



MANUAL DIGITAL

PROGRAMACIÓN Y CONTROL DE RIEGO





MANUAL DIGITAL

PROGRAMACIÓN Y CONTROL DE RIEGO



ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN

2. COMPONENTES DE LA PROGRAMACIÓN DE RIEGO

2.1 Demanda hídrica del cultivo

2.1.1 Demanda evaporativa de la atmósfera

2.1.2 Coeficiente de cultivo (Kc)

2.2. Intensidad de precipitación del equipo (Ipp)

2.3. Agua Fácilmente Aprovechable en el suelo (AFA)

2.3.1 Sistema radicular del arándano

2.3.2 Porcentaje de suelo mojado (PSM)

2.3.2.1 Estimación del porcentaje de suelo mojado

2.3.3 Estimación del agua fácilmente aprovechable por el cultivo

3. ELABORACIÓN DE UN PROGRAMA DE RIEGO

3.1 Tiempo de riego diario

3.2 Frecuencia de riego

3.3 Elaboración del programa de riego

4. CONTROL Y AJUSTE DEL PROGRAMA DE RIEGO

5. BIBLIOGRAFÍA

1. INTRODUCCIÓN

La programación de riego consiste en determinar el tiempo y la frecuencia de riego que requiere un cultivo, para evitar que se produzca tanto un déficit hídrico como un exceso de agua en el suelo, que limiten su desarrollo. Ambos fenómenos afectan la producción y la calidad de la fruta.

Hay que tener presente que el arándano es un cultivo sensible al déficit hídrico en prácticamente todos sus estados de desarrollo, particularmente en los períodos de división y elongación celular, durante el desarrollo del fruto, y también en postcosecha período de inducción floral de la temporada siguiente y de acumulación de reservas en el sistema radicular, que será responsable del crecimiento inicial de la próxima primavera.

La programación de riego tiene dos etapas, una etapa de programación propiamente tal, que permite estimar tiempos y frecuencias de riego, y una etapa de control, que permite ajustar el tiempo y frecuencia de riego a las situaciones particulares de cada cuartel y/o variedad

2. COMPONENTES DE LA PROGRAMACIÓN DE RIEGO

El programa de riego permite predecir la cantidad de agua aplicar al cultivo, mediante la determinación del tiempo y la frecuencia de riego. Para esto se necesita conocer la demanda hídrica del cultivo (ET_c); la intensidad de precipitación (IPP) y el agua que se puede almacenar en el suelo y es fácilmente aprovechable por el cultivo (AFA) (**Figura 1**).

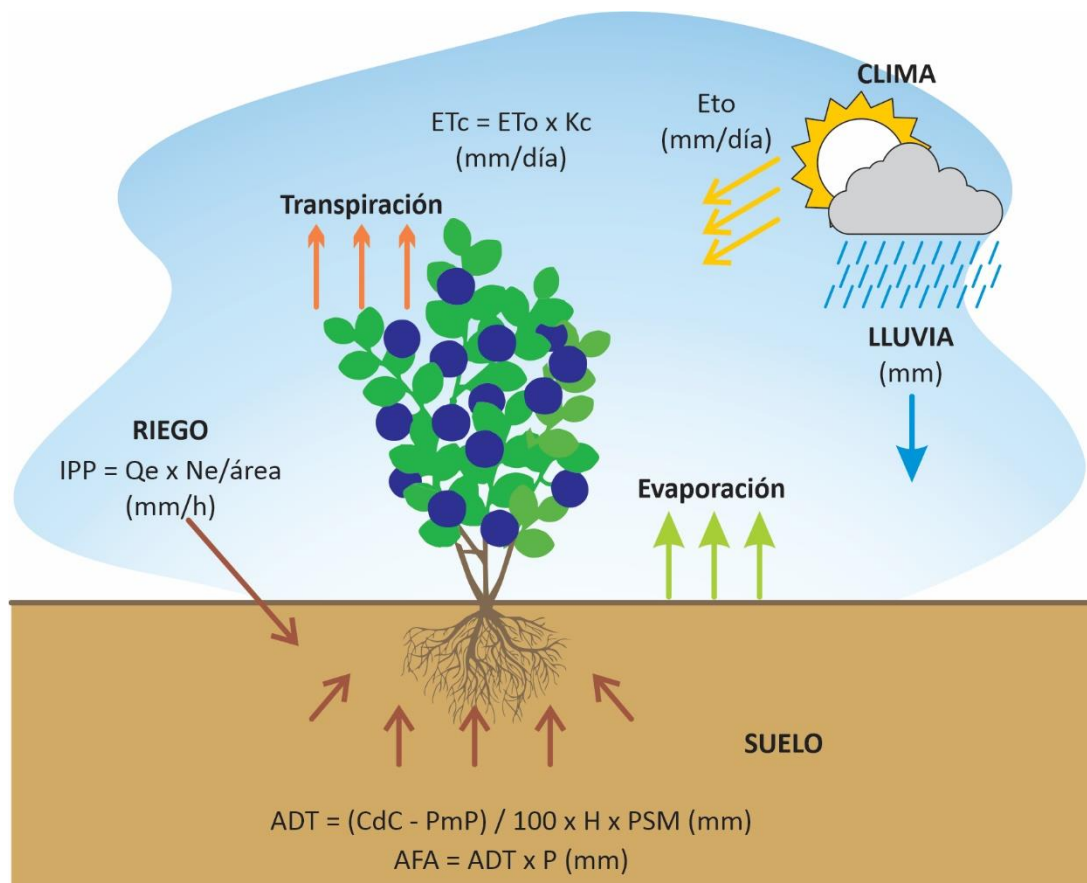


Figura 1. Esquema de un programa de riego. Donde aparece la estimación de la demanda del cultivo (E_{tc}), de la intensidad de precipitación del equipo (I_{pp}) y del agua almacenada en el suelo fácilmente disponible para las plantas (AFA). (E_{To} , evapotranspiración de referencia; E_{Tc} , evapotranspiración del cultivo; K_c , coeficiente de cultivo; I_{PP} intensidad de precipitación del equipo de riego; CdC , capacidad de campo; PmP , porcentaje de marchites permanente; H , profundidad de raíces; PSM , porcentaje de suelo mojado; ADT , agua disponible total; p fracción de agotamiento o umbral de riego).

