

PROGRAMACIÓN Y CONTROL DEL RIEGO BASADO EN LA LECTURA DE SENSORES

Raúl Ferreyra E. Ingeniero Agrónomo M. Sc. Investigador INIA La Cruz

1. Programación de riego

La programación del riego consiste en estimar el agua requerida por el cultivo para su desarrollo, en la cantidad y momento adecuado, con el objetivo de maximizar la producción y obtener un producto de calidad.

La programación del riego se divide en dos etapas: una predictiva que corresponde a la programación propiamente tal, y una etapa de control a través de la cuantificación de la humedad del suelo y/o el estado hídrico de la planta. La etapa predictiva de la programación del riego tiene por finalidad establecer *a priori* los tiempos y las frecuencias entre riegos que permitan obtener un adecuado desarrollo de los cultivos.

Para que la programación pueda funcionar adecuadamente, es necesario considerar una serie de factores:

- * Condiciones climáticas, que determinan la demanda evaporativa de la atmósfera o la evapotranspiración de referencia (ET_o).
- * Características propias del cultivo, como estado de desarrollo, período fenológico (coeficiente K_c) y distribución del sistema radicular.
- * Características propias del suelo, tales como la capacidad de retención de humedad, aireación, profundidad y su variabilidad espacial, entre otras.

En caso de utilizar equipos de riego presurizado, se debe considerar las características propias de éste, como la intensidad de precipitación real del equipo o el caudal aplicado por planta.

En la Figura 1 se muestra cómo se relacionan los factores antes indicados.

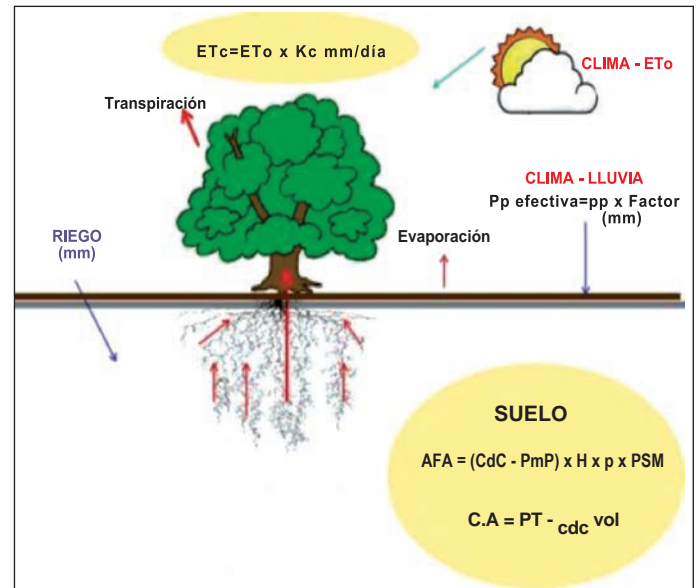


Figura 1. Factores que intervienen en la programación del riego. AFA = Agua fácilmente aprovechable; CdC = Capacidad de Campo del suelo base volumen (%); PmP = Punto de marchitez permanente base volumen (%); H = profundidad de raíces (mm); p = fracción de agotamiento o umbral de riego; PSM = Fracción de suelo mojado por los emisores de riego.

2. ¿Cómo elaborar un programa de riego?

Una adecuada programación del riego requiere separar los sectores de riego en unidades de suelo homogéneas, en cuanto a textura, estructura, profundidad y porcentaje de piedra, de manera de determinar en cada sector el agua fácilmente aprovechable (AFA), la cual se expresa en milímetros (mm). El AFA corresponde al agua posible de almacenar en el suelo y que las plantas pueden extraer sin afectar el rendimiento.

Proyecto apoyado por



Tomando en consideración los antecedentes anteriores, es posible establecer tiempos y frecuencias de riego que permitan definir un programa de riego para el cultivo.

2.1 Frecuencia de riego

Hace algunos años, los programas de riego localizado en frutales sólo consideraban altas frecuencias de aplicación de agua (riegos diarios) para reponer el agua evapotranspirada por el cultivo, independiente del tipo de suelo. Actualmente, se ha demostrado que los riegos de alta frecuencia son más apropiados para suelos de baja capacidad de retención de humedad, de texturas medias a gruesas, alta macroporosidad y delgados. En suelos más pesados, de mayor capacidad de retención de humedad y de poros más finos, los riegos de baja frecuencia (cada 2 a 5 días o más) se han mostrado más promisorios. Las aplicaciones diarias de agua en este tipo de suelo pueden significar problemas de aireación, desarrollo de ciertas enfermedades y escasa área de suelo mojada.

Para definir la frecuencia de riego más apropiada es necesario conocer el AFA de cada cuartel o sector de riego y la evapotranspiración del cultivo (ETc). Una tabla práctica de AFA según clases texturales se presenta en el Cuadro 1, expresada como milímetros (mm) de agua para 50 cm de profundidad de suelo.

Cuadro 1. Rango de agua fácilmente aprovechable (AFA) en suelo de diferente textura (PSM =0,5; sin piedras, se usa una fracción de agotamiento P de 0,4).

