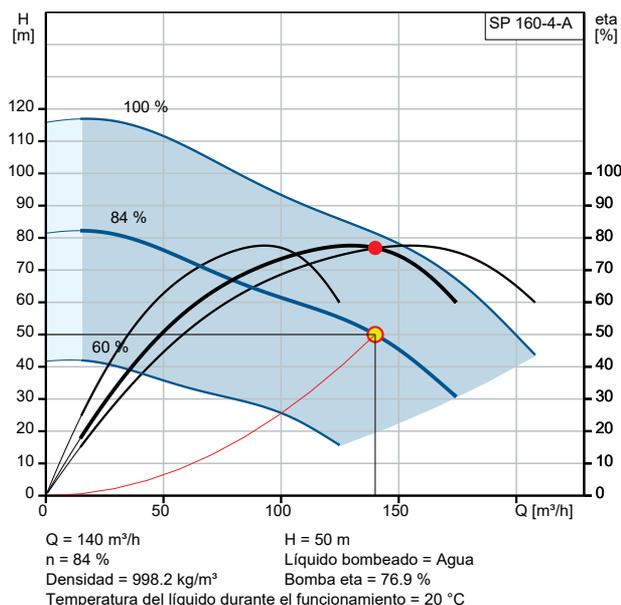
Cuando no se dispone de variador, el motor funciona a la misma frecuencia de la corriente eléctrica que llegar por la red, es decir 50 Hz. La frecuencia se mantiene fija y el consumo sigue siendo parecido aunque disminuyan los requerimientos de caudal o presión. En ese caso, si el caudal o presión son excesivos, se suele recurrir a estrangular la válvula para que pase menos agua y a menor presión, pero esto supone un derroche de energía, que se disipa a su paso por el estrechamiento, de forma parecida a si en un coche se pisa a la vez el acelerador y el freno.

Consumo de energía



Esquema de variación del consumo energético según se disminuya la presión y caudal mediante variador de velocidad o estrangulando la llave de paso.

Variador de velocidad o frecuencia.



Curvas de consumo de una bomba a diferentes frecuencias de trabajo.

En las explotaciones de regadío es muy común que los sectores de riego tengan diferentes requerimientos de presión y caudal al suministrado por la bomba, bien porque la bomba esté sobredimensionada, porque se trate de pivotes o coberturas que funcionan con diferentes presiones o caudales, o por pérdidas de carga en las tuberías generales. En estos casos la posibilidad de disponer de un variador de velocidad permite un importante ahorro, pues hace posible adaptar la frecuencia del motor por debajo de los 50 Hz, esto permite ajustar el consumo en función de las necesidades concretas de cada momento. Hay que tener en cuenta que la ecuación que relaciona la frecuencia del motor y la potencia absorbida es una relación cúbica; por ejemplo: una disminución de un 20% en la frecuencia implica una bajada de 49% en la potencia consumida.

Ejemplo: Cálculo de la disminución de la potencia absorbida por una bomba de P = 80 kW, cuando se pasa de una frecuencia de 50 Hz a 40 Hz:

$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^3$$

P1 y P2: Potencia absorbida

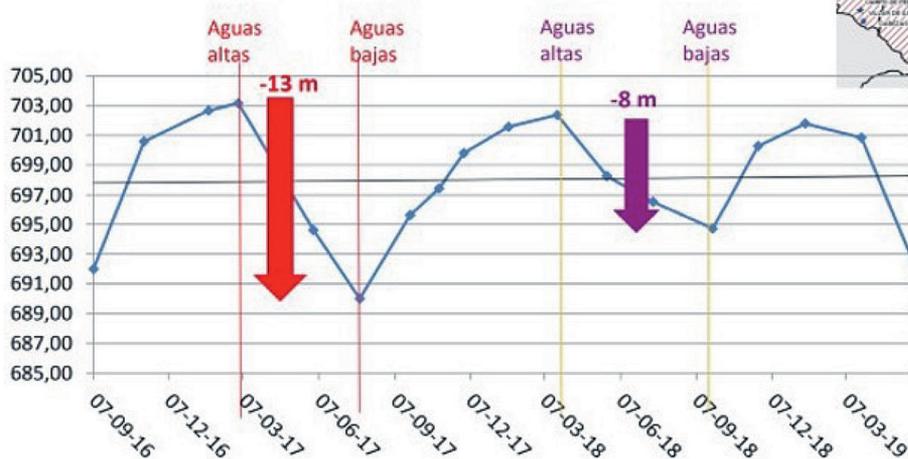
N1 y n2: Frecuencia del motor

$$80 \text{ kW}/P_2 = (50 \text{ kW})^3/(40 \text{ kW})^3; P_2 = (50)^3 / (40)^3 \times 80 = 41 \text{ kW}$$

Se muestra a continuación lo ocurrido en una instalación situada en Bercero (Va). La potencia absorbida registra claramente dos niveles de consumo, uno cercano a 80 kW cuando se riega con la cobertura y otro que varía entre 47 kW y 56 kW, cuando se riega con el pivote. Si no hubiera variador el consumo siempre sería de 80 kW.

Del mismo modo, el uso del variador permite adaptar el consumo de energía al nivel dinámico del agua del sondeo, variable en función de la época del año, de este modo al principio de la temporada de riegos, cuando el nivel del pozo está más alto, el consumo disminuye.