A continuación, se explica como estimar estos tres parámetros.

2.1 Demanda hídrica del cultivo

La demanda hídrica del cultivo depende de la demanda evaporativa de la atmósfera y del coeficiente Kc del cultivo.

2.1.1 Demanda evaporativa de la atmósfera

Factores ligados al clima son los que determinan la demanda evaporativa de la atmósfera, normalmente llamada Evapotranspiración de referencia (ET_o). Estos factores son la radiación solar, la temperatura, la humedad relativa del aire y el viento. Estas variables climáticas son dinámicas, varían según la latitud y la época del año. Así la ET_o es menor en el invierno y va aumentando hacia el verano, hasta llegar a un máximo entre los meses de enero a febrero, para descender nuevamente, en el otoño (**Figura 2**).

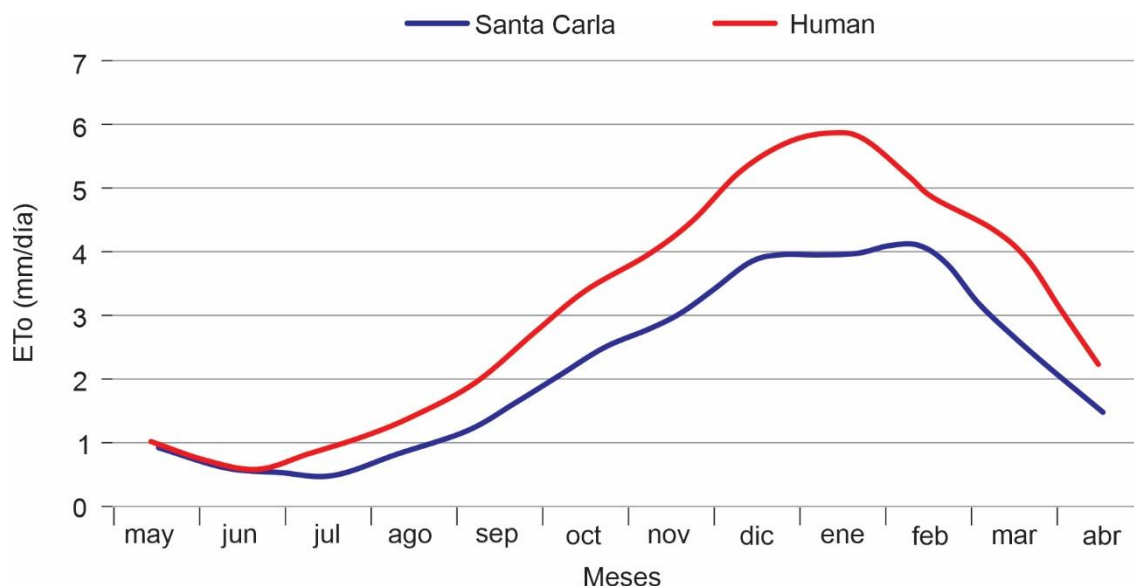


Figura 2. Variación estacional de la evapotranspiración de referencia (ET_o, mm/d) en dos estaciones agrometeorológicas. Santa Carla en la región de Los Ríos y Humán, en la región del Biobío (<https://agrometeorologia.cl/>)

La Evapotranspiración de referencia o ET_o se define como: “La evapotranspiración de un cultivo de pasto corto, sin restricciones de agua”. El concepto de ET_o permite determinar la demanda evaporativa de la atmósfera, independiente del tipo de cultivo y de las prácticas de manejo. Solo intervienen, como ya se ha dicho, factores ligados al clima. Estas variables se registran en estaciones meteorológicas, y a partir de ellas se calcula la ET_o, mediante una ecuación matemática (Ecuación de Penman- Monteith).

Hay varias formas en que se puede obtener la ETo para su localidad.

a) Red de estaciones agrometeorológicas

El país dispone de una red de estaciones agrometeorológicas (**Figura 3**), administrada por INIA, que entrega valores de ETo a escala mensual o diaria. La información de ETo se puede obtener en el sitio web [Agrometeorología INIA \(agrometeorologia.cl\)](http://Agrometeorología INIA (agrometeorologia.cl)) seleccionando aquella estación más cercana al predio. En este [video](#) se muestra como descargar los datos de la red agrometeorológica, y como procesarlos con la ayuda de la siguiente [planilla Excel](#)



Figura 3. Estación Agrometeorológica
(Foto gentileza Dr. Samuel Ortega, U de Talca).

- b) A partir de estaciones agrometeorológicas propias que disponga el predio, o de bandeja de evaporación Clase A (**Figura 4**). En este último caso el valor de evaporación registrado debe ser corregido por un factor k_p , normalmente 0,8, para transformar la evaporación de bandeja en ETo:

$$E_{To} = E_b \times 0,8$$



Figura 4. Bandeja de evaporación Clase A.