Textura de Suelo	Rango de AFA (mm)	
Arenosa	6	10
Franco Arenosa	9	15
Franca	14	20
Franco Arcillosa	16	22
Arcillo Arenosa	18	23
Arcillosa	20	25

2.2. Tiempo de riego (cantidad de agua a aplicar)

El tiempo de riego corresponde a las horas que debe operar cada sector del equipo de riego para suplir la evapotranspiración del cultivo (ETc). En zonas de lluvia se debe considerar la magnitud de las precipitaciones, ya que parte de las necesidades de agua del cultivo serán suplidas por éstas.

El tiempo de riego requerido para suplir los requerimientos de riego debe considerar la evapotranspiración del cultivo, la precipitación efectiva y la intensidad de precipitación del equipo de riego, de acuerdo a las siguiente relaciones:

$$Tr = NB / IPP$$

$$NB = (ETc) / (Efa)$$

$$IPP = qa \times Ne / 10000$$

Donde:

Tr = tiempo de riego (horas/día)

NB = requerimiento de riego del cultivo o necesidades brutas (mm/día)

ETc = Evapotranspiración del cultivo (mm/día)

Efa = Eficiencia de aplicación del método de riego (%/100)

Efa goteo = 0,9

Efa microaspersión = 0,85

IPP = intensidad de precipitación del equipo (mm/h)

Ne = número de emisores por hectárea

qa = caudal emisor (l/h)

El tiempo de riego se puede calcular como horas de riego por día. Sin embargo, dependiendo del agua fácilmente aprovechable (AFA) la frecuencia de riego puede ser más distanciada. En el caso de riegos de baja frecuencia, el tiempo de riego se obtiene multiplicando el tiempo de riego diario (h/día) por la frecuencia de riego (días) (Ejemplo).

3. Sistemas de control del riego

El monitorear la humedad del suelo puede ayudar a controlar y ajustar los programas de riego. Una forma de controlar la humedad del suelo es a través de sensores de capacitancia FDR.

El agua disponible para la planta (ADT) aumenta después de un riego. Una vez que éste haya finalizado,

la humedad disminuye en el suelo debido a las pérdidas de agua por drenaje en los poros gruesos y por transpiración de la planta. Cuando disminuye la velocidad con que se pierde la humedad en el suelo es porque éste está llegando a CdC, ya que los macroporos dejaron de drenar (Figura 2). Este valor corresponde a 100% del ADT.

Durante la noche el contenido de agua disminuye muy poco y durante el día decrece en forma importante debido a la transpiración de la planta, cuando el suelo tiene un adecuado contenido de humedad (Figura 2).

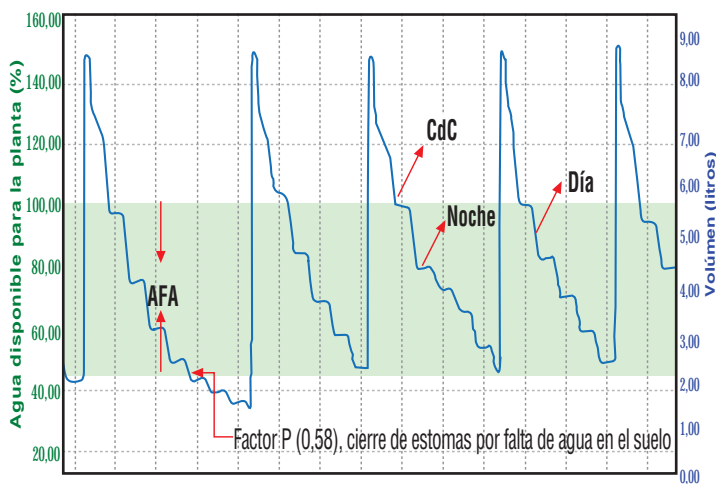


Figura 2. Variaciones de humedad en el suelo entregadas por los sensores de capacitancia (FDR).

3.1 Ajuste de un programa de riego usando sondas capacitivas (FDR).

Un buen programa de riego, que considere la evapotranspiración de referencia (Eto), el coeficiente de cultivo (Kc) y la retención de humedad del suelo, permite una buena aproximación a los requerimientos reales de riego del cultivo. Con el uso complementario de sondas de medición continua de la humedad del suelo (FDR), se puede mejorar la estimación de los requerimientos de agua del cultivo y con esto disminuir los volúmenes de agua que se pierden por percolación profunda, disminuyendo los costos de energía eléctrica y optimizando la relación agua - aire en el suelo. En la Figura 3 se muestra cómo a través del análisis de las curvas de humedad de suelo, obtenida con un sensor FDR, se puede ajustar un programa de riego, modificando el AFA, en este caso, en palto.