Evolución Pz Alaejos (2016-2019)

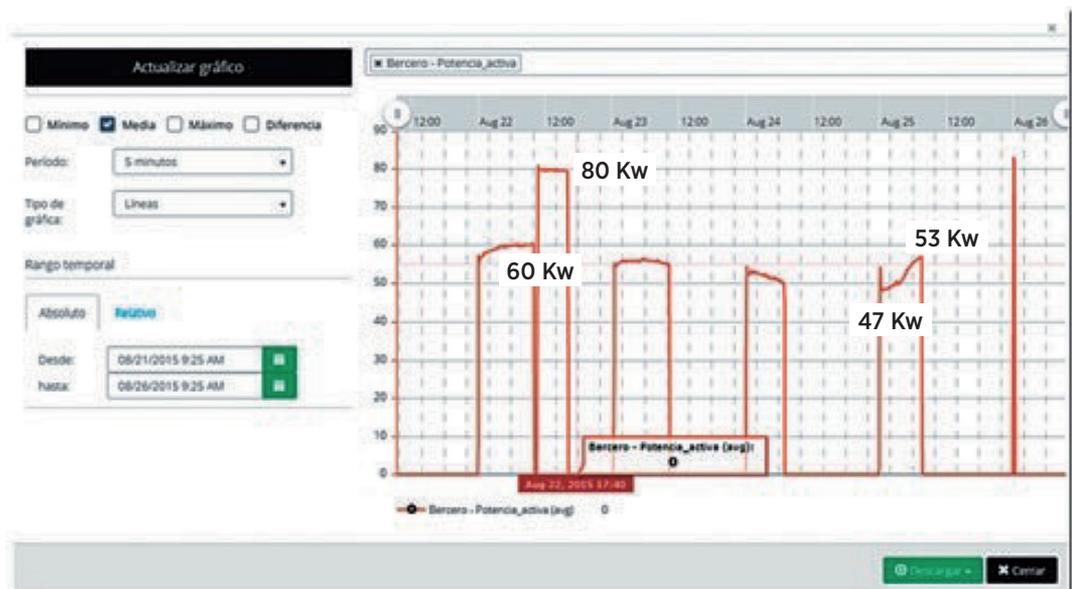


Variación del nivel piezométrico del agua a lo largo de los años y dentro de cada campaña, en sondeos de Alaejos (Va). Fuente CHD 2023

En la instalación del ejemplo, la utilización de variador ha permitido bajar el consumo, desde 80 kW cuando se regaba con la cobertura, a tan solo 60 kW regando con el pivote y emisores de baja presión, esto ha supuesto una disminución del coste energético del 22%, con un retorno de la inversión de 2,2 años. Además, la utilización de variador nos ha permitido reducir la contratación en período llano de 80 kW a 55 kW, esto ha supuesto supone un ahorro adicional en la factura eléctrica del 3,4%.

Pero todavía es posible afinar más, en el pivote del ejemplo la parcela tenía un desnivel de 16 m, el variador nos ha per-

mitido disminuir la energía consumida cuando el pivote se encuentra en la zona más baja de la parcela, para ello ha sido necesario instalar un transductor de presión en el alero del pivote, de forma que la frecuencia del variador sea determinada por la presión en dicho punto, en vez de la presión en el brocal del pozo. Como se muestra en la figura, esto nos ha permitido reducir la potencia absorbida de 57 kW a 47 kW cuando el pivote se encuentra en la zona más baja de la parcela, consiguiéndose un ahorro adicional del 2,3%. La comunicación entre el transductor de presión del alero y el variador se puede realizar por cable o bien mediante comunicación wifi.



Electrobomba

Hay diversos factores a través de los cuales se puede conseguir un óptimo rendimiento y un mínimo consumo eléctrico de la electrobomba.

En primer lugar, es necesario que la electrobomba elegida sea la adecuada para la presión y caudal requeridos, en muchas ocasiones las bombas no son las adecuadas, bien sea por estar sobredimensionadas y por no tener estar diseñadas para el caudal o presión requeridos.

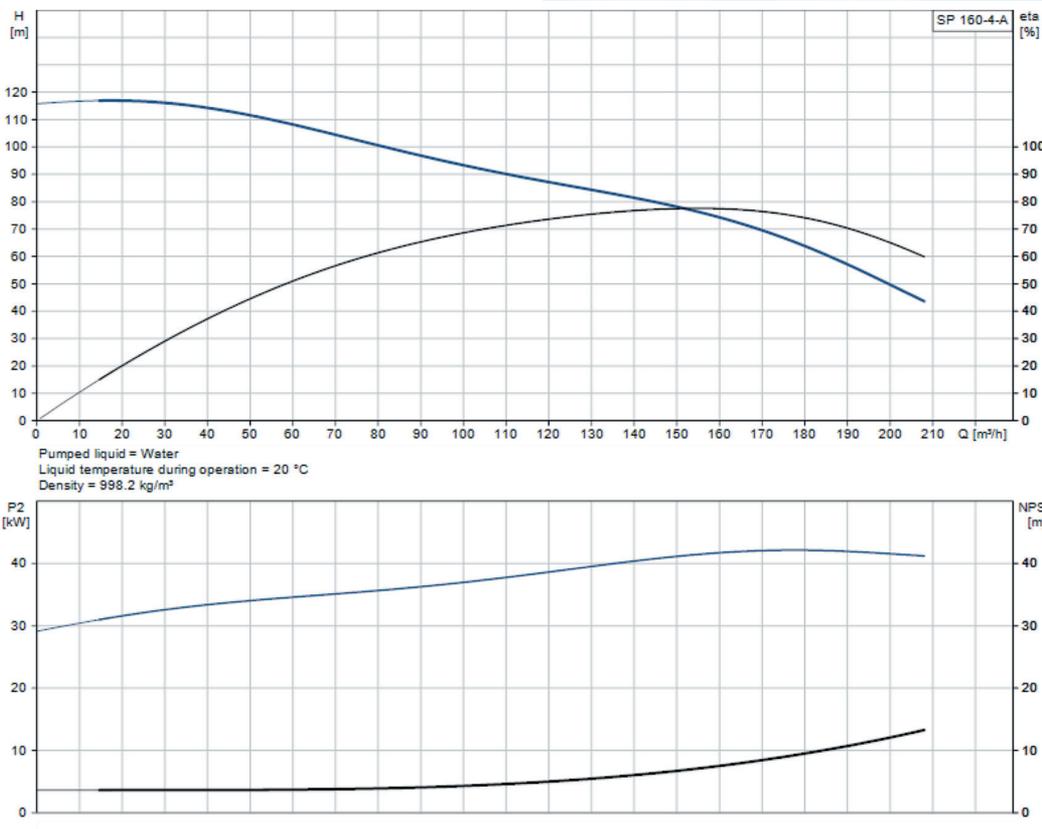
Otro factor que condiciona el consumo es la obsolescencia del equipo, debido a la utilización de una tecnología anticuada o al propio desgaste por el uso. Es fundamental realizar un mantenimiento preventivo de la bomba con objeto de detectar fallos y proceder a solucionarlos mediante actuaciones del siguiente tipo:

- Puesta a punto grupo motobomba
- Recorte del rodete
- Quitar o poner rodetes
- Sustituir bomba
- Sustituir motor
- Sustituir el equipo completo
- Evitar arranque directo del bombeo mediante la instalación de un variador de velocidad



Motor y bomba horizontal para impulsión desde balsa.