2.1.2 Coeficiente de cultivo (Kc)

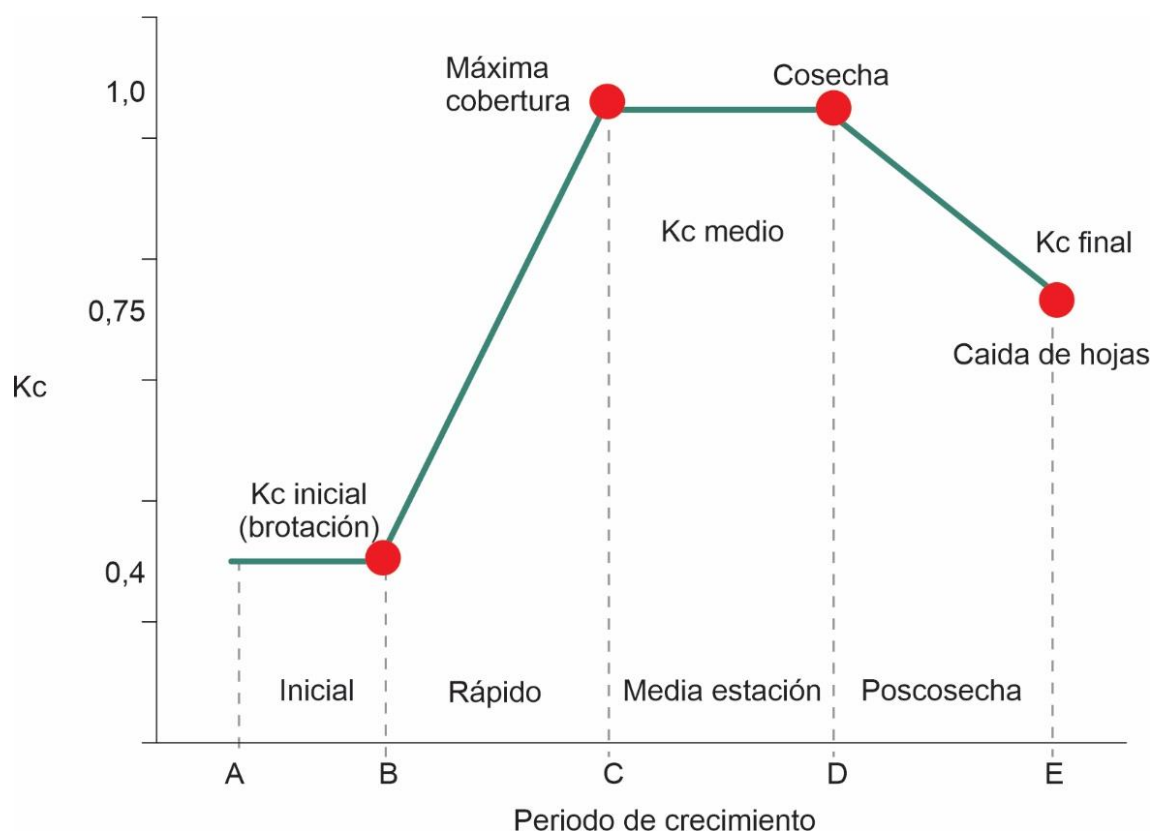
Como se indicó anteriormente, la E_{To} permite determinar el efecto del clima sobre la evapotranspiración, independiente del cultivo que se trate. Por lo tanto, para fines de programación de riego interesa estimar la evapotranspiración del cultivo de interés, en este caso el arándano. Por lo tanto, es necesario hacer una corrección de la E_{To} , mediante un factor denominado “Coeficiente de Cultivo o K_c ”.

De esta forma la evapotranspiración de un cultivo específico (E_{Tc}) se puede estimar multiplicando la E_{To} por el K_c del cultivo:

$$E_{Tc} = E_{To} \times K_c$$

Seleccionar el valor K_c que debe utilizarse en un momento determinado es una pregunta que no resulta fácil responder, ya que el coeficiente K_c varía de acuerdo con el estado de desarrollo de las plantas. También afectan las densidades de plantación y los sistemas de conducción, ya que alteran tanto el área foliar como las características aerodinámicas del cultivo.

FAO ([Manual FAO N° 56](#)) ha desarrollado un método para establecer los coeficientes de cultivo para diferentes periodos de desarrollo del cultivo, a partir del Kc de tres etapas de desarrollo: Kc inicial (brotación), Kc mid (máximo desarrollo del cultivo) y Kc final a caída de hojas) **Figura 5**.



Kc inicial (B)	Kc Media estación (C y D)	Kc Poscosecha (E)
0,4	1,0	0,75

Figura 5. Curva generalizada de variación del coeficiente de cultivo, según método de FAO 56. Los valores intermedios se obtienen por interpolación. Muestra kc ini, Kc mid y Kc final. Los valores intermedios se obtienen por interpolación. El cuadro muestra los valores propuestos de Kc para arándanos en las tres etapas.

Fuente: <http://irrigationtoolbox.com/ReferenceDocuments/Extension/BCExtension/577100-5.pdf>.

Kc, inicial corresponde al Kc al momento de brotación; Kc Media estación se extiende entre 100% de cuaja y fin de cosecha, Kc Poscosecha, corresponde al valor de Kc a fin de la temporada, cuando las plantas inician su receso, por lo tanto, las fechas de estos períodos pueden variar con la variedad y la localidad.

Hay que tener en cuenta, que estos valores son para plantas adultas. En plantas nuevas hay que hacer una corrección, considerando el porcentaje de sombramiento que tienen las plantas nuevas, respecto de las plantas adultas.

En la [planilla adjunta](#) se entrega la forma de cálculo de del kc, de acuerdo con la metodología señalada, y en este [video](#) se explica su uso.

Para iniciar un programa de riego se pueden utilizar los valores de Kc propuestos, los cuales se pueden ir ajustando de acuerdo con el control que se realice de la humedad en terreno, a través de calicatas o sensores FDR.

2.2 Intensidad de precipitación del equipo (IPP)

Para realizar un programa de riego además de conocer el agua que requieren las plantas (ETc) es necesario conocer la intensidad de precipitación del equipo de riego. La intensidad de precipitación del equipo de riego corresponde a la lámina de agua que entrega el equipo, expresada en mm/hr, por lo tanto, conocer su magnitud es clave para determinar el tiempo de riego.

