

# BOLETÍN INFORMATIVO



Servicio de Asesoramiento al Regante (SAR) **Nº18**

## GESTIÓN DEL RIEGO A TRAVÉS DE SENSORES AGRÍCOLAS

Cuando se toman decisiones sobre la programación de los riegos, habitualmente necesitamos dar respuesta a cuestiones como: el volumen de agua que necesitará el cultivo, la dosis y la frecuencia a aplicar. Por otro lado, debe existir la seguridad de que nuestras órdenes de riego se han ejecutado según lo previsto y que no ha existido ningún evento que, en definitiva, haya impedido suministrar el agua que nuestro cultivo precisa. En este sentido, los sensores agrícolas son una herramienta muy valiosa que pueden dar respuesta a los aspectos anteriormente descritos.

En primer lugar, los sensores permiten hacer una monitorización del clima, registrando variables como la humedad ambiental, temperatura, viento y radiación. Las mismas, permiten el cálculo de otras variables como el **déficit de presión de vapor (DPV)** o la **evapotranspiración (ETo)**, que pueden vincularse de una forma muy estrecha a la variación de las necesidades hídricas de los cultivos.

Por otro lado, la sensorística desempeña un papel fundamental en la definición de la dosis y la frecuencia de riego, lo que realmente tiene un notable impacto sobre la optimización de los aportes de agua. Es decir, podemos hacer un cálculo muy

preciso de las necesidades de agua de un cultivo, pero si no se toman decisiones correctas sobre la forma de aplicarla a éste, la eficiencia del riego podría ser muy baja. Por ejemplo, si aplicáramos un volumen de riego concentrado en un único pulso de larga duración, en un momento de bajas necesidades hídricas (a primera hora de la mañana), habría mayores pérdidas por infiltración profunda o drenaje. Además, el cultivo podría llegar a faltarle agua en algún momento del día, ya que las reservas de agua del suelo podrían estar agotadas cuando las necesidades del cultivo fueran mayores (medio día). Por el contrario, un riego fraccionado en diferentes pulsos a lo largo del día suministraría agua a un ritmo más ajustado a estas necesidades, además de reducirse posibles pérdidas por escorrentía o drenaje profundo.

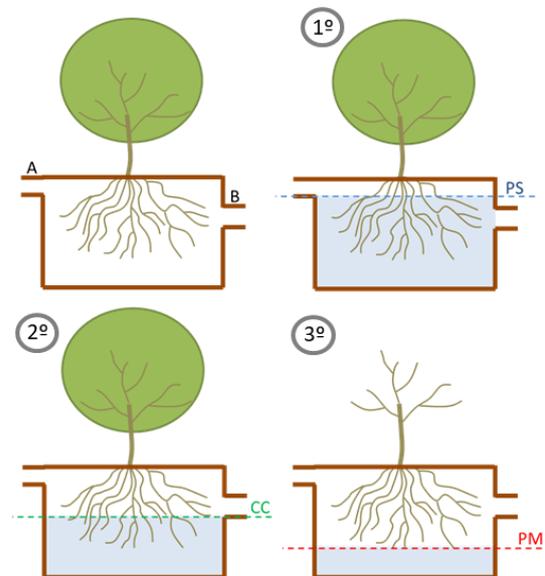
Para la definición de la dosis y la frecuencia de riego, es esencial conocer como evolucionan las reservas de agua en el suelo. Ésta, junto con el aire, se "almacenan" en los espacios presentes entre las partículas del suelo o sustrato, conocidos como poros. Las propiedades físicas de adhesión y cohesión del agua, permiten que sea retenida en los éstos por un fenómeno conocido como **capilaridad**. La fuerza con la que los poros succionan y retienen el agua se denomina **potencial mátrico** y está directamente relacionado con el diámetro de estos. En este caso, los poros más pequeños permiten almacenar el agua con más energía o potencial

mátrico. Por el contrario, cuando los poros o espacios son demasiado grandes, su potencial mátrico es muy bajo, presentando baja o nula capacidad para retener el agua. En este caso, estos huecos quedan ocupados por aire, que permiten la oxigenación de las raíces.

