GOBIERNO DE CHILE
COMISIÓN NACIONAL DE RIEGO

PROYECTO
SEPOR

Servicio de
Programación y Optimización
del Uso del Agua de
Riego

BOLETÍN INFORMATIVO

Programación de riego usando Estaciones Meteorológicas Automáticas

www.sepor.cl

Introducción

La programación del riego es una metodología que permite determinar el nivel óptimo de agua a aplicar en cada período fenológico de la vid o frutal, de acuerdo a las interacciones específicas de suelo, planta, clima; las cuales son integradas a través de modelos bio-matemáticos. Esta técnica consiste en establecer la frecuencia (¿Cuándo regar?) y tiempo de riego (¿Cuánto regar?) de acuerdo a sectores homogéneos de suelo y vigor del huerto o viñedo. Para programar el riego es esencial estimar tanto la evapotranspiración real y la cantidad de agua que puede almacenar el suelo en la zona de raíces. La programación del riego es entonces un procedimiento que permite establecer el momento oportuno del riego y la cantidad exacta de agua a aplicar en cada período fenológico. Sin embargo, esta técnica requiere de la calibración local de algunos parámetros incorporados en el modelo matematico tales como coeficiente de cultivo, criterio de riego y componentes del balance de energía (Figura 1). Lo anterior ha estado asociado, en los países desarrollados, al uso de sistemas informáticos y a redes de estaciones meteorológicas automáticas que permiten entregar en tiempo real la programación del riego. De este modo, en varios países del mundo se observa una fuerte tendencia a usar estaciones meteorológicas automáticas para programar el riego y así optimizar el uso del agua en la producción de frutales, viñas, hortalizas y cultivos. A nivel mundial, esta tecnología iniciada en los años ochenta ha tenido un gran impacto económico en el sector agrícola, pues ha permitido mejorar significativamente la eficiencia del uso del agua y ha contribuido a incrementar la calidad y rendimiento de los productos agrícolas de exportación.