La intensidad de precipitación del equipo de riego depende de:

- La descarga del emisor (qe), en L/hr
- La distancia entre emisores (de), en m
- La distancia entre hileras (DEH), en m
- La distancia de plantas sobre la hilera, en m
- El número de líneas de riego por hilera de plantas (NL)

La Ipp del equipo de riego se puede calcular de dos maneras:

$$a) \text{ Ipp (mm/hr) = } qe \times NL / (de \times DEH)$$

Donde:

qe = caudal medio emisor (L/hr)

NL = número de laterales por hilera de plantas

de = distancia entre emisores, m

DSH = distancia sobre la hilera, m

$$b) I_{pp} \text{ (mm/hr)} = (N_e/ha \times q_e) / 10.000$$

El número de emisores por hectárea (N_e) se calcula como

$$N_e = 10.000 / (DEH \times NL/de)$$

Donde:

qe = caudal medio emisor (L/hr)

NL = número de laterales por hilera de plantas

de = distancia entre emisores, m

DEH = Distancia entre hileras, m

DSH = distancia sobre la hilera, m

Ne/ha = número de emisores por hectárea

A través de la planilla [Excel Cálculo intensidad de precipitación del equipo](#) se puede calcular la intensidad de precipitación del equipo de riego y en este [video](#) se explica cómo utilizarla.

Es necesario tener presente que para calcular la intensidad de precipitación hay que utilizar el **valor real** de descarga de los emisores (**Figura 6**) y no el caudal nominal de diseño, esto porque con el uso el funcionamiento del gotero puede cambiar, ya sea por taponamiento o variación de presión. Es necesario que el equipo esté calibrado (regulación de presiones), con los goteros aforados (emisores centinela), y el coeficiente de uniformidad calculado. En la primera parte de este manual se entregó la metodología para realizar este chequeo (Manual de mantenimiento y operación de equipos de riego, <https://comitedearandanos.cl/%20descargas/material-tecnico/>)



Figura 6. Aforo de goteros.

2.3 Agua Fácilmente Aprovechable en el suelo (AFA)

Para definir la frecuencia de riego, hay que conocer la capacidad de almacenamiento de agua en el suelo y que es fácilmente aprovechable por el cultivo, por lo cual a continuación se presenta información para poder estimarla.

El rango óptimo de contenido de agua para el crecimiento de las plantas generalmente se fija sobre criterios basados en la Humedad Aprovechable del suelo (HA) o también conocido como agua disponible total (ADT, **Figura 7**). El límite superior de la ADT se asocia con la capacidad de campo (CC), y el límite inferior, con el porcentaje de marchitez permanente (PmP). Sin embargo, el agua no se encuentra igualmente disponible para las plantas en todo el rango de ADT, por lo cual se debe regar solo cuando se agote una fracción de ADT, cantidad de agua que se denomina Agua Fácilmente Aprovechable (AFA).



Figura 7. Esquema didáctico del agua disponible total (ADT) en el suelo.

El concepto de Capacidad de Campo (CC) se define como "cantidad de agua retenida en un suelo después que el excedente de agua haya drenado. El concepto de capacidad de campo es aceptado como un criterio práctico y útil para fijar el límite superior del agua Disponible Total (ADT). El porcentaje de marchitez permanente (PmP) ha sido definido clásicamente como o "el contenido de humedad en la zona radicular del cultivo al cual la planta no puede recuperar su turgor si ella es colocada en una atmósfera saturada de humedad durante 12 hrs", y corresponde al límite inferior del ADT.

Para un suelo determinado, tanto CC y PmP puede ser obtenido de muestra enviadas a laboratorio, donde se determina el contenido de agua de la muestra de suelo tanto a 33 kPa (CC) como a 1.500 kPa (PmP). También es posible realizar su estimación a partir de la textura del suelo, con la ayuda de la calculadora de propiedades hídricas del suelo desarrollada por Saxton *et al.*, 2006, disponibles en Internet en el sitio <https://hrsl.ba.ars.usda.gov/soilwater/index.htm>. En este [video](#) se explica cómo utilizarla

Para fines de programación de riego se necesita que los contenidos de agua del suelo a CC y PmP estén expresados en base a volumen (Θ_v , cm^3 de agua/ cm^3 de suelo). Los valores de CC y PmP que entrega el laboratorio normalmente es en base a peso (ω_g = g de agua/g de suelo), por lo tanto, para expresarlos en base a volumen es necesario hacer una corrección, multiplicando el valor en base a peso, que entrega el laboratorio, por la densidad aparente del suelo ($\Theta_v = \omega_g * D_a$).

Como se ha indicado, el valor de ADT corresponde al rango de humedad del suelo comprendido entre capacidad de campo (CC) y porcentaje de marchitez permanente (PmP), y que no toda el ADT del suelo está igualmente disponible para las plantas, por lo cual es necesario regar cuando se agote solo un porcentaje del ADT del suelo. Esta fracción recibe el nombre de Umbral de Riego (UR) o fracción de agotamiento "p" y varía según el tipo de cultivo. En Arándano este valor es de 0,35. Si el suelo tiene una baja macroporosidad (baja aireación) es recomendable utilizar 0,35, en cambio si el suelo tiene una alta

macroporosidad se puede utilizar un valor menor para estimar el agua que se puede agotar en el suelo antes de volver a regar. El Agua Fácilmente aprovechable (AFA) para las plantas se puede estimar con las siguientes ecuaciones:

$$ADT (mm) = [(CC\% - PmP\%) / 100] \times H \times (1 - Pied) \times PSM$$

$$AFA = ADT \times p / 100$$

Donde:

ADT = Agua disponible total o humedad aprovechable (mm)

AFA = Agua fácilmente aprovechable (mm)

p = fracción de agotamiento o umbral de riego (%/100)

CC% = capacidad de Campo del suelo (Θ_v , %base volumen)

PmP% = Porcentaje de marchitez permanente (Θ_v , % base volumen)

H = profundidad de raíces (mm)

Pied = Fracción de piedras presentes en el perfil de suelo %/100

PSM = Fracción de suelo mojado por los emisores de riego %/100

Como se observa en la ecuación anterior, para determinar ADT aparte de conocer CC y PmP es necesario conocer la profundidad del sistema radicular, el porcentaje de suelo que moja el equipo de riego (PSM) y el porcentaje de piedra que tiene el suelo en la zona de crecimiento de raíces (Pied)

2.3.1 Sistema radicular del Arándano

El desarrollo del sistema radicular del arándano depende mucho de las propiedades físicas del suelo. Estas propiedades tienen que ver directamente, con la macroporosidad y la resistencia mecánica del suelo. La profundidad radicular del arándano (H) puede variar por lo anterior entre 20 a 100 cm de profundidad (**Figura 8**).



