

UNIDAD III NECESIDADES HIDRICAS DE LOS CULTIVOS

Definiciones básicas¹

El objetivo central de un proyecto de riego es satisfacer, en el momento adecuado y en la cantidad necesaria, los requerimientos de agua de los cultivos, razón por la cual para el diseño de un sistema de riego es indispensable:

- a) La estimación del consumo de agua diario de cada cultivo.
- b) La cuantificación de las necesidades hídricas de los cultivos establecidos o a establecer en un futuro.
- c) La distribución de los mismos en la superficie y durante el año.

De las necesidades de agua de los cultivos dependen directamente las dimensiones de las obras de riego, por lo tanto una sub-estimación o sobre-estimación de las mismas, incide directamente en el dimensionamiento y consecuentemente en su costo.

Antes de entrar al cálculo de las necesidades hídricas de los cultivos, es importante conocer algunas definiciones o conceptos básicos:

1) Evapotranspiración

La evapotranspiración es la combinación de dos procesos, la evaporación y la transpiración. La evaporación se considera como el proceso, mediante el cual el agua del suelo fluye directamente hacia la atmósfera, pasando de su estado líquido a su estado gaseoso. La transpiración es el proceso físico mediante el cual el agua del suelo fluye hacia la atmósfera, pero a través de los tejidos de las plantas. La mayor parte del agua aplicada a los cultivos para su desarrollo es transferida hacia atmósfera a través de sus tejidos y de la evaporación directa del suelo. La evapotranspiración es también conocida para fines prácticos, como "uso consuntivo".

2) Evapotranspiración de referencia

La evapotranspiración de referencia (ET_o) es un concepto establecido para indicar la cantidad de agua que se transfiere a la atmósfera de un suelo permanentemente húmedo, cubierto por un cultivo de referencia. Se ha utilizado como cultivo de referencia la alfalfa o un pasto, bien regados, en pleno desarrollo y en buenas condiciones fitosanitarias.

La ET_o es una cantidad que depende exclusivamente de las condiciones del medio ambiente: temperaturas máximas y mínimas, radiación solar, humedad relativa, velocidad del viento, etc.

Actualmente existen muchos métodos para estimar la ET_o, en el presente curso desarrollaremos los métodos del tanque evaporímetro, Blanney-Cridle y Penman-Monteith, el primero por su simplicidad, el segundo por su sencillez y mayor precisión que el primero, y el tercero por su soporte científico y aceptación universal.

¹ Héctor E. Quiñones Pedroza. Necesidades hídricas de los cultivos. Evaluación del riego por gravedad.

3) Evapotranspiración potencial

La estimación de la evapotranspiración de referencia de un cultivo como la alfalfa, simplifica la estimación de la evapotranspiración de otros cultivos, en condiciones ambientales similares, tomando en consideración las diversas etapas de su desarrollo.

La cobertura del suelo por los cultivos no es constante; en realidad los cultivos van cubriendo el suelo de manera progresiva, por lo que la evapotranspiración del cultivo solamente representa una fracción de ETo.

La evapotranspiración potencial (ETp) es la evapotranspiración de un cultivo en función de su grado de desarrollo vegetativo y bajo condiciones de disponibilidad suficiente de agua. En términos simples significa las necesidades hídricas potenciales de un cultivo y por tanto, depende además de los factores ambientales, de las características genéticas del cultivo (follaje, raíces, estructura estomática, etc.).

4) Coeficientes de cultivo

La determinación de ETp, por su dependencia de los factores biológicos, es más compleja que la determinación de la ETo, por lo que para su estimación es necesario relacionar la variación de ETo durante el período de desarrollo del cultivo con mediciones de ETp. Las relaciones obtenidas se denominan "coeficientes de cultivo" (Kc). Dado que es muy difícil determinar teóricamente las relaciones entre ETo y ETp de cada cultivo, éstas se han obtenido mediante mediciones experimentales. Los coeficientes de cultivo (Kc) son definidos por la siguiente expresión:

$$Kc = \frac{ETp}{ETo}$$

Más adelante se analizarán algunas tablas usadas en la literatura para determinar la evapotranspiración mediante el uso de los valores Kc para los diferentes cultivos.

5) Evapotranspiración real

La evapotranspiración real de los cultivos o consumo de agua por los cultivos es una magnitud variable en el tiempo; si sólo dependiera de las condiciones ambientales sería igual a ETo; si además dependiera del grado de desarrollo de los cultivos sería ETp; pero ETr depende, además de los factores anteriores, de las condiciones de humedad del suelo, siendo éstas difíciles de determinar en el tiempo. Por tales razones, con fines de diseño se utiliza la ETp y no ETr. Sólo con fines de evaluación o predicción del riego se emplea ETr, efectuando mediciones disimétricas o simulaciones numéricas.