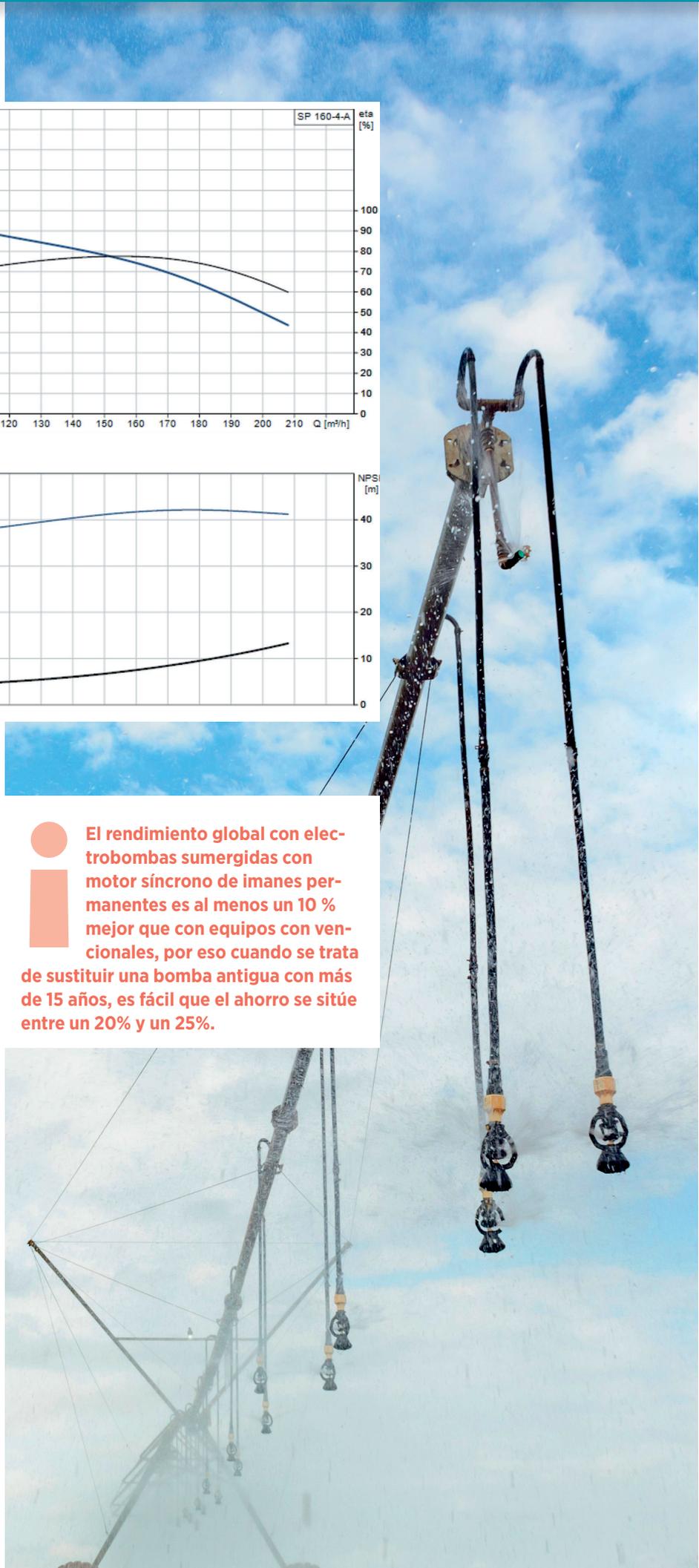
Curvas de una electrobomba sumergida.

En la actualidad se están empezando a utilizar motores de alto rendimiento en bombas sumergidas, se trata de motores síncronos con imanes permanentes, mediante los cuales es posible reducir el consumo al menos un 10% respecto a un motor convencional. Por este motivo y aunque se trata de equipos más caros, el ahorro compensa su elección.

Otro aspecto a tener en cuenta para optimizar el consumo eléctrico son las pérdidas en el cable, que pueden oscilar entre el 2% y el 4% en el caso de sondeos o perforaciones.

Para ampliación de este apartado aconsejamos la lectura del artículo denominado "Eficiencia energética y mantenimiento de grupos sumergidos de pozo profundo", publicado en la revista AIMCRA nº 124 pages 34-39.

El rendimiento global con electrobombas sumergidas con motor síncrono de imanes permanentes es al menos un 10% mejor que con equipos con convencionales, por eso cuando se trata de sustituir una bomba antigua con más de 15 años, es fácil que el ahorro se sitúe entre un 20% y un 25%.



EFICIENCIA HIDRÁULICA

La eficiencia hidráulica consiste en disminuir la presión necesaria a la salida de la bomba, pues menor presión supone menor consumo. Esto se consigue de dos formas, disminuyendo la presión de trabajo en los emisores del pivote, en los aspersores de la cobertura o en los goteros del riego localizado, y disminuyendo las pérdidas de carga en la red de distribución, es decir en las tuberías y elementos singulares de la red, tales como válvulas, contador, filtros, codos, etc.

Riego a baja presión

1. Riego a baja presión en pivotes

Es una de las propuestas más interesantes para reducir el coste energético, sustituyendo los emisores convencionales por emisores de baja presión (Nelson, Senninger y Komet), capaces de funcionar a una presión tan solo 0,7 kg/cm², frente a los 2 o 3 kg/cm² que se utilizan habitualmente.

Estos emisores utilizan una tecnología avanzada y producen gotas de tamaño medio y uniforme, poco sensibles a las pérdidas por evaporación y arrastre. La uniformidad de la distribución es similar a la de los emisores convencionales.