Figura 8. Desarrollo de raíces de arándanos en diferentes condiciones de suelo. A, suelo arenoso delgado, raíces muy densas hasta 30 cm, donde se produce cambio de suelo. B, suelo trumao profundo, raíces hasta 1 m de profundidad. C, raíces de arándanos creciendo en un suelo compactado, no más de 20 cm de profundidad y baja densidad.

Cuando los sistemas radiculares son profundos es mayor la cantidad de agua que se puede almacenar en el suelo y en consecuencia más distanciada puede ser la frecuencia de riego y mayor el aprovechamiento del agua de lluvia. Para obtener potenciales productivos altos es necesario que los sistemas radiculares sean densos, profundos y la mayor parte del tiempo estén activos lo que se logra cuando los suelos no están compactados y no presentan problemas de aireación.

Por lo indicado anteriormente es clave antes de realizar un programa de riego conocer la profundidad del sistema radicular.

2.3.2 Porcentaje de suelo mojado (PSM)

Por otra parte, PSM afecta el agua disponible total (ADT), ya que solo una fracción del suelo esta humedecida por los emisores, a menor PSM menor ADT. Lo anterior significa que el área de suelo mojado también tendrá un efecto sobre la frecuencia de riego.

Los equipos de riego localizado, como es el caso de riego por goteo, no mojan toda el área de suelo definida por el marco de plantación, mojan solo una fracción de ella. El diámetro de mojamiento depende de la descarga del emisor, del tiempo de riego y del tipo de suelo.

En la **Tabla 1** se entrega el diámetro esperado del bulbo de mojamiento para goteros de diferentes descargas y textura de suelo.

Tabla 1. Diámetro de mojamiento (m) de emisores de distinta descarga

Descarga emisor (L/h)	Textura arenosa	Textura media	Textura arcillosa
<1,5	0,2	0,5	0,9
2	0,3	0,7	1,0
4	0,6	1,0	1,3

Adaptado de Keller y Karmelli (1975).

Para el buen desarrollo de un cultivo, se requiere que el porcentaje de suelo mojado (PSM) tenga un cierto valor mínimo, que favorezca el desarrollo de las raíces y de la parte aérea de la planta, por otra parte, una mayor PSM puede ayudar a mitigar problemas de aireación en suelos pesados.

Para el cultivo de arándanos el porcentaje de suelo mojado por los emisores se recomienda entre 40 a 70%. La ampliación del área mojada en un cultivo se puede lograr de varias maneras: aumentando la descarga del emisor, colocando emisores a menor distancia sobre la línea de riego, o aumentando el número de líneas de riego por hilera de plantas. La menos recomendable es la primera, el aumento del caudal del emisor, ya que se puede provocar apozamiento de agua en el suelo, o el agua puede escurrir a la entre hilera, generando apozamiento y favoreciendo la compactación, por el paso de maquinaria o el pisoteo de los trabajadores. La mejor forma de aumentar el área de suelo mojado es aumentando el número de líneas de riego, por hilera de plantas.

2.3.2.1 Estimación del porcentaje de suelo mojado

El porcentaje de suelo mojado (PSM) es la relación entre el área mojada por los emisores (AM) dividido por el área de plantación (AP), normalmente se estima en porcentaje. Se calcula de la siguiente manera:

$$PSM \% = (AM / AP) \times 100$$

Donde:

PSM% = porcentaje de suelo mojado

AM = área de suelo mojado (m²)

AP = DSH * DEH (m²)

DSH = Distancia de plantas sobre hilera (m)

DEH = Distancia entre hilera de plantas (m)

La determinación del área mojada por los emisores puede ser un poco más compleja. En riego por goteo normalmente se forma un círculo sobre el suelo, cuyo diámetro varía de acuerdo con la descarga de los emisores y el tipo de suelo (**Figura 9**).



Figura 9. Mojamiento de suelo producido por el riego por goteo.

En un mismo tipo de suelo, dependiendo de la descarga del gotero y la distancia entre los emisores se pueden producir dos tipos de situaciones: caso 1, que no exista traslape entre los emisores, donde se observan círculos húmedos independientes o Caso 2, existe traslape de mojamiento entre los emisores, formando una franja continua (**Figura 10**).