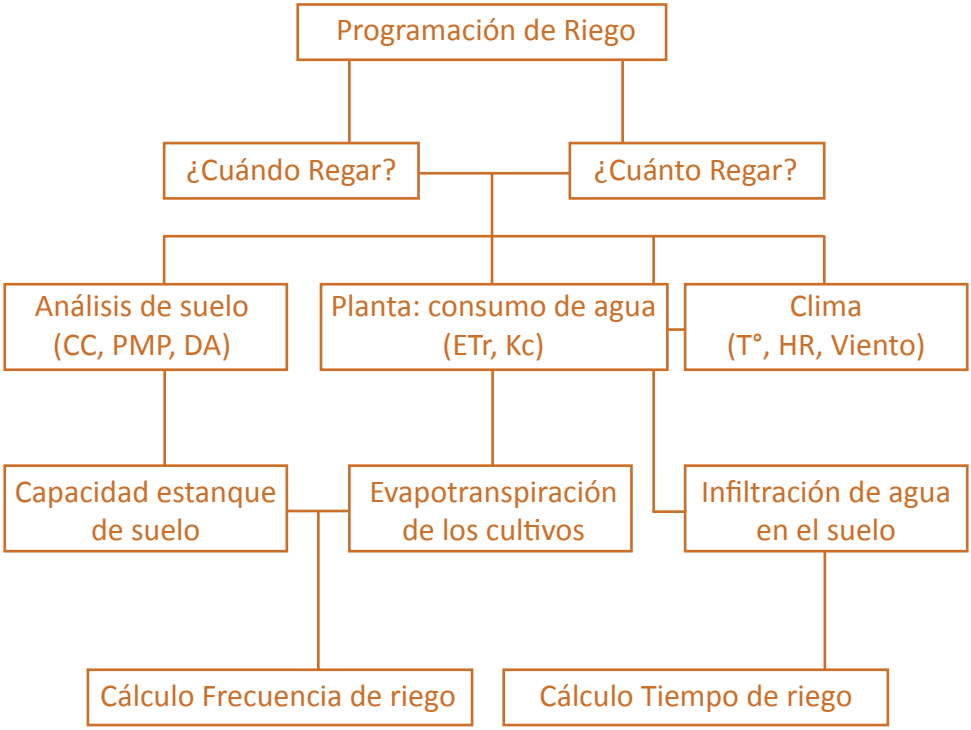


Figura 1. Esquema para la toma de decisiones con Programación del Riego

En Chile, el año 2007 la Comisión Nacional de Riego generó el programa "Servicio de Programación y Optimización del Agua de Riego - SEPOR, áreas regadas 2ª Sección Río Cachapoal (VI región), Maule Norte y Río Longaví (VII región)", el cual es ejecutado por el Centro de Investigación y Transferencia en Riego y Agroclimatología (CITRA) de la Universidad de Talca. A través de este proyecto, se implementó una red de 12 estaciones meteorológicas con el objeto de asesorar a los pequeños y medianos agricultores asociados a las Organizaciones de Regantes: Junta de Vigilancia 2ª Sección Río Cachapoal, Canal Maule Norte y la Junta de Vigilancia del Río Longaví, para mejorar la toma de decisiones relacionada con la programación del riego. Con este sistema, los productores obtienen la información climática procesada, en forma rápida y expedita, durante toda la temporada a través del sitio web www.sepor.cl. En términos generales, gracias a este sistema, la asesoría en terreno y el programa de transferencia tecnológica, se ha logrado reducir los tiempos de riego en alrededor del 50%, lo que significa un ahorro de agua entre un 30% y un 60%, sin afectar la calidad de los productos generados.

Determinación del consumo de agua

La medición del clima es fundamental para estimar el consumo de agua o evapotranspiración real (ETreal) del cultivo. Esta variable de entrada en el modelo de programación del riego se cuantifica utilizando la evapotranspiración de referencia (ET_o), la cual es corregida por un coeficiente de cultivo (Kc) (ecuación 1). La evapotranspiración (ET) de un cultivo es el agua que necesita para su crecimiento óptimo. La ET representa

la suma del agua necesaria para cubrir la transpiración que realizan las plantas desde sus partes verdes (sobre todo desde las hojas), y la evaporación que se produce desde la superficie del suelo. La evapotranspiración se expresa en mm de altura de agua evapotranspirada en cada día (mm d^{-1}) o cada mes (mm mes^{-1}) y es una cantidad que variará según el clima y el cultivo.

$$ETreal = ET_o * Kc \quad (1)$$

donde:

ETreal = evapotranspiración real del cultivo (mm d^{-1})
ET_o = evapotranspiración de referencia (mm d^{-1})
Kc= coeficiente de cultivo (adimensional).

La cantidad de agua que las plantas transpiran es mucho mayor que la que retienen (utilizada para crecimiento y fotosíntesis). La transpiración puede considerarse, por lo tanto, como el consumo de agua de la planta. La cantidad de agua que suponen ambos procesos, transpiración y evaporación, suele considerarse de forma conjunta ya que es muy difícil calcularla por separado. En la práctica del riego, el estudio de la evapotranspiración sirve para determinar las necesidades de riego de los cultivos, programar los riegos para alcanzar una eficiencia óptima, diseñar sistemas de riego, dimensionar embalses, evaluar los costos de energía y mano de obra necesarios, etc.

a) Evapotranspiración de referencia (ET_o)

Corresponde a la cantidad de agua transpirada por unidad de área y por unidad de tiempo desde una cubierta vegetal de pasto (alfalfa o festuca), entre 8 a 15 cm que cubre completamente el suelo y que presenta un óptimo manejo agronómico (buenas condiciones de humedad del suelo, estado sanitario y fertilidad). En otras palabras, el cultivo se encuentra en óptimas condiciones de crecimiento y la ET_o va a depender solamente de las condiciones atmosféricas predominantes (Figura 3).

La mayoría de los modelos de evapotranspiración utilizados en agricultura han sido desarrollados en condiciones de referencia.