Por tanto, después de producirse un riego y dejar drenar el agua que no puede ser almacenada por los poros de mayor diámetro (**agua gravitacional**), encontraremos huecos ocupados por agua y otros por aire. A la situación anteriormente descrita se la conoce como **capacidad de campo**. A continuación, la planta dispondrá de esta humedad para satisfacer su demanda hídrica y comenzará a absorberla de los poros. No obstante, para que esto se produzca, la fuerza de succión por parte de las raíces deberá ser mayor que la energía con la que los poros la retienen, es decir, que deberán de alguna forma, vencer el potencial matricial. Esta capacidad de absorción es limitada, no siendo capaces de extraer la humedad atrapada en los poros de menor diámetro. Cuando la humedad únicamente se encuentra presente en el suelo almacenada a potencial matricial no disponible por las plantas, se dice que este ha alcanzado el punto de **marchitez permanente**. Por tanto, el **agua útil** para la planta, es aquella que queda comprendida entre el punto de capacidad de campo y el punto de marchitez permanente.

La ilustración 1 representa de forma esquemática el estado de humedad del suelo en las situaciones anteriormente descritas. Aunque no representa exactamente el comportamiento físico del agua en el suelo, permite mejorar la comprensión de estos conceptos. Imaginemos un recipiente como el de la imagen, que dispone de una entrada "A" para su llenado y un desagüe "B". Si se comienza a incorporar agua manteniendo "B" cerrado, se alcanzará el nivel

representado en el primer caso. En condiciones reales, este estado representaría el punto de saturación (PS), en el que todos los poros del suelo se encontrarían cargados de agua.



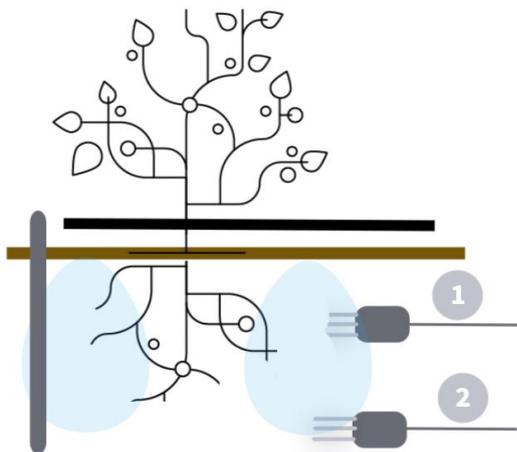
**Ilustración 1.** Representación esquemática de los puntos de saturación (PS), capacidad de campo (CC) y punto de marchitez permanente (PM).

Si a continuación, se abre el desagüe "B", por acción de la gravedad, el nivel descendería hasta el borde inferior del mismo. En el suelo ocurre algo similar, cuando la fuerza de la gravedad es superior a la de retención por los poros de mayor diámetro, estos tienden a vaciarse, siendo ocupados por aire. En la situación n°2, quedaría representado el punto de capacidad de campo (CC).

A continuación, las raíces de la planta comenzarían a absorber el agua restante, hasta alcanzarse el nivel representado en la situación n°3. Recordemos, que este mecanismo de absorción podía producirse en el suelo debido a que el potencial hídrico de las raíces era superior al potencial mátrico de los poros. En la situación representada, el punto de marchitez (PM) se establecía como límite para la absorción radicular, quedando el

agua retenida con mucha energía en los poros de menor diámetro.

Una vez analizados los diferentes puntos de humedad por los que atraviesa un suelo después de un riego, resulta evidente, que para conocer con precisión su agua útil para el cultivo, debemos disponer de **sensores de humedad de suelo**, herramientas que nos permiten detectar cuando se alcanza el punto de saturación de humedad, capacidad de campo y el punto de marchitez permanente. A la hora de instalarlos en el suelo, siempre deben establecerse dos zonas diferenciadas de monitorización. La primera, correspondería a los perfiles donde existe desarrollo de raíces, ofreciendo información sobre el nivel de agotamiento del agua útil de suelo. En la práctica, permitiría conocer la **frecuencia de riego** que sería necesario aplicar. La segunda zona monitoriza los perfiles donde ya no hay presencia de raíces y permite detectar la pérdida de agua por debajo de éstas. En relación con la programación del riego, permite definir los **tiempos de riego** que deben aplicarse.