En ocasiones los pivotes disponen de cañón final, necesitando que llegue de una

presión de 3 a 4 kg/cm² al extremo del alero, esto hace que el consumo energético de la bomba sea mayor. Para poder regar en el pivote con emisores de baja presión. En el caso de necesitar regar el con cañón del pivot, las soluciones son de cuatro tipos:

1. Instalar un cañón de baja presión, como el Nelson R-55, que funciona bien a una presión de 1,2 kg/cm² y tiene un alcance de 12 m, pero que consigue una mejor calidad en el riego. Eliminar el cañón, y si es el caso compensarlo alargando los ramales de cobertura de las esquinas.
2. Instalar un emisor final sectorial de baja presión, como el Nelson R-xxxx, que funciona bien a una presión de 0,7 kg/cm² y tiene un alcance de 8 m, con una buena calidad en el riego.
3. Eliminar el cañón, y si es el caso compensarlo alargando los ramales de cobertura de las esquinas.
4. Mantener el cañón convencional, instalando un rebombeo que aumente la presión solo en el cañón, de forma que se mantenga el alcance.

Con la utilización de emisores de baja presión, el ahorro de energía que se consigue alcanza un 15% en el caso de sondeos, y puede llegar a un 30% o más en el caso de bombeos de captaciones superficiales.



Cañón para pivot Nelson R-55 de baja presión, 1,2 bar.

2. Riego a baja presión en aspersores de cobertura

En este caso las presiones de trabajo no llegan a ser tan bajas como en los pivotes, pero hay aspersores que en marcos de 12 x 12, de 12x15 y 12 x 18 tienen una buena uniformidad de distribución tra-

bajando. Con una presión de tan solo 1,5 a 2 kg/cm², frente a los aspersores convencionales, cuya presión de trabajo habitual es de entre 3 y 4 kg/cm². Hay varias marcas, como el Naan Dan Jain 5035 o el nuevo aspersor autocompensante Nelson R2000FX Vyrsa y otros.



Naan Dan Jain 5035, riega bien con 1,8 kg/cm² a 12 x 15

R2000FX Opciones de Montaje



Disminución de las pérdidas en la red

1. Tuberías

Cuando en las tuberías las pérdidas de carga son importantes según la longitud, por ejemplo 1, 2 o 3 kg/cm², podemos obtener ahorros importantes, bien sea modificando el manejo de la instalación, por ejemplo, haciendo que pase menos agua por la tubería a costa de alargar el tiempo de riego, o bien sustituyéndola por otra de mayor sección.

2. Válvulas, filtros, y contadores

En las válvulas puede haber pérdidas de carga al igual que en los contadores, pero estas no deben ser importantes.

Las pérdidas en estos elementos pueden ser por ejemplo 0,1 kg/cm² ó 0,2 kg/cm², pero no más, salvo que haya algún problema de obstrucción en la válvula o el contador.

Por supuesto, ninguna llave de paso de la red debería permanecer parcialmente estrangulada durante el riego, bien sea para disminuir el exceso de presión o caudal, pues esta práctica constituye una clara pérdida energética.

Especialmente grandes pueden ser las pérdidas de carga en los filtros, que se instalan cuando los elementos de suspensión en el agua pueden causar problemas de obturación en emisores, sobre todo en el caso del riego por goteo.



Disminuir pérdidas de carga en las tuberías de la red de riego, en este caso sustituyendo una tubería superficial de aluminio por otra de PVC enterrada de mayor sección.



En los filtros se pueden llegar a producir pérdidas de carga de hasta 2 y 3 kg/cm² debido al mal estado o falta de mantenimiento, en cuyo caso se deben sustituir por otros con un eficaz sistema de auto-limpieza y pérdidas de carga inferiores a 0,5 kg/cm².

EFICIENCIA HÍDRICA EN EL RIEGO

El agua más eficiente es la que se aplica en la cantidad adecuada y en el momento en que la planta lo necesita.

Llamamos eficiencia a la capacidad de producir más con menos, en este caso más cosecha con menos agua y por tanto con menos energía.

Para regar de manera eficiente lo primero es conocer las necesidades de los cultivos a lo largo de la campaña de riego y programar los riegos en base a dichas necesidades.

Existen diversos métodos, complementarios entre sí para conocer las necesidades de riego, que facilitan al agricultor la toma de decisiones en cuanto a cuándo, cuánto y cómo regar.

Los métodos de programación más conocidos son los siguientes:

- Balance Hídrico, se trata de llevar una contabilidad de las entradas de agua en la parcela a través del riego y las lluvias, y de las salidas de agua por el consumo del cultivo.
- Sondas de Humedad, consiste en medir directamente el contenido de humedad del suelo que está disponible para la planta a diversas profundidades.
- Teledetección, para la estimación de las necesidades de riego a partir del análisis de imágenes multispectrales tomadas por satélites o drones.

Además, para lograr la mayor eficiencia hídrica resulta de gran utilidad realizar la automatización y telecontrol de la instalación de riego.

El telecontrol de la instalación, abarca tanto a los grupos de bombeo, como al accionamiento de las válvulas hidráulicas a través de un programador de riegos. Otros elementos que nos ayudan en la gestión diaria del riego son los sistemas de posicionamiento del pívot mediante GPS, y los sistemas de telecontrol del propio pívote.



Filtro en mal estado en una instalación de riego por goteo desde balsa

1. Balance de agua en el suelo, mediante la monitorización de las lluvias y los riegos, y del consumo de agua del cultivo

El balance de agua consiste en tener en cuenta las entradas de agua en la parcela mediante los riegos y lluvias, y restarle el consumo del cultivo, en función de su evapotranspiración, calculada como el producto de la evapotranspiración de referencia y un coeficiente de cultivo dependiente del desarrollo del mismo denominado Kc. El resultado del balance nos muestra el agua que permanece disponible para las plantas en un momento determinado.

La disponibilidad de agua para el cultivo se debe principalmente a la precipitación y el riego, aunque se pueden producir pérdidas por escorrentía y percolación profunda.

Se puede medir el riego y la precipitación con contador y pluviómetro. La evapotranspiración es fácil de obtener utilizando datos de las estaciones meteorológicas cercanas, de organismos públicos tanto nacionales como regionales (AIMCRA, red SIAR, ITACYL, ...) o mediante

estaciones meteorológicas privadas que se pueden instalar en la propia parcela y que llevan implementados los cálculos para estimar la evapotranspiración de referencia a partir de distintos parámetros climáticos. La escorrentía y la percolación profunda se pueden estimar basándose en factores locales como las propiedades del suelo y la pendiente.