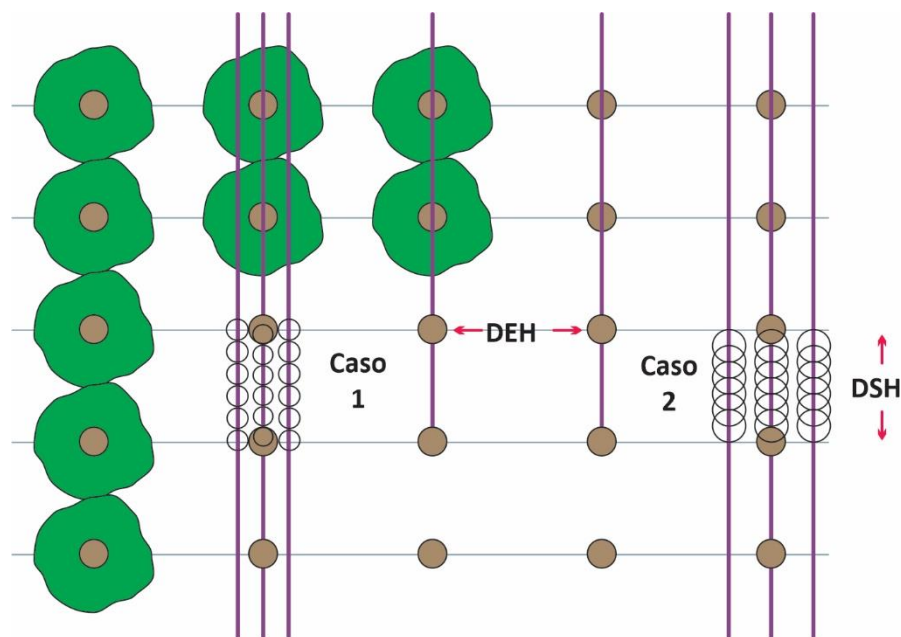


Figura 10. Situaciones de mojado de goteros. Caso 1, los goteros no se traslapan, se forman círculos independientes. Caso 2, existe traslape de mojado entre goteros, formando una franja mojada, de ancho equivalente al diámetro de mojado. DEH, distancia entre hilera de plantas. DSH, distancia de las plantas sobre la hilera.

- Cuando no hay traslape (caso 1) el área mojada (AM) se calcula de la siguiente manera:

$$AM (m^2) = (3,14 \times Dm^2/4) \times N^{\circ} \text{ de emisores por planta}$$

Donde:

AM = área de suelo mojada por los emisores (m²)

Dm = diámetro promedio del mojado de los goteros (m)

El diámetro de mojado de los emisores se mide con una huincha, en varios emisores y se saca un promedio.

- Si hay traslape entre el mojado de los emisores, el área mojada se calcula considerando el área de un rectángulo.

$$AM (m^2) = D \times DSH \times NL$$

Donde:

Dm = diámetro de mojado (m)

DSH = distancia sobre hilera (m)

NL = número de líneas de riego por hilera de plantas

En caso de no disponer de información de terreno sobre el diámetro de mojado de los emisores, se puede ayudar con los valores presentados en la **Tabla 1**.

En la [planilla Excel cálculo Porcentaje de suelo Mojado](#), se puede calcular porcentaje de suelo mojado, considerando ambas situaciones. En este [video](#) explica cómo utilizarla.

2.3.3 Estimación del Agua fácilmente aprovechable por el cultivo

Como se indica en este punto de este manual el Agua fácilmente aprovechable por el cultivo depende de la CC; PmP; H; PSM; Pied y P, como se indica en la ecuación 1. En el siguiente [video](#) se indica como estimar AFA a través de la siguiente [planilla de cálculo](#).

3. ELABORACIÓN DE UN PROGRAMA DE RIEGO

La programación del riego localizado se realiza a partir de la estimación de las necesidades hídricas de la planta, para lo cual se considera la evapotranspiración referencia (ET_o); el coeficiente de cultivo (K_c) del período vegetativo correspondiente y la eficiencia del método de riego (E_{fa}).

Existen varios métodos que permiten estimar ET_o. Entre ellos se cuentan la bandeja de evaporación clase A y los modelos matemáticos de variables climáticas ([ver punto 2.1.1](#)). Dado que es una estimación de las necesidades hídricas normalmente se utilizan valores medios mensuales de la ET_o, expresándola en mm/día (ET_o (mm/mes) / número de días del mes).

La evapotranspiración de un cultivo (ET_c) no sólo depende de la demanda de la atmósfera, sino que es altamente dependiente del estado de desarrollo del cultivo ([ver punto 2.1.2](#)). Es necesario entonces, contar con un factor (K_c) que relacione la demanda evaporativa de la atmósfera (ET_o) con la evapotranspiración máxima del arándano (ET_c) en los diferentes períodos fenológicos (ET_c = ET_o x K_c). En la [Figura 5](#) se presenta los coeficientes de cultivos propuesto para el arándano.

3.1 Tiempo de riego diario

El tiempo de riego diario requerido (T.R h/d) para suplir la ET_c del cultivo (mm/d) debe considerar la eficiencia de aplicación del equipo de riego (e_{fa}, normalmente 90%), es decir las necesidades brutas de agua (NB), y la intensidad de precipitación del equipo de riego ([ver punto 2.2](#)).

$$NB = ET_c \text{ (mm/día/efa)}$$

$$Tr \text{ (horas/día)} = NB / IPP$$

Donde:

NB = necesidades brutas mm/d

IPP = Intensidad de precipitación mm/h

3.2 Frecuencia de riego

En arándano, hasta hace algunos años atrás, los programas de riego localizado sólo consideraban riegos frecuentes (riegos diarios) para reponer el agua evapotranspirada por el cultivo, independiente del tipo de suelo. Actualmente, la experiencia ha mostrado que los riegos frecuentes son más apropiados para aquellos suelos de baja capacidad de retención de humedad, de texturas medias a gruesas y de una alta macroporosidad. En suelos más pesados, de mayor capacidad de retención de humedad y de baja macroporosidad de los riegos menos frecuentes se han mostrado más promisorios. Las aplicaciones diarias de agua en este tipo de suelo pueden presentar problemas desde el punto de vista de la aireación de suelo y el desarrollo de ciertas enfermedades. Para definir la frecuencia de riego más apropiada conocer el agua fácilmente aprovechable (AFA) por el cultivo en el suelo donde esta cultivado ([ver punto 2.3.3](#)).

En resumen, hoy en día se ha visto que en suelos de baja macroporosidad el criterio de frecuencia diaria no da los resultados esperados, produciéndose zonas de mucha saturación y bulbos de pequeño tamaño, lo que afecta el desarrollo radicular por falta de una adecuada aireación.