En relación a esto, la FAO recomienda utilizar el modelo de Penman-Monteith como base para determinar las necesidades de agua de los cultivos, en reemplazo de las metodologías propuestas por Doorembos y Pruitt en 1976. La ecuación de Penman-Monteith recomendada por la FAO para la determinación de la evapotranspiración de referencia diaria, se presenta a continuación (ecuación 2):

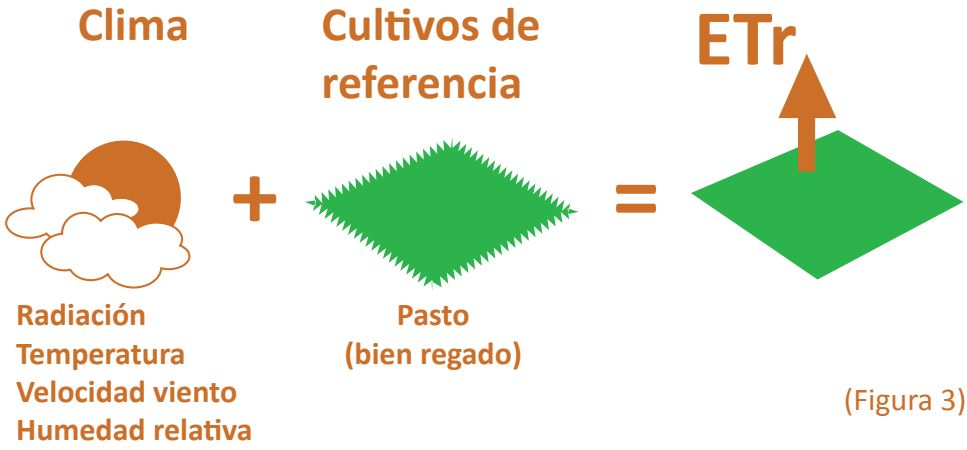
$$ET_o = \frac{0{,}480 * \Delta\,(Rn - G) + \gamma * \frac{900}{(T + 273)}\, U_2 * (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma * (1 + 0{,}34 * U_2)} \qquad (2)$$

Donde:

ET_o = evapotranspiración de referencia (mm día-1)
Rn = radiación neta (MJ m-2d-1)
G = calor del suelo (MJ m-2d-1)
T = temperatura del aire a 2 m de altura (ºC)
Δ = pendiente de la curva de presión de vapor en saturación (kPa ºC-1)
U2 = velocidad del viento (m s-1)
es = presión de vapor a saturación (kPa)
ea = presión de vapor actual (kPa)

γ = constante sicrométrica (kPa ºC-1)

El uso de una Estación Meteorológica Automatica (EMA) permite llevar un registro detallado y continuo de información climática cada ciertos intervalos de tiempo, durante las 24 horas del día, los 365 días del año. Esto nos permite recolectar la información necesaria, que mediante un programa computacional normalmente incorporado a la estación, permite calcular la ETr, utilizando fórmulas físicas, normalmente la de Penman-Monteith.



(Figura 3)

b) Coeficiente de cultivo

Para calcular la evapotranspiración real o de cultivo (ETreal) se debe corregir la evapotranspiración de referencia por un coeficiente de cultivo "Kc", el cual se ha calculado para cada especie y fase de desarrollo. La ETreal va a ser máxima cuando el cultivo se encuentra bajo buenas condiciones de suministro hídrico y en un suelo próximo a su capacidad de campo.

Para calcular las necesidades de agua de las plantas, además de conocer las características físicas del suelo y las condiciones climáticas de la zona, se hace imprescindible conocer además, las características del cultivo. La influencia del cultivo y su estado fenológico es importante ya que las necesidades hídricas dependerán del tipo de planta y de su estado de desarrollo. Las características propias de las plantas dicen relación con la resistencia al flujo de agua que presentan a nivel del sistema radical, la resistencia a la pérdida de agua a través de los estomas de las hojas, la arquitectura de la planta (altura, rugosidad) y el grado de cubrimiento del suelo, que es variable a lo largo de la estación de crecimiento. Estos diferentes factores se engloban en el coeficiente de cultivo Kc, que es propio de cada especie y variable a lo largo del ciclo de vida del mismo. El coeficiente de cultivo describe las variaciones de la cantidad de agua que las plantas extraen del suelo a medida que se van desarrollando, desde la siembra hasta la cosecha. En relación a esto, en los cultivos anuales normalmente se diferencian 4 etapas o fases de cultivo (Figura 4):