En términos simples la ETr se puede expresar con la siguiente ecuación:

$$ETr = Kc Ks ETo$$

Kc es función del cultivo

Ks es función del suelo

ETo es función del clima

6) Precipitación efectiva

En las zonas donde las precipitaciones son considerables, éstas contribuyen a satisfacer las necesidades hídricas de los cultivos. Sin embargo, no toda la lluvia precipitada es aprovechada por los cultivos, ya que las condiciones físicas del suelo, así como el estado de humedad del mismo en el momento de la lluvia, condicionan la fracción aprovechable de ésta. A dicha fracción se le conoce como precipitación efectiva (P_e).

La estimación de la precipitación efectiva es muy compleja, porque depende de los siguientes factores:

- a) precipitación
- b) intensidad de la precipitación
- c) velocidad de infiltración del suelo
- d) condiciones de humedad del suelo en el momento de la lluvia
- e) capacidad de almacenamiento del suelo

El cálculo de P_e es importante para el pronóstico del riego en tiempo real. Posteriormente se analizarán diversas ecuaciones para calcular la Precipitación efectiva.

7) Necesidades de riego de los cultivos

En algunas regiones la aportación de la lluvia al requerimiento de agua de los cultivos es importante, por lo que a la diferencia entre las necesidades hídricas de los cultivos (ET_p) menos la precipitación efectiva se le conoce como necesidad de riego de los cultivos.

$$NRC = ET_p - P_e$$

8) Humedad total aprovechable (HTA)

El concepto de humedad aprovechable conocido en la literatura como humedad útil, humedad total utilizable, reserva útil, etc. Físicamente se expresa con la ecuación:

$$HTA = \theta_{cc} - \theta_{pmp}$$

HTA = Humedad Total Aprovechable (cm^3/cm^3)

θ_{cc} = contenido de humedad a capacidad de campo (cm^3/cm^3)

θ_{pmp} = contenido de humedad a punto de marchitamiento permanente (cm^3/cm^3)

La HTA puede expresarse en forma de lámina de agua (L_r) conociendo el espesor del suelo donde se desarrollan las raíces de los cultivos (Pr):

$$L_r = HTA * Pr$$

L_r = lámina de riego en mm

Pr = profundidad del suelo colonizable por raíces (mm)

9) Fracción del agua del suelo fácilmente disponible (f)

Aunque en teoría el agua disponible para los cultivos en el suelo es la comprendida entre el contenido de humedad a capacidad de campo y el contenido de humedad a punto de marchitamiento permanente, en la realidad no todas las especies tienen la capacidad de extraer esa cantidad de agua e inclusive, algunas como las hortalizas pueden perecer cuando el contenido de humedad es sensiblemente superior al punto de marchitez permanente. Por tal motivo, se ha introducido un factor de carácter fisiológico, característico de cada especie, que indica la fracción de la humedad aprovechable a partir de la cual el cultivo empieza a manifestar síntomas fisiológicos adversos (clorosis, disminución del crecimiento, disminución del rendimiento, marchitez, etc.). A esa fracción se le conoce como fracción de agua del suelo fácilmente disponible (f).

10) Humedad fácilmente aprovechable (HFA)

De la definición anterior se infiere que de la humedad total aprovechable (HTA), cada cultivo tiene la capacidad fisiológica de utilizar solamente una fracción. A esta fracción se le conoce como "humedad fácilmente aprovechable" (HFA) y se expresa como sigue:

$$HFA = HTA * f$$

$$HFA = (\theta_{cc} - \theta_{pmp}) * f$$

expresada en lámina de agua quedaría

$$Lr = Pr(HFA)$$

Posteriormente se mostrará una lista con cultivos y sus valores HFA.

11) Intervalo de riego (I_r)

El intervalo de riego se define como el número de días entre dos riegos consecutivos y está determinado por los siguientes factores:

Suelo: las características físicas del suelo determinan la capacidad de almacenamiento de agua del mismo.

Cultivo: La respuesta fisiológica de los cultivos al abatimiento de la reserva de humedad disponible en el suelo es diferente para cada cultivo.

Tasa evapotranspirativa: La tasa evapotranspirativa (ET_p o E_{tr}) según sea el caso, es determinante para calcular los intervalos de riego; a mayor evapotranspiración, el intervalo de riego se acorta y viceversa. Con fines de proyecto se emplea la evapotranspiración potencial (ET_p) esperada en el período considerado y para fines de evaluación o de pronóstico de riego en tiempo real se emplea la evapotranspiración real (E_{tr}), la cual se determina al instante mismo de la ocurrencia de los eventos y el intervalo de riego se ajusta a medida que se modifican las condiciones reales (estado de humedad del suelo).