En este ejemplo, se ajustó el agua fácilmente aprovechable (AFA) y los requerimientos de lavados. El programa de riego se inició con una estimación del AFA de 15 mm y se terminó ajustándola a 21 mm. Esto no significó un aumento o disminución de la cantidad de agua a aplicar. Sólo tuvo que ver con mejorar la oportunidad del riego, lo que permitió aumentar la extracción de agua del suelo por las plantas (transpiración) ante un mismo volumen de agua aplicado. Esto se podría deber a que cuando los niveles de oxígeno son bajos, las plantas restringen la transpiración afectando el crecimiento. En la Figura 3 se observa cómo fue aumentando el AFA en el programa de riego hasta que las plantas comenzaron a extraer agua del suelo a un ritmo adecuado. También, se observa que los tiempos de riego obtenido con el programa a partir de AFA, Efa y ETc (ver Ejemplo), se ajustan bastante a lo mostrado por el sensor. Los sensores muestran que cuando se riega el suelo queda a CdC hasta los 60 cm (sonda azul), no perdiéndose agua por drenaje bajo esta profundidad. La sonda azul después del riego no sobrepasa el contenido de humedad a CdC.

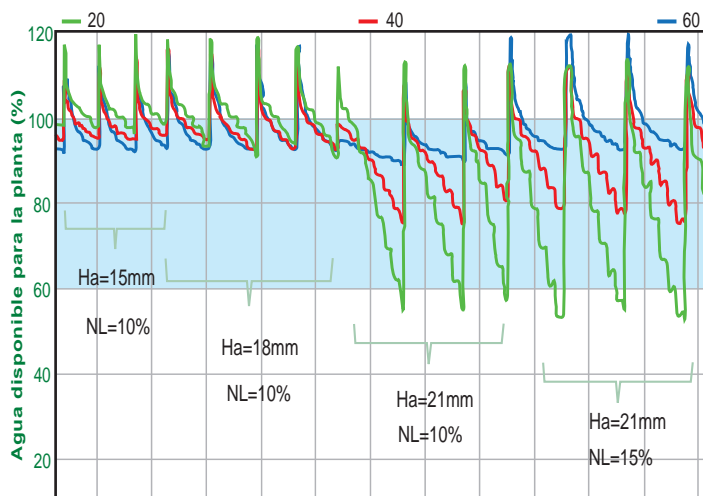


Figura 3. Ejemplo de ajuste de un programa de riego a través del uso de sensores de humedad continuos (FDR). Línea verde indica agua disponible para las plantas a los 20 cm profundidad, roja a los 40 cm profundidad y azul a los 60 cm profundidad. El agua útil es entre 100 y 60%, la que corresponde al 40% de agotamiento del agua disponible para las plantas.

Ejemplo: Desarrollo de un programa de riego, utilizando datos históricos, en un huerto de paltos.

Cálculo del agua fácilmente aprovechable (AFA) del sector de riego.

CdC	38,25	% vol.
PmP	17	% vol.
H	500	mm
PSM	0,5	%/100
P	0,4	
Pied	0	%/100
AFA	21,25	

$$AFA = [(CdC - PmP) / 100] \times (1 - Pied) \text{ (mm)}$$

H= Profundidad de raíces (mm)

Pied= Fracción de piedras presentes en el perfil de suelo

Cálculo de la intensidad de precipitación del equipo de riego en el sector.

qa	45	l/h
Ne / hectárea	417	
Área (hectárea)	10000	m ²
IPP	1,88	mm/h

IPP= Intensidad de precipitación del equipo (mm/h)

$$IPP = qa \times Ne / 10000$$

qa= caudal emisor l/h

Ne= número de emisores por hectárea

Planilla programa de riego, utilizando datos medios mensuales.

Meses	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
ETc mm/día	5,68	5,93	4,45	3,33	2,00	1,13	0,77	1,10	2,07	3,23	4,60	5,32
Kc	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72
ETc mm/día	4,09	4,27	3,21	2,40	Controlar con sensores				1,49	2,32	3,31	3,83
ETc mm/mes	126,72	119,52	99,36	72,00					44,64	69,68	99,36	118,80
PP 85 PO mm/mes	0,0	0,0	0,0	0,0					0,0	0,0	0,0	0,0
Pef mm/mes	0,0	0,0	0,0	0,0					0,0	0,0	0,0	0,0
AC mm/mes	0,0	0,0	0,0	0,0					0,0	0,0	0,0	0,0
NN mm/mes	126,7	119,5	99,4	72,0					44,6	69,7	99,4	118,8
Efa	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
NB mm/mes	149,1	140,6	116,9	84,7					52,5	82,0	116,9	139,8
NB mm/día	4,81	5,02	3,90	2,73					1,69	2,64	3,90	4,51
IPP mm/día	1,875	1,875	1,875	1,875					1,875	1,875	1,875	1,875
Tiempo de riego (h)	2,6	2,7	2,1	1,5					0,9	1,4	2,1	8,5
AFA	21,3	21,3	21,3	21,3	21,3	21,3	21,3	21,3	21,3	21,3	21,3	21,3
Frecuencia riego (h)	6,1	5,9	7,8	10,4					16,8	10,8	7,6	6,5

Nota: Si llueve más de 10 mm, ajustar programa con observación de humedad en terreno o sensor tipo FDR.

Proyecto apoyado por