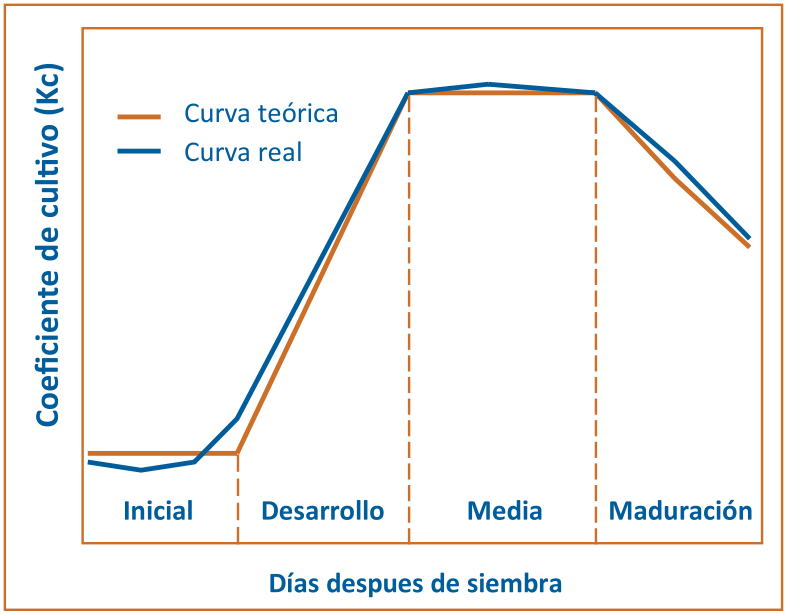


Figura 4. Evolución del Coeficiente de cultivo (Kc) en el tiempo.

Inicial: Desde la siembra o brotación hasta un 10% de la cobertura del suelo.

Desarrollo: Desde el 10% de cobertura y durante el crecimiento activo de la planta.

Media: Entre floración y fructificación, correspondiente en la mayoría de los casos al 70-80% de cobertura máxima de cada cultivo.

Maduración: Desde madurez hasta cosecha.

Como se observa en la Figura 4, el Kc comienza siendo pequeño y aumenta a medida que la planta cubre más el suelo. Los valores máximos de Kc se alcanzan en la floración, se mantienen durante la fase media y finalmente decrece durante la fase de maduración. Al respecto, lo mejor es disponer de valores de Kc para cada cultivo obtenidos localmente y para distintas fechas de siembra, pero en ausencia de esta información se pueden usar valores referenciales de Kc para varios cultivos (Cuadro 1).

Cuadro 1. Valores de coeficientes de cultivo (Kc) para distintos cultivos herbáceos, hortícolas y frutales.

Cultivo	Fase del cultivo			
	Inicial	Desarrollo	Media	Maduración
Arveja	0,45	0,75	1,15	1,00
Berenjena	0,45	0,75	1,15	0,80
Cebolla (guarda)	0,45	0,70	1,05	0,75
Lechuga	0,45	0,60	1,00	0,90
Maíz	0,40	0,80	1,15	0,70
Melón	0,45	0,75	1,00	0,75
Papa	0,45	0,75	1,15	0,85
Pimentón	0,35	0,70	1,05	0,90
Poroto verde	0,35	0,70	1,10	0,90
Sandía	0,45	0,75	1,00	0,70
Tomate	0,45	0,75	1,15	0,80
Zanahoria	0,45	0,75	1,05	0,90
Zapallo	0,45	0,70	1,00	0,70
Maravilla	0,35	0,75	1,15	0,55
Remolacha	0,40	0,80	1,15	0,80
Soja	0,35	0,75	1,10	0,60
Tabaco	0,35	0,75	1,10	0,90
Avena	0,35	0,75	1,10	0,40
Cebada	0,35	0,75	1,15	0,45
Sorgo	0,35	0,75	1,10	0,65
Trigo	0,35	0,75	1,15	0,45
Nogal en activo crecimiento	0,5	1,15	0,85 18	3,0
Berries (arbustos)	0,3	1,05	0,5	1,5

Fuente: Jara y Valenzuela, (1998); Allen et al. (1998)

Para árboles frutales, comúnmente los coeficientes de cultivo suelen ser expresados por meses (Cuadro 2) y usualmente en función del grado de cobertura del suelo, el cual indica el porcentaje de superficie de suelo que ocupa la masa arbórea. En caso de que exista algún cultivo puesto en la entrehilera, los Kc aumentarían debido al consumo de este cultivo. Lo mismo ocurriría si existieran malezas.