Precipitación efectiva: La precipitación efectiva afecta los intervalos de riego al aportar humedad para satisfacer las necesidades hídricas de los cultivos.

Profundidad del suelo o profundidad de las raíces: Este factor determina la capacidad de almacenamiento del suelo susceptible a ser extraída por el cultivo en el período considerado. Si se establece un cultivo de enraizamiento superficial en un suelo profundo, el espesor del suelo a considerar será la profundidad colonizada por las raíces; si por el contrario, se establece un cultivo de enraizamiento profundo en un suelo delgado, el factor a considerar es la profundidad del suelo.

12) Eficiencia de aplicación, lámina neta y lámina bruta.

Por diferentes razones no es factible aplicar de manera precisa las necesidades de riego calculadas, sino que generalmente se requieren cantidades superiores (L_b) para compensar las pérdidas en la aplicación atribuibles generalmente al sistema y método de riego. La relación entre la lámina requerida o neta (L_n) y la lámina necesaria de aplicar o bruta (L_b) para compensar las pérdidas, se le conoce como eficiencia de aplicación.

$$E_a = \frac{L_n}{L_b}$$

$$L_b = \frac{L_n}{E_a}$$

13) Programación del riego

La programación del riego consiste en la determinación de los intervalos de riego y de las láminas de riego correspondientes (calendarios de riego) a fin de satisfacer las necesidades hídricas de los cultivos.

Es imposible recomendar de manera universal un programa de riego por la cantidad de factores que afectan el consumo de agua por los cultivos; además los cultivos mismos difieren en su tolerancia al abatimiento del nivel de humedad aprovechable del suelo (f). Sin embargo con los conceptos enumerados anteriormente es relativamente sencillo calcular los calendarios de riego.

De manera general, para elaborar un programa de riego se sigue el procedimiento siguiente:

- a) Determinación de las fechas de siembra y cosecha para definir el periodo de desarrollo del cultivo.
- b) Subdivisión del ciclo vegetativo en las fases fenológicas típicas del cultivo.
- c) Cálculo de la E_{To} en función del clima y las necesidades hídricas y la E_{Tp} correspondiente de acuerdo a los “ K_c ” de cada período.
- d) Determinación de la Humedad Total Aprovechable del suelo (HTA) y la Humedad Fácilmente Aprovechable (HFA).

e) Ejecución de un balance, sustrayendo las necesidades de riego a la humedad residual del período anterior, hasta agotar la humedad fácilmente aprovechable o la humedad límite establecida por el agricultor.

f) Una vez agotada la humedad convenida, restituir el nivel de humedad establecido como límite superior (generalmente la humedad a capacidad de campo) mediante el riego.

Factores que afectan la evapotranspiración

En general, la evapotranspiración depende de factores hídricos, edáficos, vegetales y climáticos. A continuación se mencionan los más importantes dentro de cada uno de los cuatro grupos de factores:

Hídricos: calidad y disponibilidad del agua de riego, método de riego, eficiencia en el riego, drenaje.

Edáficos: Propiedades físicas y químicas del suelo como textura, estructura, materia orgánica, salinidad, profundidad, fertilidad, estratificación, etc.

Vegetales: variedad, especie, ciclo vegetativo, edad, características morfológicas de los estomas, etc.

Climáticos: temperatura, humedad relativa, precipitación, viento, radiación solar, etc.

Métodos para medir o estimar la evapotranspiración

Los procedimientos para estimar o medir la evapotranspiración se clasifican en directos e indirectos. Los primeros proporcionan directamente el consumo total del agua requerida, utilizando para ello aparatos e instrumentos para su determinación. Los segundos en forma indirecta obtienen una estimación del consumo de agua a través de todo el ciclo vegetativo, mediante la utilización de fórmulas empíricas.

Cabe aclarar que la mayoría de las fórmulas empíricas en uso, que sirven para estimar la evapotranspiración de los cultivos y que utilizan datos meteorológicos, se basan en una primera estimación de la evapotranspiración potencial y luego mediante el ajuste con ciertos coeficientes previamente obtenidos en la zona, para cada cultivo y otras condiciones variantes que afectan la evapotranspiración.

Directos

- a) Método gravimétrico
- b) Método del lisímetro

Indirectos:

- a) Método del tanque evaporímetro
- b) Método de Blannet-Criddle
- c) Método de Penman Monteith

Precipitación efectiva

No toda la lluvia precipitada es aprovechada por los cultivos, ya que las condiciones físicas del suelo, así como el estado de humedad del mismo en el momento de la lluvia, condicionan la fracción aprovechable de ésta.