La mayor dificultad de este método es que necesita una gran disciplina a la hora de llevar la contabilidad de los riegos, lluvias y consumo de los cultivos. Sin embargo en estos momentos dicho problema se puede resolver mediante la colocación de contadores y pluviómetros conectados a una red de comunicaciones, que nos transmiten de forma automática las entradas de agua en cada sector de riego. En cuanto a los consumos de los cultivos, estos se obtienen de organismos oficiales (SIAR, Itacyl). Toda esta información se envía a una aplicación informática que realiza los cálculos y recomendaciones de riego al agricultor.

Recientemente AIMCRA en colaboración con el SIAR de La Rioja ha desarrollado la aplicación informática "Optiaqua", en la Comunidad de Regantes de la Margen Izquierda del Najerilla. Optiaqua (www.optiacua.org), mediante la cual se realiza el balance hídrico de forma automática para todas las parcelas y cultivos de la comunidad. Las lecturas de riegos y lluvias se obtienen a partir de la información registrada en el telecontrol de la comunidad, y el consumo de los se obtiene a partir de las observaciones meteorológicas proporcionadas por el SIAR de la Consejería de Agricultura de la Rioja. De este momento el agricultor dispone de recomendaciones de riego semanales sin necesidad de realizar ninguna recopilación de datos. Esta aplicación se explica con detalle en el artículo denominado *Optiaqua. Herramienta para gestionar los riegos*, publicada en la revista AIMCRA, mayo 2020, pág 32-33).



Válvulas automatizadas.

Software de telecontrol (riego solar)



Monitorización, automatización y telecontrol.



Gráfico obtenido mediante la aplicación Optiaqua.

Día	Lectura anterior	Lectura posterior	Lluvia	ETt	Kt	ETo	Kc	ETc	ET

Ejemplo de estadillo utilizado para determinar los consumos de la remolacha (Fuente: Técnicas de riego en la remolacha azucarera. AIMCRA, 2001)

Fecha	Nivel inicial	Riego	Lluvia	Consumo	Agua fácilmente disponible

Ejemplo de estadillo utilizado por los AGRICULTORES para seguir el balance de agua de cada una de sus parcelas de remolacha (Fuente: Técnicas de riego en la remolacha azucarera. AIMCRA, 2001)

2. Monitorización del contenido de humedad en el suelo mediante sondas de humedad

Las sondas de humedad permiten registrar en continuo la evolución del agua en el suelo. Es aconsejable utilizar un número suficiente de sensores que aporten información sobre la evolución de la humedad a diferentes profundidades, por una parte, se necesita información de la humedad en la zona radicular más activa (en general, entre 15 y 30 cm de profundidad) y, por otra parte, conocer la evolución del agua por debajo de la zona radicular (generalmente a unos 40 cm de profundidad en cultivos herbáceos). Con esto se puede programar el riego de manera que el agua humedezca la zona radicular, pero no alcance la zona más profunda, lo que va a permitir ahorrar agua, ahorrar en costes energéticos asociados al riego y evitar la contaminación por lixiviados. En resumen, se trata de aportar el agua necesaria para que ésta profundice sólo hasta donde se necesita, evitando excesos.

Los sensores de tipo capacitivo estiman la humedad a través de una propiedad, denominada permitividad compuesta del suelo (ϵ), que engloba las tres fases del suelo (sólidos, agua y aire). Debido a que el valor de la permitividad del agua (80) es muy superior a la del aire (1) y a la de los sólidos (2-5), pequeñas variaciones de la humedad provocan cambios importantes en el valor de esta propiedad, lo que permite estimar el contenido volumétrico de agua en el suelo.

La ubicación de los sensores de humedad debe ser cuidadosa, eligiendo un punto representativo, cuyas características sean las predominantes en la parcela. Para hacer esta elección, hay que basarse principalmente en el conocimiento de la parcela del propio agricultor, en la observación visual, y de forma más precisa, esta decisión se puede apoyar en un mapa de zonas de la parcela. En cuanto a la instalación de los equipos, es importante que los sensores estén en íntimo contacto con el suelo, evitando que queden bolsas de aire o que entren en con-

tacto con piedras, tratando de alterar lo menos posible el terreno.

Al utilizar sensores a distintas profundidades, es conveniente convertir los valores de Contenido Volumétrico de Agua (CVA) expresados como m^3 de agua/ m^3 de suelo, a valores de Agua Disponible para la Planta (ADP), expresados como porcentaje del agua que efectivamente puede utilizar el cultivo. Esto es debido a la variabilidad del suelo, de forma que un mismo valor de CVA tiene distinta disponibilidad de agua para el cultivo, dependiendo de la textura y estructura del suelo. La conversión de CVA a ADP se realiza a partir de la observación y análisis de la información recogida por los sensores, se determina el valor de CVA a capacidad de campo (máxima cantidad de agua que el suelo puede almacenar) para cada profundidad y se establece también, un valor de CVA para el punto de marchitez. Esto permite determinar el Agua Disponible para la Planta (ADP), como la diferencia entre capacidad de campo y punto de marchitez. A continuación, se establece un Nivel de Agotamiento Permisible (NAP), que corresponde al porcentaje de Agua Disponible para la Planta (ADP) que se permitirá que se agote del suelo para que el cultivo se desarrolle en condiciones idóneas.

Un contenido de humedad superior al 100% del ADP significaría un exceso de agua que se pierde por escorrentía o drenaje. Por otro lado, un contenido inferior



Aplicación Optiaqua.

al 50% del ADP podría ocasionar estrés hídrico en el cultivo y, por tanto, disminución de producción.