Sin embargo, es necesario tener presente que, si se agota en demasía el agua en el suelo, se puede afectar el crecimiento de las plantas producto de un déficit hídrico. Por lo cual es necesario conocer que porcentaje de la humedad aprovechable se puede agotar en el suelo antes del próximo riego ([ver](#)).

Por lo tanto, para definir la frecuencia de riego es necesario conocer el AFA de cada cuartel de riego y la ETc del cultivo:

$$Fr \text{ (días)} = AFA / ETc$$

Donde:

Fr = Frecuencia de riego (días)

AFA = Agua Fácilmente Aprovechable (mm)

ETc = evapotranspiración del cultivo, en mm/día

Para determinar el tiempo de riego requerido (TR) para volver el suelo a capacidad de campo, una vez cumplida la frecuencia de riego, es necesario multiplicar la frecuencia de riego (Fr) por el tiempo de riego diario ([Tr, ver punto 3.1](#)).

$$\text{Tiempo requerido, } TR \text{ (hr)} = Fr \times Tr$$

Donde:

Fr = frecuencia de riego (días)

Tr = Tiempo de riego diario (hr/día)

Un esquema de un programa de riego aparece en la **Figura 11** donde se define la lámina a aplicar (Tiempo de riego) y la frecuencia de riego.

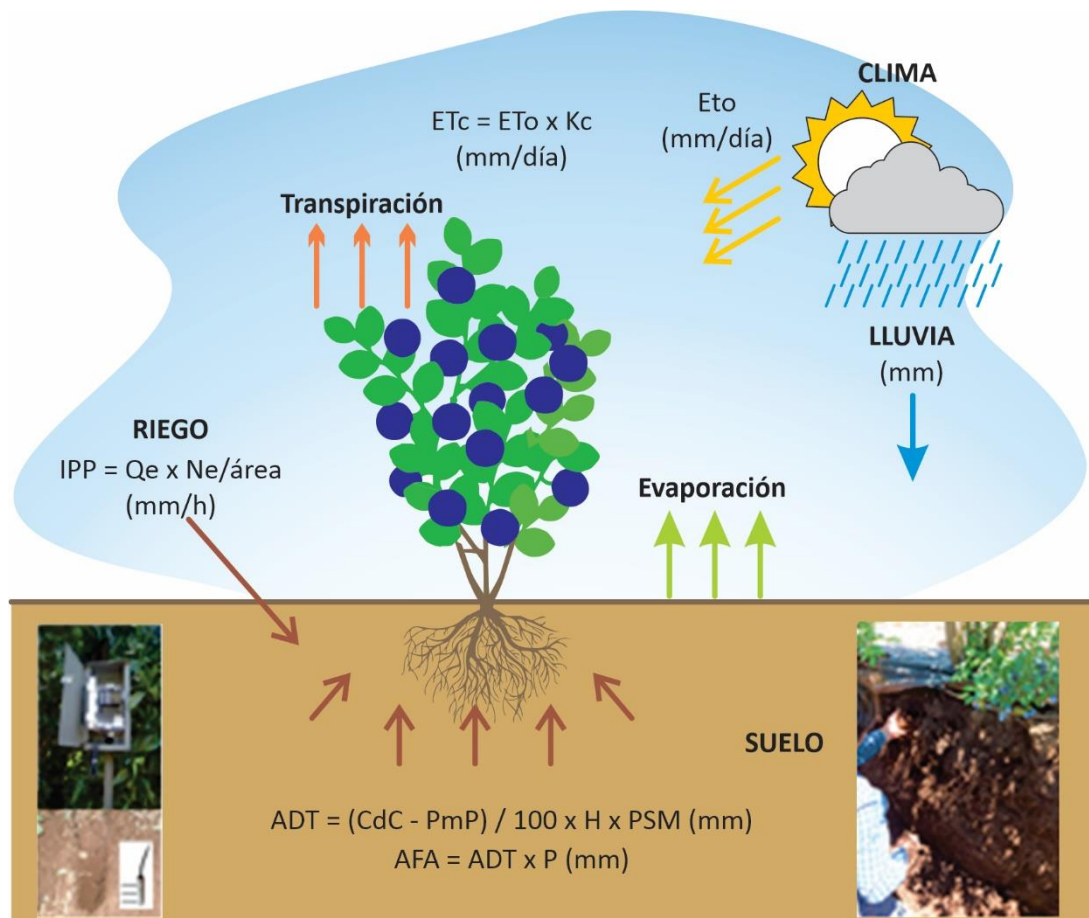


Figura 11. Esquema de un programa de riego que considera el suelo, clima, cultivo y las características del equipo de riego

3.3 Elaboración del programa de riego

Para apoyarse en la realización de un programa de riego vea el siguiente [video](#) y use la [planilla Excel](#) adjunta. El programa está desarrollado a nivel mensual.

Al implementar el programa de riego es necesario analizar si la capacidad del equipo de riego lo permite. Es importante que el equipo de riego entregue una lámina igual o un poco superior que los requerimientos de riego del cultivo indicado en el programa de riego. Muchos equipos, por ahorrar costo de inversión, se diseñan con lámina de reposición que son inferiores a los requerimientos de riego de los cultivos. Por lo anterior, al implementar el programa de riego analizar la capacidad del equipo (para mayor detalle ver [video](#) y usar [planilla de cálculo](#) adjunta).

4. CONTROL Y AJUSTE DEL PROGRAMA DE RIEGO

Los programas de riego que se realizan a través de un registro de evapotranspiración no aseguran por sí solos que estos se estén cumpliendo en la realidad. Además, es posible también que estos estén subestimados o sobrestimando la evaporación del cultivo. Debido a lo anterior, es recomendable contar con mecanismos de control y ajuste de riego.