**Ilustración 2.** Esquema de ubicación de los sensores en el suelo. 1. Zona de

monitorización de perfiles radiculares. 2. Zona de monitorización de perfiles no radiculares. Abajo. Representación de dinámicas de humedad de perfil radicular (rojo claro) y perfil no radicular (rojo oscuro).

Para el establecimiento de la frecuencia de riego es necesario interpretar las dinámicas de humedad registradas en la primera zona de monitorización, identificando comportamientos a nivel gráfico que puedan vincularse con los puntos de saturación, capacidad de campo y marchitez permanente.

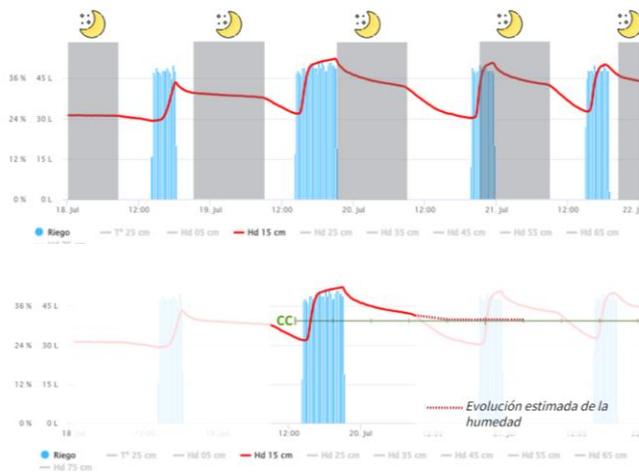
El **punto de saturación de humedad** se caracteriza a nivel gráfico por un aplanamiento de la curva de humedad. Éste, responde a la incapacidad del suelo para seguir incrementando su contenido de humedad a pesar de que continúa aportándose agua en el riego.



**Ilustración 3.** Representación gráfica del punto de saturación de humedad del suelo..

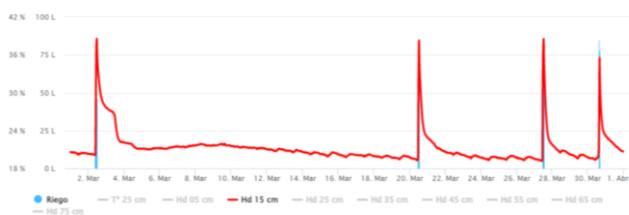
En el caso de la **capacidad de campo**, a nivel gráfico se produce un punto de inflexión o una estabilización de la caída de humedad. En la práctica, este comportamiento es más visible cuando el consumo de la planta es bajo o nulo (durante la noche).





**Ilustración 4.** Análisis para la determinación de la capacidad de campo. Arriba, puede observarse la caída de humedad producida durante el día, debido a la activación del consumo de agua por el cultivo. Las mismas, tienden a estabilizarse durante la noche. Abajo, se describe una evolución estimada de la humedad suponiendo que se anulara el consumo de la planta durante el día. La citada estabilización se produciría en el punto de capacidad de campo.

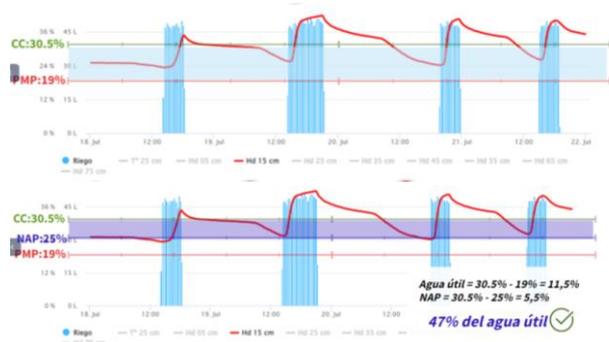
Por otro lado, el **punto de marchitez permanente** se caracteriza por una estabilización continuada de la curva de humedad. La misma no se ve alterada en periodos de consumo del cultivo ya que éste no presenta capacidad para extraer más agua del suelo.