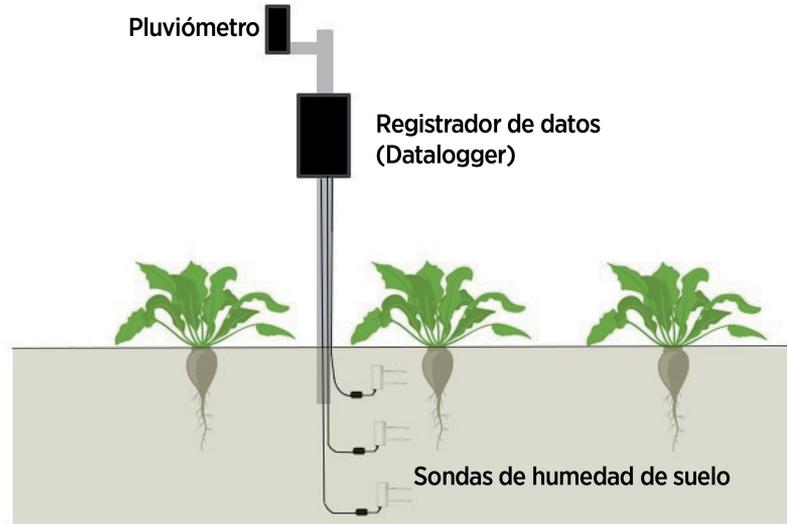
El resultado final que reciba el agricultor deber ser de fácil interpretación e inmediata aplicación. La gráfica de la página siguiente figura muestra la evolución del agua en el suelo a lo largo de una semana (aunque como se analiza diariamente, habrá que prestar especial atención a la parte de la derecha de la gráfica, correspondiente a la información más reciente). La línea verde (medidas del sensor situado a 15 cm de profundidad) y la línea roja (sensor a 30 cm) muestran la



Izqda.: sensor de humedad de suelo, en el momento de su instalación, antes de tapanlo para devolver el terreno a su estado inicial. Dcha.: Imagen de un registrador de datos (datalogger) y un pluviómetro instalado en uno de los demostradores utilizados en el proyecto EFFIREM.

evolución en la zona radicular. La línea azul muestra la evolución de la humedad a 40 cm de profundidad, zona que se ha establecido que no interesa humedecer con los riegos para evitar percolación y lixiviación. En el ejemplo indicado, los riegos aportados tienen una dosis adecuada, ya que aumentan la humedad en la zona radicular y no se pierde agua en profundidad. Observando el nivel al que se encuentra la humedad a 15 y 30 cm de profundidad, es el momento de aportar el siguiente riego.

La información diaria recibida por el agricultor sobre la evolución de la humedad del suelo, así como el efecto producido por cada riego aportado, le va a permitir tomar decisiones sobre la idoneidad de mantener la dosis de riego, aumentarla o reducirla, modificar o no los intervalos entre riegos y decidir cuándo aportar el siguiente riego.



Esquema de un punto de control de humedad del suelo, formado por 3 sondas de humedad de suelo, un registrador de datos y un pluviómetro para detectar los aportes de agua (riego o lluvia). Los dos sensores más superficiales aportan información de la zona de mayor actividad radicular. El tercer sensor, colocado a mayor profundidad, mide el contenido de humedad fuera de la zona de mayor influencia de las raíces (Fuente: Efi-Riego. Consultoría agrícola)

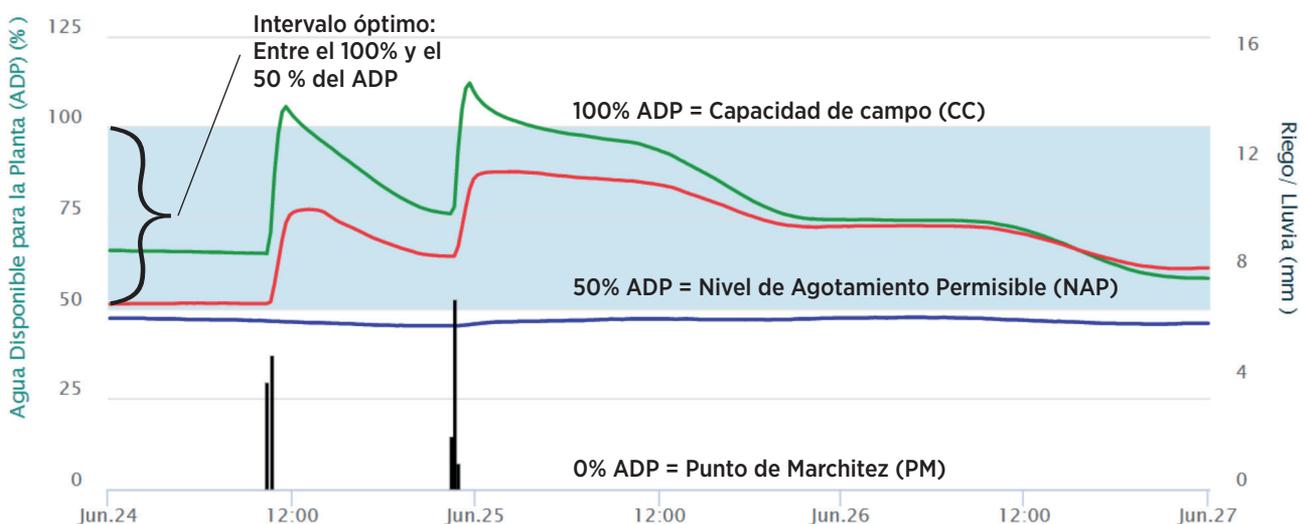
Gráfica de agua disponible para la planta (ADP) (Fuente: Efi-Riego. Consultoría agrícola)

Línea verde, valores obtenidos de la sonda de humedad instalada a 15 cm de profundidad (eje principal).

Línea roja, valores obtenidos de la sonda de humedad instalada a 30 cm de profundidad (eje principal).

Línea azul, valores obtenidos de la sonda de humedad instalada a 40 cm de profundidad (eje principal).

Barras negras, aportes de agua recogidos en el pluviómetro de la parcela (mm) (eje secundario).