Para llevar a cabo un control del riego y de su efectividad, se requiere la utilización de diferentes herramientas y técnicas como son el monitoreo de humedad a través de sensores FDR fijos y/o [sensores FDR portátiles](#) para medir la humedad del suelo en calicatas.

Entre los equipos que miden humedad de suelo en los últimos años se está empleando sondas de monitoreo conocidos con el nombre de sondas capacitivas del tipo FDR (Frequency Domane Reflectometry) la cual basa su medición en la constante dieléctrica del agua.

Estos sensores disponen de una curva de calibración interna que les permite proporcionar sus lecturas como contenido volumétrico de agua en el suelo a la profundidad a la que está instalado. En arándano se pueden utilizar sondas fijas y/o portátiles apoyada con el uso de calicatas (**Figura 12**). Las sondas que más se utilizan en arándano son las fijas de medición continua.



Figura 12. Sensores de humedad basados sondas capacitivas portátil; fijos y calicatas para el control de la humedad del suelo.

Las sondas capacitivas fijas se conectan a un Datalogger, el cual permite mantener un registro y almacenamiento de datos continuo. Lo más común es que el registro de datos se realice cada 30 o 60 minutos, los cuales pueden ser recuperados a distancia por telemetría para su análisis e interpretación.

Con el uso complementario de sondas de medición continua de la humedad del suelo (FDR) se puede mejorar la estrategia de riego logrando disminuir los volúmenes de agua que se pierden por percolación profunda, disminuyendo el consumo de energía eléctrica y optimizando la relación agua-aire en el suelo en cultivo tan sensible a la falta de oxígeno en el suelo como es el arándano.

Los sensores se deben colocar a diferentes profundidades en áreas representativas del campo con el fin de dar seguimiento al movimiento del agua del suelo y a su agotamiento dentro de la zona radicular.

A través de los sensores de humedad se puede observar la actividad radicular, las pérdidas de agua por percolación profunda, la profundidad de mojado de la lámina de riego aplicada. A partir de la información entregada por estos sensores también se puede observar el momento en que las plantas disminuyen la transpiración. Este punto se produce cuando cambia la pendiente de la disminución de agua en el suelo (comienzo de cierre de estomas). En la **Figura 13** (huerto de arándano Blue Riboon región del Maule - Chile) se observa que las plantas de arándano dejan de extraer agua del suelo cuando se ha agotado alrededor de un 30 a 35% del agua disponible total (ADT) o humedad aprovechable (queda en el suelo un 70 a 65% de agua) lo que es similar a lo observado en otras variedades.

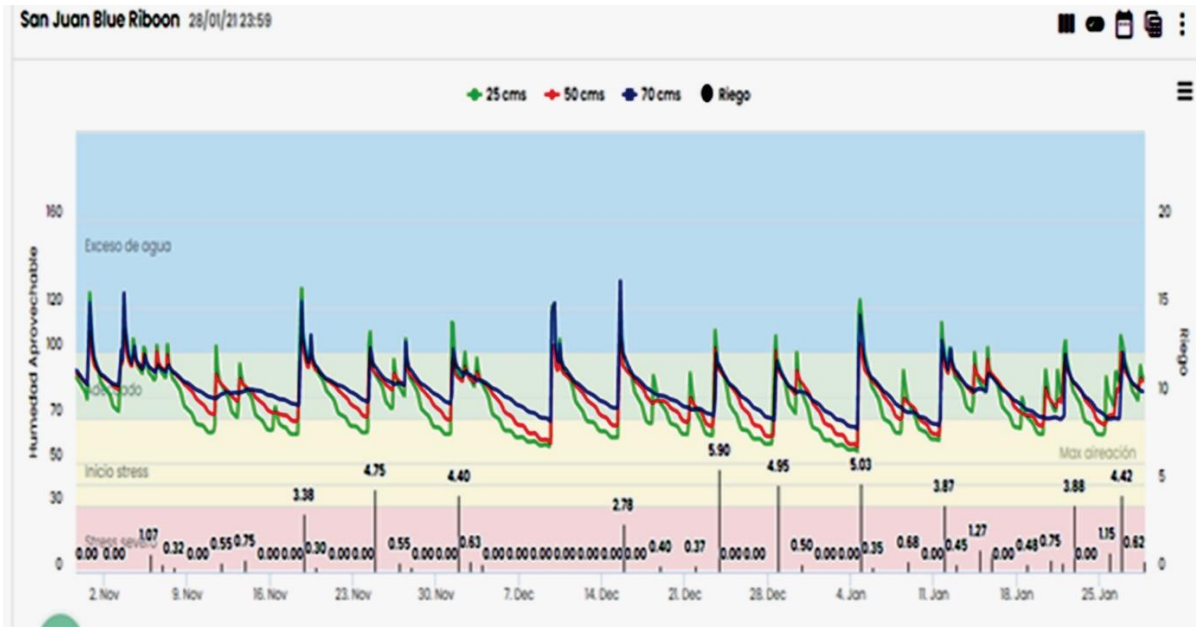


Figura 13. Comienzo de cierre de estoma en arándano Blue Riboon (4 dic; 14 dic y 1 ene). En algunos riegos se observan pérdidas de agua por percolación profunda (Sonda azul). Variaciones de humedad, agua disponible total (PAW) a los 20 cm verde, Rojo a los 40 cm y azul a los 60 cm. PAW = 100% es Capacidad de campo y 0% es punto de marchitez permanente.

5. BIBLIOGRAFÍA

<https://comitedearandanos.cl/wp-content/uploads/2022/05/documento-2-Crop-coefficients-for-use-in-irrigation-scheduling-577100-5.pdf>

<https://www.fao.org/3/x0490s/x0490s00.htm>

<https://biblioteca.inia.cl/handle/20.500.14001/7681?show=full>



MANUAL DIGITAL

PROGRAMACIÓN Y CONTROL DE RIEGO