**Ilustración 5.** Representación gráfica del punto de marchitez permanente.

Finalmente, una vez definidos los puntos de humedad anteriores, se procede a la determinación del agua útil del suelo. En la práctica, los riegos deberán activarse cuando se haya consumido un porcentaje de esta reserva de agua en el suelo. El mismo, es conocido como **nivel de**

**agotamiento permisible (NAP)** y oscila en valores entre el 25%-50% del agua útil del suelo.



**Ilustración 6.** Ejemplo de definición a nivel gráfico del agua útil y del nivel de agotamiento permisible (NAP)

Que las activaciones de los riegos se produzcan a un mayor o menor nivel de agotamiento permisible, dependerá de aspectos vinculados a la naturaleza del cultivo:

- El diferente grado de **tolerancia al estrés hídrico** del cultivo. Por ejemplo, un almendro u olivo permitirá un mayor nivel de agotamiento de la humedad del suelo que un arándano.
- El **estado fenológico** también influirá sobre el grado de disposición de humedad que debería mantenerse en el suelo. Por ejemplo, durante la fase de cuajado o engorde de frutos no deberían asumirse niveles de agotamiento altos. Por el contrario, en fechas de baja actividad vegetativa, sería permisible alcanzar un NAP mayor.

Como herramienta para apoyar la toma de decisiones sobre cuanto agotar las reservas de humedad de un suelo, existen en el mercado unos sensores llamados **dendrómetros**, que tienen capacidad para medir el crecimiento vegetativo. El análisis de su comportamiento, de alguna forma permite relacionar el impacto del riego sobre este parámetro y determinar que

niveles de agotamiento del suelo pueden estar ocasionado estrés hídrico en el cultivo. Este aspecto ayuda a definir de forma ajustada la humedad a la que deben activarse los riegos. Por otro lado, permiten establecer los periodos en los que la actividad de la planta es baja y que representarían una ventana de oportunidad para el ahorro de agua.

2. Aplicación de los sensores en la programación del riego

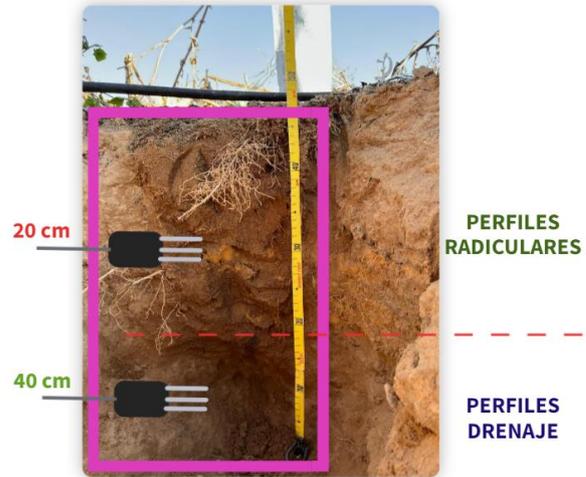


**Ilustración 7.** Evolución del crecimiento vegetativo (curva verde) en respuesta a los cambios de humedad en el suelo (curva azul). Puede observarse como aumentos en el contenido de humedad no generan un mayor crecimiento. Por el contrario, caídas excesivas del contenido de agua en el suelo si pueden llegar a generar estrés en la planta, manifestado por una parada o regresión del crecimiento vegetativo.

Una vez que se ha interpretado la información de humedad monitorizada en los perfiles donde existen raíces, quedaría definida la frecuencia de riego. No obstante, para lograr un riego optimizado, también deberán definirse adecuadamente los tiempos de riego. Es decir, podemos aplicar una **frecuencia** correcta (activamos en el NAP), pero si el tiempo de riego es excesivo, es posible que se produzcan pérdidas de agua por debajo de las raíces del cultivo. Recordemos, que es la monitorización de esta última zona la que permite obtener información para apoyar la definición de los **tiempos de riego**.

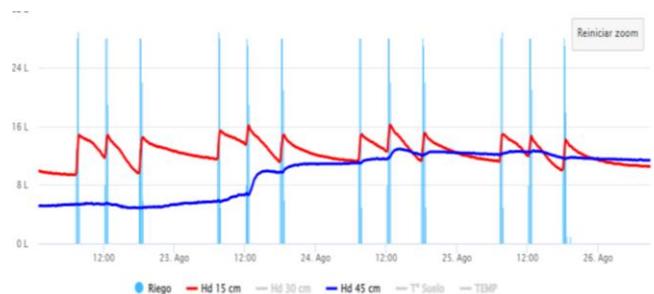
Para la instalación de sensores que puedan representar una referencia válida para determinar el agua que pueda estar llegando a perfiles profundos, previamente,

debe evaluarse la distribución de las raíces en el suelo o hasta que perfiles queremos que se desarrollen. Por otro lado, debe analizarse la evolución de la textura y estructura del suelo en profundidad, evitando instalar por debajo de capas que impidan el paso de agua.