Depende de:

- precipitación
- intensidad de la precipitación
- velocidad de infiltración del suelo
- condiciones de humedad del suelo en el momento de la lluvia
- capacidad de almacenamiento del suelo

Para calcular la precipitación efectiva se pueden utilizar diferentes métodos o ecuaciones:

a) Ecuación de Prescott y Anderson

$$P_{mc} = 0.9 E_v^{0.75}$$

P_{mc} es la precipitación media calculada (cm)

E_v es la evaporación medida en el tanque evaporímetro tipo A (cm)

Si $P_{mc} > P_m$ entonces $P_e = 0$

Si $P_{mc} < P_m$ entonces $P_e = 0.8 P_{mc}$

P_m es la precipitación media mensual (cm)

b) Ecuación de Zierold y Palacios

Para lluvias menores de 2.5 cm

$$P_e = P_t - 0.05 P_t^2$$

Para lluvias mayores de 2.5 cm

$$P_e = 1.27 P_t^{0.75} - 0.806 P_t^{1.5}$$

P_e es la precipitación efectiva (mm)

P_t es la precipitación observada o medida (mm)

c) El método de porcentaje fijo de precipitación

$$P_e = k P$$

k = Fracción fija (0-1) establecida arbitrariamente

P = Precipitación total

d) Método de la precipitación fiable

$$P_e = 0.6 P - 10 \quad \text{para } P \leq 70 \text{ mm/período}$$

$P_e = 0.8 P - 24$ para $P \geq 70$ mm/período

P es la precipitación media mensual (mm)

e) Método del Servicio de Conservación de suelos

Método del Servicio de Conservación de Suelos

Para calcular la Precipitación efectiva se utiliza la ecuación:

$$P_e = f(HTA) \left[1.25P^{0.824} - 2.93 \right] 10^{0.000955ET_p}$$

Donde;

P es la precipitación media mensual (mm)

ET_p es la evapotranspiración potencial mensual (mm/mes)

f (HTA) se calcula con la siguiente ecuación:

$$f(HTA) = 0.53 + 0.0116 HTA - 8.94 \times 10^{-5} (HTA)^2 + 2.32 \times 10^{-7} (HTA)^3$$

HTA es la Humedad Total Aprovechable (mm)

Cálculo del Requerimiento (Necesidades) de riego del cultivo (NRC)

Para determinar el requerimiento de riego diario, mensual o de todo el ciclo vegetativo, se utiliza la siguiente ecuación:

$$NRC = ET_p - P_e$$

Es recomendable para riego por gravedad calcular las NRC de manera mensual, mientras que para riego presurizado es recomendable calcular el NRC de manera diaria.

Calendario de riego (Programación de riego)

El requerimiento de riego y la respuesta al riego en los cultivos varía con el tipo de suelo, tipo de planta, etapa de desarrollo y condiciones de clima. Los cultivos difieren en su tolerancia para soportar una disminución del contenido de agua en el suelo antes de volver a irrigarse. La mayoría de las hortalizas sufren de estrés si la humedad aprovechable se consume por debajo del 50%, aún cuando la demanda evapotranspirativa no sea grande.

Los programas de riego para cada cultivo deben variar de acuerdo a las condiciones prevalecientes de clima y suelo. Donde el agua es escasa o cara, el riego puede ser calendarizado para maximizar la producción del cultivo por unidad de agua aplicada. Donde la tierra cultivable es más escasa que el agua, el riego puede ser calendarizado para maximizar la producción del cultivo por unidad de área sembrada. Sin embargo, en ciertas situaciones los calendarios de riego pueden ser modificados para minimizar los costos de irrigación o para facilitar algunas labores del agricultor; por ejemplo, para

estimular la germinación, para controlar la temperatura atmosférica o el nivel de agua subterránea o para abastecer las necesidades de lavado.

La programación del riego consiste en la determinación de los intervalos de riego y las láminas de riego correspondientes, a fin de satisfacer las necesidades hídricas de los cultivos.

Procedimiento general para determinar un programa o calendario de riego

Determinación de las fechas de siembra y cosecha para definir el período de desarrollo del cultivo

Subdivisión del ciclo vegetativo en las fases fenológicas típicas del cultivo

Cálculo de ETo en función del clima y las necesidades hídricas, y ETp correspondientes de acuerdo con los Kc de cada período

Determinación de la Humedad Total Aprovechable del diseño y Humedad Fácilmente Aprovechable

Ejecución de un balance sustrayendo las necesidades de riego ($ETp - Pe$) a la humedad residual del periodo anterior, hasta agotar la humedad fácilmente aprovechable o la humedad límite establecida por el agricultor

Una vez agotada la humedad convenida, restituir el nivel de humedad establecido como límite superior (generalmente humedad a capacidad de campo) mediante el riego.