Es importante señalar que los cuadros anteriores presentan Kc referenciales, los que en estricto rigor deben ser evaluados y validados para cada zona donde se deseen aplicar, básicamente porque estos varían dependiendo el lugar donde se encuentra el cultivo.

Cuadro 2. Valores de Coeficiente de cultivo (Kc) en frutales.

	Valores de Kc mensuales											
	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun
Cítricos	0,85	0,85	0,85	0,85	0,80	0,80	0,75	0,75	0,80	0,80	0,80	0,85
Palto	0,85	0,85	0,85	0,85	0,80	0,80	0,75	0,75	0,80	0,80	0,80	0,85
Olivo	0,50	0,50	0,65	0,60	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,60	0,65	0,50
Manzano	---	---	---	0,40	0,60	0,85	1,00	1,00	0,95	0,70	---	---
Peral	---	---	---	0,40	0,55	0,75	0,90	0,90	0,70	0,65	---	---
Durazno	---	---	---	0,40	0,55	0,75	0,90	0,90	0,70	0,65	---	---
Damasco	---	---	---	0,40	0,55	0,75	0,90	0,90	0,70	0,65	---	---
Cerezo	---	---	---	0,40	0,60	0,85	1,00	1,00	0,95	0,70	---	---
Ciruelo	---	---	---	0,40	0,55	0,75	0,90	0,90	0,70	0,65	---	---
Uva de mesa	---	---	---	0,45	0,60	0,70	0,85	0,85	0,70	0,60	0,50	---
Vid vinífera	---	---	---	---	0,15	0,35	0,50	0,30	0,20	---	---	---

Fuente: Jara y Valenzuela, (1998)

Conclusiones

La adecuada programación del riego, permite responder a las cuatro preguntas fundamentales del riego: ¿para qué regar?, ¿cómo regar?, ¿cuándo regar? y ¿cuánto regar?. Esta técnica se está haciendo cada vez mas relevante dentro de los costos de producción de los agricultores, quienes además de regar, deben maximizar sus recursos hídrico y energéticos, considerando el efecto en el entorno. Por ende, la programación de riego basada en parámetros climáticos resulta una alternativa viable, la cual puede ser adoptada más fácilmente por un gran número de agricultores. Sin embargo se hace imprescindible la validación y calibración local de los modelos, por lo que sólo de esta forma se asegurará obtener el máximo provecho a la inversión y se obtendrá el éxito en el objetivo productivo deseado. Para ello la CNR y el CITRA están trabajando, de tal manera que un mayor numero de productores pequeños y medianos puedan acceder a esta tecnología.

Bibliografía Citada

1. Allen R.G., Pereira, L.S, Raes, D and Smith, M. 1998. Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irri gation and Drainage. Paper 56.

2. Doorembos, J. y Pruitt, W.O. 1976. "Las necesidades de agua de los Cultivos". Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Colección de Riego y Dre naje. Paper 24, FAO. Roma. 190 pp.

3. Jara, D. y Valenzuela, A. 1998. Necesidades de Agua de los Cultivos. CNR-U. de Concepción. Chillán, Chile. 24 p.

COMISION NACIONAL DE RIEGO
DIRECCIÓN
Alameda 1449. Piso 4, Santiago-Chile
(Metro Moneda)
Web: www.cnr.cl

HORARIOS DE ATENCIÓN
De Lunes a Jueves de 9:00 a 18:00hrs
y Viernes de 9:00 a 17:00hrs.

La Comisión Nacional de Riego ha habilitado la Oficina de Informaciones, Reclamos y Sugerencias (OIRS), la cual puede ser contactada mediante las siguientes vías:
Teléfono: (56-2) 4257908 - e-mail: cnr@cnr.gob.cl

El presente documento constituye un material de divulgación preparado por el Centro de Investigación y Transferencia en Riego y Agroclimatología (CITRA) de la Facultad de Ciencias Agrarias de la UNIVERSIDAD DE TALCA.
Campus Talca, Avenida Lircay s/n, teléfono 71-200426, Talca.
“Permitida su difusión total o parcial, citando la fuente”

www.citrautalca.cl