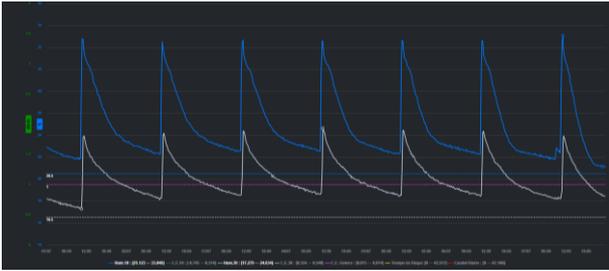


**Ilustración 8.** Ejemplo de análisis de los perfiles del suelo para reconocimiento de la distribución radicular y posible detección de perfiles impermeables.

Finalmente, a nivel gráfico es deseable que en los perfiles donde no hay raíces no se registre impacto de la humedad después de los riegos. Siempre, debe evitarse el inicio de tendencias de acumulación de humedad o en el caso de suelos más permeables, dinámicas de entrada y salida de agua en este perfil.



**Ilustración 9.** Ejemplo de dinámica de acumulación de humedad en perfiles no radiculares (curva azul).



**Ilustración 10.** Ejemplo de dinámicas de pérdidas de agua en suelos permeables, caracterizada por entradas y salidas de agua en el perfil no radicular después de un riego.

El comportamiento adecuado de la humedad en profundidad se logra cuando ésta describe una dinámica estable en el tiempo. Esto, significaría que el agua de los riegos alimentaría levemente la humedad de este perfil, lo que garantizaría a su vez, que se estuvieran hidratando adecuadamente los perfiles superiores donde hay raíces. Por otro lado, se aseguraría el lavado del exceso de sales fuera de los perfiles descritos.

Además, a la hora de programar el tiempo de riego deben tenerse en cuenta varios factores, que pueden influir en el desarrollo de la humedad en profundidad:

- El primero es la **humedad presente en los perfiles superiores (radiculares)**. Cuando el nivel de saturación es mayor, es decir, activamos los riegos en un porcentaje de humedad alto, el impacto que suele producirse en profundidad es mayor. Esto, es debido a que los perfiles superiores, en estas condiciones, tienen una menor capacidad de retener el agua que se aporta y por tanto, ésta tiende a orientarse hacia perfiles profundos con mayor facilidad. En definitiva, podemos programar un mismo tiempo de riego, pero si las activaciones de éstos progresivamente se producen en un porcentaje de humedad mayor, es muy probable que el impacto en

profundidad evolucione de la misma forma.

- El grado de **absorción de agua por parte del cultivo**. Es posible que dos riegos se activen en un mismo porcentaje de humedad y que tengan un impacto en profundidad diferente debido a la absorción de agua por parte de las plantas. De alguna forma, éstas tomarían el agua del suelo antes de que pudieran alcanzar perfiles más profundos del suelo.

Por tanto, para lograr ser eficientes en la programación de los tiempos de riego, es muy importante que se logre una regularidad en las activaciones de los riegos y además, se prevea de forma continuada la evolución de las necesidades hídricas del cultivo.

En conclusión, podría decirse que los sensores son una herramienta imprescindible para apoyar decisiones en la programación del riego, permitiendo la definición más precisa de las necesidades de agua de los cultivos, así como la dosis y frecuencia de aplicaciones más optimizada. Además, no debe obviarse, que el desarrollo de un riego eficiente puede tener un impacto significativo en la reducción de los costes de explotación.

Por otro lado, situaciones de escasez de agua como la que atravesamos actualmente, despertará un mayor interés por esta tecnología, no obstante, el crecimiento que pueda experimentarse deberá producirse de una forma "sostenible", a través del impulso de las competencias para la interpretación de la información generada y la participación de especialistas que puedan apoyar esta acelerada transformación.