3. Monitorización de la evolución del cultivo mediante teledetección

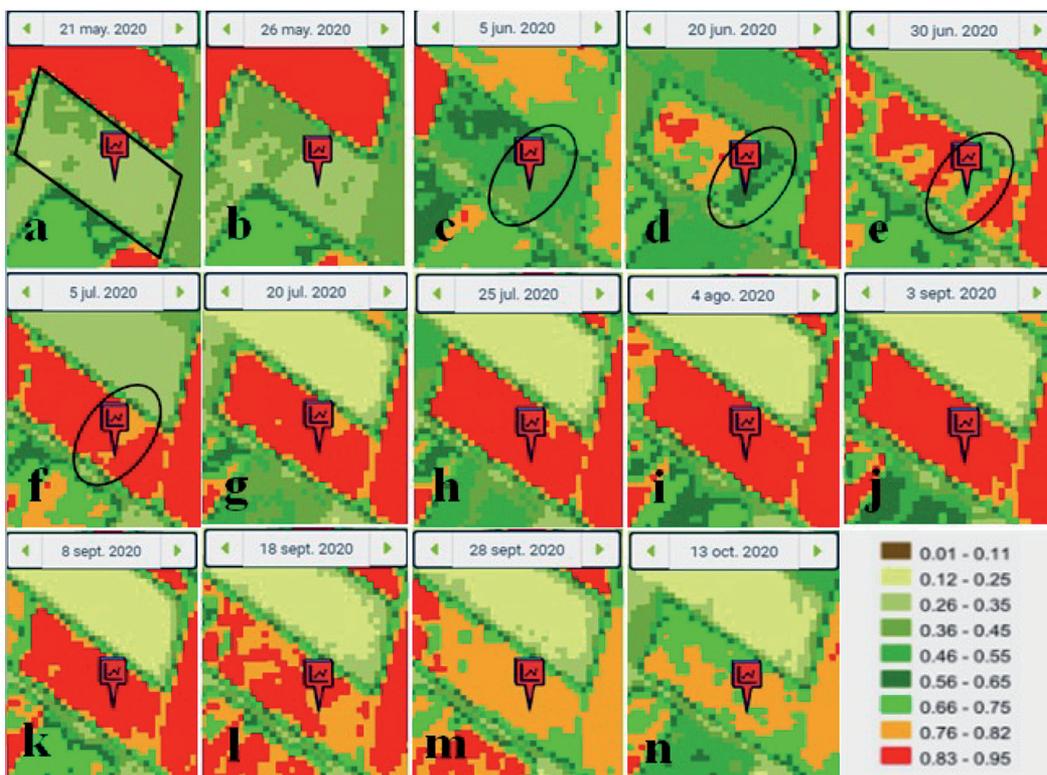
Los cultivos son procesos biológicos cuyo resultado final depende de lo ocurrido en cada uno de los días del ciclo. De la misma manera que una única inspección a pie de campo no aporta suficiente información para juzgar su pasado y futuro, una única imagen de teledetección sólo brindaría indicios vinculados a la fecha de captura. Por el contrario, una **secuencia de imágenes a lo largo del ciclo del cultivo equivaldría a una serie de inspecciones periódicas en campo**, permitiendo reconstruir los pormenores de su evolución.

Las cámaras que toman las imágenes desde los satélites son sensibles a ciertas longitudes de onda, tanto pertenecientes al espectro visible para el ojo humano como fuera de éste, y capaces de captar la radiación reflejada por los objetos (reflectancia), lo que permite elaborar índices cuantitativos basados en distintas relaciones entre la radiación absorbida y reflejada para cada longitud de onda, como el Índice de Vegetación por Diferencias Normalizado (NDVI, por sus siglas en in-



Monitorización de la evolución de los cultivos mediante teledetección (Fuente: Agrisat Iberia, S.L.)

glés). Este índice tiene una relación lineal con la fracción de radiación fotosintéticamente activa (fAPAR) absorbida por la cubierta vegetal, de la que se deriva un significado biofísico que le hace especialmente robusto y útil para la agricultura. **El NDVI cuantifica el tamaño fotosintético relativo de la cubierta vegetal.** Sus valores oscilan entre 0.15, para superficies donde no hay biomasa fotosintéticamente activa (suelo desnudo o cubierto por biomasa seca con independencia de su cantidad), y 0.91 para superficies donde la biomasa presenta una capacidad fotosintética máxima (típicamente un buen cultivo de alfalfa justo antes del corte).



Secuencia de imágenes a lo largo de un ciclo de cultivo (Fuente: Agrisat Iberia, S.L.)

Conocer la evolución espacial y temporal de la vegetación, caracterizada por los valores del NDVI, permite **monitorizar los cultivos, identificar y localizar posibles desviaciones o anomalías ligadas a factores ambientales o de manejo que hayan podido afectarle**. Por ejemplo: planificación de las visitas a campo, determinación de los puntos de muestreo o control, heterogeneidad y diferencias dentro de la misma parcela en momentos fenológicos críticos, identificación de errores de aplicación de fertilizantes o fitosanitarios, fallos de los sistemas de riego, comparación relativa de variedades, evaluación de pautas de manejo (estrategias de fertilización o protección de cultivos, fechas y densidades de siembra, etc.), incidencia de daños por accidentes meteorológicos, plagas o enfermedades...

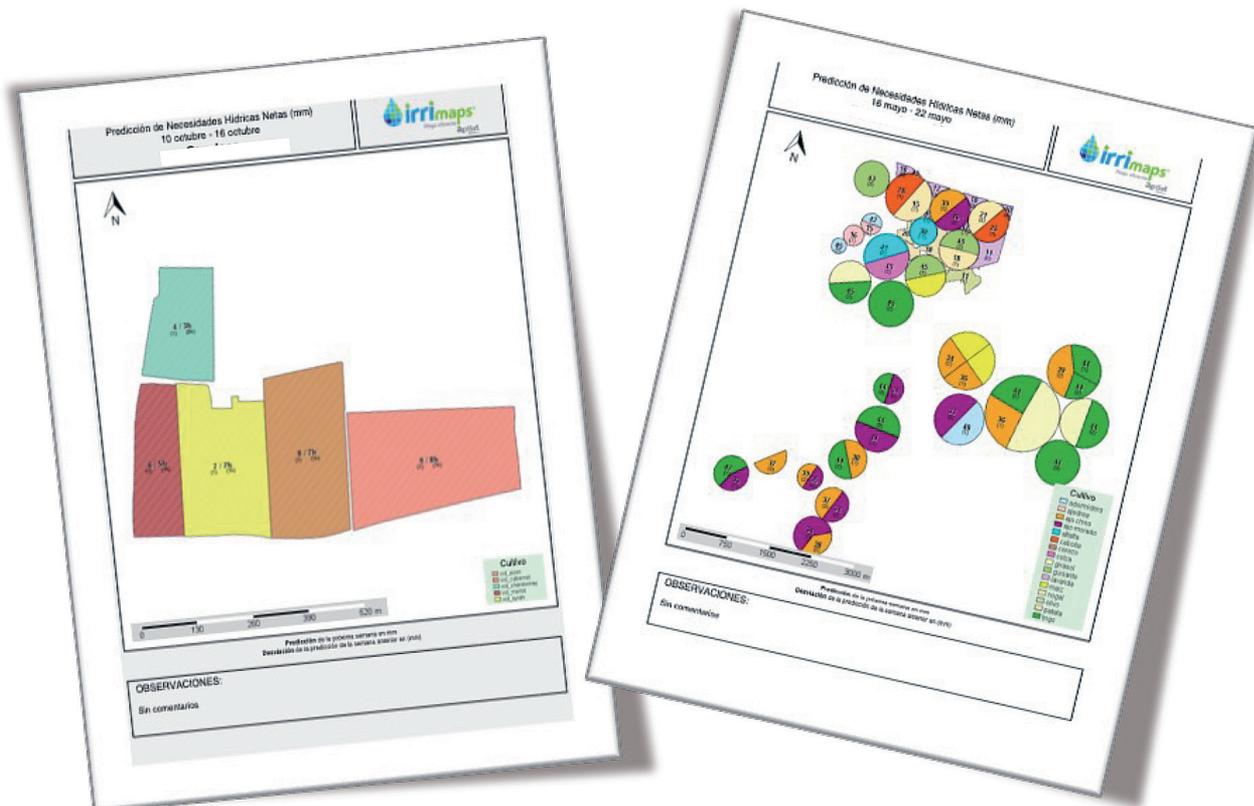
Mapas de predicción. Los valores numéricos de cada parcela representan la estimación de las necesidades hídricas de los cultivos, con una semana de antelación (Fuente: Agrisat Iberia, S.L.)

Esta **monitorización también permite determinar las necesidades hídricas del cultivo con una semana de antelación**. La metodología, ampliamente utilizada y comúnmente aceptada, para la estimación de las necesidades de agua de los cultivos es la denominada "Coeficiente de

cultivo-Evapotranspiración de referencia" (K_c-ET_0), descrita de forma detallada en el manual de FAO56 (Allen et al., 1998).

Este procedimiento considera que las necesidades hídricas del cultivo (evapotranspiración del cultivo; ET_c) es el producto de dos factores. Uno de ellos, la demanda evaporativa de la atmósfera, o evapotranspiración de referencia (ET_0), que actualmente se puede estimar con una semana de antelación y el otro, un coeficiente de cultivo (K_c) que indica la relación existente entre la cubierta vegetal del cultivo en cuestión y la de un cultivo patrón, utilizado como estándar de referencia para la medición y cálculos experimentales de la ET_0 , habitualmente una pradera de festuca uniformemente segada a una altura de 10-15 cm.

Aunque FAO56 profundiza en el significado del coeficiente de cultivo y lo divide en diversos componentes, por operatividad, en la práctica agrícola diaria, de forma simplificada se suele emplear la fórmula denominada de coeficiente de cultivo "único". La estimación de las necesida-



des hídricas de un cultivo, en ausencia de estrés hídrico, se realizaría mediante la siguiente ecuación:

$$ET_c = K_c \cdot ET_o$$

La determinación del K_c adecuado, en base a los valores empíricos recogidos en la bibliografía, a menudo implica un alto grado de incertidumbre, máxime cuando se trata de seleccionar un único valor que defina a una parcela de cultivo completa. Las investigaciones científicas han puesto de manifiesto la buena relación lineal existente entre NDVI y el coeficiente de cultivo, lo que permite obtener un K_c realmente ajustado a la situación del cultivo en cada momento, por ejemplo:

$K_c = a \cdot NDVI + b$, coeficiente de cultivo único, siendo a y b valores numéricos dependientes del tipo de cultivo y sistema de riego.

La información periódica que brinda la teledetección permite la consulta de los valores de NDVI para cada píxel de la imagen, con lo que resulta posible el empleo de la fórmula anterior y por tanto el cálculo de los valores del coeficiente de cultivo (K_c) derivado de la situación real del cultivo en cada lugar y momento. Esta información, obtenida de forma remota gracias

a los satélites, sería el equivalente a tener en campo un sensor por cada píxel (100 m²) capaz de registrar en continuo la evolución de la biomasa del cultivo, gracias a la cual se puede establecer una metodología rigurosa y objetiva, que garantiza la reducción de la incertidumbre y el mejor ajuste posible del cálculo de las necesidades hídricas netas al estado real del cultivo, en cada parcela o unidad de manejo de riego concreta y a lo largo del tiempo.

4. Monitorización del consumo energético, presión, caudal y nivel del agua en el pozo

La monitorización del consumo energético, presiones, caudales y nivel de agua en el pozo nos permite conocer el rendimiento de la bomba, y en base a ello programar los mantenimientos preventivos del sistema de bombeo.

En los campos demostrativos realizados en durante estos años, gracias a la utilización de estas tecnologías, se ha conseguido mejorar la gestión del riego y la calidad de vida del agricultor, al tiempo que se han logrado mejoras importantes en el rendimiento de los cultivos y ahorro de agua y energía.





Unión Europea
Fondo Europeo Agrícola
de Desarrollo Rural
Europa invierte en las zonas rurales



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE AGRICULTURA, PESCA
Y ALIMENTACIÓN



PNDR
Programa Nacional
de Desarrollo Rural
2014-2020

EFFIREM

Reducción del coste energético del riego en remolacha
mediante eficiencia energética y reducción del
consumo de agua

Actuación cofinanciada por la Unión Europea



Unión Europea
Fondo Europeo Agrícola
de Desarrollo Rural

Europa invierte en las zonas rurales

INVERSIÓN:

Coste total	585.366,20 €
Ayuda	540.166,20 €
Cofinanciación UE	80 %